

Comunicaciones Eléctricas

Edición española de ELECTRICAL COMMUNICATION

revista técnica publicada trimestralmente por

INTERNATIONAL TELEPHONE and TELEGRAPH CORPORATION

RESUMEN

VOLUMEN 44 (1969) NÚMERO 3

El sistema de cable submarino Sudáfrica—Portugal — SAT-1, por <i>H. Busignies</i>	190
En este número	192
Planificación y diseño para el sistema, por <i>A. H. Roche</i>	194
Replanteo de la ruta del cable, por <i>E. Baguley</i> y <i>J. J. W. Everett</i>	200
Diseño y fabricación del cable, por <i>A. Hynd</i> y <i>C. G. Theodossades</i>	209
Repetidores e igualadores sumergidos, por <i>F. L. Jarvis</i> y <i>J. F. Tilly</i>	216
Fabricación de repetidores sumergidos, por <i>W. J. Archibald</i> y <i>A. W. Batchelder</i>	228
Equipo de supervisión de repetidores, por <i>R. K. Morris</i> y <i>R. D. Webb</i>	234
Barco cablero. Carga — Tendido — Igualación, por <i>B. T. Knight</i>	238
Equipo terminal, por <i>A. A. Baker</i> y <i>A. J. Bennett</i>	243
Equipo de traslación de canales con separación de 3 kHz, por <i>L. A. Tanner</i>	250
Control del proyecto, por <i>P. W. Attersley</i> y <i>J. E. Gayler</i>	255
Ingeniería civil, por <i>W. J. Finn</i>	260
Equipo de suministro de energía, por <i>P. S. Kelly</i>	264
Planta de suministro de energía eléctrica primaria, por <i>C. R. Taylor</i>	270
Diseño y fabricación de tubos para repetidores sumergidos, por <i>F. G. Haegele</i>	278
Condensadores para los sistemas de cable submarino de 3 kHz, por <i>W. E. R. Evans</i>	287
Cristales de cuarzo par sistemas de repetidores submarinos, por <i>A. Seed</i>	292
Transformadores, reactancias y resistencias bobinadas de alta precisión, por <i>V. Kaplanski</i>	296
Nuevas realizaciones	302
Distinciones — Premios	237 y 242
Harold P. Westman se jubila	277
Nuevos libros	254 y 259



Editor principal: Melvin Karsh

Editor para Europa: C. Meuleau

Director en Español: F. Fdez. de Alarcón, Ramírez de Prado 5, Madrid — 7

Gratuito

El sistema de cable submarino Sudáfrica-Portugal - SAT-1

Esta edición de "Comunicaciones Eléctricas" está dedicada completamente al sistema de cable submarino para 360 circuitos entre Sudáfrica y Portugal que es único por las siguientes razones:

a) es el sistema con válvulas de mayor capacidad entre los producidos,

b) cuando se compara con otro cualquier sistema en servicio al escribir este editorial, proporciona más del doble del número de kilómetros-circuito en un enlace,

c) es el mayor proyecto de esta clase realizado por un solo contratista.

La planificación del sistema se basó en un amplio estudio de la necesidad de circuitos, realizada por el South African Post Office y con este proyecto se reemplazarán los primitivos e inadecuados circuitos por radio. De este modo se dispondrá, a escala apropiada, de facilidades de comunicaciones entre Sudáfrica y Europa con una extensión inmediata al Reino Unido por otro cable submarino. Será posible el conexionado directo con la mayor parte del mundo de un modo fácil y rápido.

En la edición del volumen 43, número 1 de 1968, de "Comunicaciones Eléctricas", bajo el título "Aspectos económicos operacionales y técnicos de los sistemas modernos de comunicación global", A. D. Mackay, B. M. Dawidzuik y H. F. Preston, daban una breve historia de las aplicaciones de los cables submarinos y una completa descripción de los sistemas existentes, el crecimiento de tráfico del cable, la reducción de coste por canal con respecto al aumento de capacidad de canales, inversiones, costes anuales, amortización, fiabilidad y perspectivas para el futuro.

Referimos al lector a dicho artículo para una información más detallada. Para esta editorial mencionaremos solamente, que hace tantos años como en 1928, se inició un programa de desarrollo sustancial en los Laboratorios de ITT de investigación y desarrollo en Londres para un sistema de cable telefónico submarino. En 1935 Standard Telephones and Cables había realizado el primer amplificador con realimentación, británico de tipo comercial, lo que fué una contribución esencial para un progreso posterior. Se instaló en 1936 como un amplificador terminal en el que debe ser uno de los primeros sistemas submarinos coaxiales, entre Australia y Tasmania de 161 millas náuticas de longitud. No se utilizaron repetidores sumergidos. Su introducción revolucionó el concepto total de los sistemas de cable submarino y en 1950 se tendieron con gran éxito en el Mar del Norte varios sistemas de cable que proporcionaban de 36 á 60 circuitos en ambos sentidos empleando repetidores sumergidos.

Al mismo tiempo en 1950 la American Telephone and Telegraph Company tendió el cable Key—West Habana de 120 millas de longitud y 3 repetidores de un tipo que se sumergía íntegramente con el cable. Se utilizaron dos cables, uno para cada dirección. Más tarde en el otoño de 1956, se inauguró el primer sistema de cable telefónico transatlántico, construido en Estados Unidos y en Inglaterra, que proporcionaba 36 canales de audio desde Escocia a New Foundland y 60 canales entre New Foundland y Nueva Escocia.

Muy poco después (1959) se tendió un segundo sistema (TAT-2) entre Francia y Canadá con el mismo tipo de repetidores y cables.

Los últimos acontecimientos son muy bien conocidos. Desde 1956 la totalidad de circuitos de audio de alta calidad crecerán a 14.000 en 1959. De los futuros desarrollos resultarán en los cables capacidades de varios millares de circuitos de audio.

Debe reconocerse que el rápido progreso de los últimos años y el que se espera en los próximos, se ha debido en gran parte a la competencia presentada con los sistemas por satélites. Sin esto, el progreso hubiera sido más lento. Los satélites sincrónicos con la tierra descritos por H. Busignies ante el Congressional Committee en Science and Astronautics de U. S. A. en Marzo de 1959, años antes de la creación de COMSAT, ofrecen una oportunidad muy notable para conexiones con accesos múltiples entre muchos países que hubiera sido muy difícil y costoso enlazar por otros sistemas de comunicaciones. Este es su valor, pero debemos recordar que la mayor parte de las comunicaciones mundiales, son todavía y aumentarán entre un número mucho más limitado de países para los cuales los sistemas en cable continuarán siendo ventajosos. En este editorial no haremos comparaciones entre estos dos sistemas, (ver Comunicaciones Eléctricas, Vol. 43, N° 1 de 1968 e "Intercontinental Telecommunications by Artificial Satellites and by Submarine Cables, in their Technical, Economical, Commercial and Juridical Aspects" presentados por el Dr. W. Busignies en el XIII Congreso Internacional de Comunicaciones en Ginebra, Octubre 1965), pero debe llamarse la atención sobre el hecho de que la proliferación de satélites a base doméstica, regional e internacional acarreará problemas y dificultades si no se planifican cuidadosamente.

Un factor importante es el retardo de tiempo de transmisión debido a la distancia del satélite respecto a la tierra. Un retardo en las dos direcciones de 0,6 y aún 0,8 segundos, puede aceptarse si las restantes condiciones de la transmisión son favorables y con buenos supresores de eco. Dos o tres veces este retardo determina que las conversaciones telefónicas sean irreales.

En las comunicaciones por satélites deberá evitarse el doble salto y se extenderán con sistemas terrestres. Esto significa sencillamente que a medida que se utilicen más facilidades de comunicación por satélites, más sistemas de transmisión serán necesarios en tierra para complementarlos; radioenlaces de microondas, sistemas de cable coaxial y en cable submarino.

En Gran Bretaña el British Post Office ha sido líder, en cooperación con sus contratistas, en el desarrollo, y la mayor proporción de todos los repetidores sumergidos británicos han sido fabricados por Standard Telephones and Cables Limited.

Con el avance en la tecnología, es necesario e inevitable el progreso, y la tendencia normal en los sistemas de cable submarino es hacia los sistemas totalmente transistorizados. Standard Telephones and Cables está en las avanzadas de esta tecnología y pronto se instalará

el primer cable submarino transistorizado para gran profundidad y gran distancia desde el Reino Unido a Portugal. En el Vol. 43, N° 1 de 1968 de "Comunicaciones Eléctricas", se ha publicado un artículo por J. F. Tilly "Repetidor sumergido para el cable de 640 circuitos entre Reino Unido y Portugal" sobre un repetidor transistorizado de banda ancha para este sistema. Se procede también activamente en el desarrollo de sistemas transistorizados de todavía mayor capacidad. Los próximos pasos serán entre 1500 á 3000 canales de audio y puede pensarse

que en los años 1980 se realizarán sistemas de 5 á 10.000 canales. Todo esto sin tener en cuenta los avances en la tecnología de banda muy ancha.

Con este continuo desarrollo los sistemas de cable submarino formarán una tecnología competitiva muy viable y tendrán un mayor papel en la extensión venidera de las comunicaciones mundiales.

H. G. Busignies

International Telephone and Telegraph Corporation

Nota del Editor

El cable submarino entre Sudáfrica y Portugal fué inaugurado oficialmente en Febrero del presente año.

Tanto el cable como los repetidores e igualadores sumergidos y los equipos terminales, han sido suministrados por Standard Telephones and Cables Limited (STC). En los distintos artículos que figuran en este número se consideran los diferentes aspectos de este importante proyecto y trabajo (replanteo, diseño, fabricación, instalación, componentes, etc.).

Todos los artículos con excepción del editorial, han sido escritos por ingenieros de STC que han intervenido en los trabajos. Estos han expresado sus deseos de agradecer la ayuda recibida de todos sus colegas de ITT durante el conjunto de la operación.

En este número

Planificación y diseño para el sistema.

Inicialmente se hace un breve estudio teórico explicando las razones para la elección de un sistema con 360 circuitos. Se hace una descripción general de la ruta y del sistema, seguida por una enunciación del objetivo de calidad con respecto a ruidos.

Se estudia el tipo de cable y la distancia entre repetidores, espectro de frecuencias del sistema y dispositivos de supervisión. También se menciona el nuevo tipo de igualador ajustable a bordo. En forma de tabla se presenta el número de repetidores y de igualadores, así como las longitudes de cable en cada sección y también la asignación inicial de grupos y la interconexión con otras redes.

Replanteo de la ruta del cable.

Una vez elegidas las posiciones de los terminales del sistema de cable de Sudáfrica a Portugal, el siguiente paso era hacer el replanteo de la ruta del cable. El objetivo principal de este estudio era seleccionar la ruta más corta y más económica con las máximas seguridades contra los agentes exteriores y también en segundo lugar obtener toda la información necesaria para determinar el diseño del cable y predecir los cambios en los parámetros eléctricos del cable que tendrán lugar con el tiempo cuando esté tendido en el fondo del mar. El siguiente paso era determinar las variaciones anuales de temperatura a lo largo de la ruta, de modo que puedan predecirse las variaciones anuales del sistema y compensarse en el equipo terminal.

Diseño y fabricación del cable.

Deducido del replanteo de la ruta del cable, se mencionan las necesidades de los distintos tipos de cable. A continuación se hace una breve descripción de los cables empleados seguida de las características exigidas para las materias primas utilizadas. Sigue una descripción detallada de las distintas etapas de fabricación tanto de los cables de peso ligero como de los armados, junto con una indicación del control aplicado en cada caso, desde el punto de vista del trabajo de los operarios, como de las máquinas y pruebas finales.

Repetidores e igualadores sumergidos.

Se consideran las condiciones básicas del sistema que afectan al diseño del repetidor y se describen los circuitos, el diseño mecánico y el comportamiento eléctrico que las satisface. A partir de las características de funcionamiento del repetidor se hace un cálculo teórico de los márgenes de ruido térmico, ruido de intermodulación y sobrecarga que deben conseguirse en un sistema de 4000 millas náuticas. También se obtienen los niveles de salida teóricos, que deben fijarse para el repetidor, en el sistema.

Se demuestra la necesidad de efectuar la igualación de un sistema submarino durante el tendido del cable con los repetidores y se consideran las condiciones subsiguientes que deben cumplirse. Se describen los objetivos del diseño de un igualador regulable a bordo del barco para sistemas de alta frecuencia y se discute la forma en que pueden alcanzarse esos objetivos empalmado los igualadores al cable antes del tendido, deduciéndose la necesidad consiguiente de disponer de igualadores con un conductor de prueba. Se describe el igualador desarrollado que cumple las condiciones impuestas, incluyendo la cámara de presión, en lo que difiere de las cámaras de presión de los repetidores, los filtros separadores de fuerza, la caja igualadora, las unidades igualadoras y el juego de componentes.

Fabricación de repetidores sumergidos.

Se describen los objetivos y la filosofía general de la fabricación en lo referente a las prácticas empleadas concernientes a la calidad, integridad, ambiente, responsabilidad e inspección. También se considera la capacidad de producción y la ampliación de la planta de fabricación para cumplir las exigencias del tiempo de entrega para el contrato. Se revisan las cantidades de materiales, piezas y componentes necesarios y finalmente las medidas tomadas para asegurar la calidad y los procedimientos de inspección y prueba empleados para un proyecto de tan gran magnitud que exige la mayor confiabilidad posible.

Equipo de supervisión de repetidores.

Se han diseñado equipos para comprobar la ganancia en el bucle, intermodulación, armónicos y buen comportamiento respecto a los ruidos de cada repetidor en el sistema telefónico de cable submarino apropiado para frecuencias hasta 3 MHz. Se hacen desde el terminal B las pruebas de ganancia en el bucle, ruidos e intermodulación, mientras que la medida de armónicos se hace desde el terminal A. Las medidas de ganancia y ruidos pueden hacerse con el sistema en servicio.

Se emplea la técnica de impulsos para economizar en ancho de banda permitiendo que todos los repetidores sean iguales.

La discriminación entre los repetidores se obtiene a base del tiempo, es decir, los equipos identifican los repetidores midiendo el tiempo transcurrido entre el impulso enviado y el devuelto.

Barco cablero

Carga — Tendido — Igualación.

Se establece el programa completo de carga y tendido aplicado a los problemas particulares de un sistema de 6000 millas (10.800 km) y una distancia entre repetidores de 9,8 millas náuticas (17,6 km). Se examinan por separado con algún detalle los métodos empleados en la carga, estibado, empalme y prueba del cable, poniendo especial énfasis en los problemas asociados a una carga de tal magnitud y señalando los resultados obtenidos.

En la parte del tendido se da algún detalle de la composición de los equipos de personal de los barcos y se hace referencia especial a las ventajas de tender un tramo marino cada 24 horas. Se indica el diagrama de operaciones para utilizar un pequeño procesador a bordo del buque y obtener los requisitos básicos de las redes igualadoras; se trata brevemente de la construcción de redes igualadoras.

Equipo terminal.

En todas las estaciones terminales de la ruta está dispuesto equipo de transmisión terminal, incluyendo multiplex por división de frecuencias y equipo asociado.

El espectro de frecuencias en línea permite la utilización de los supergrupos normales del CCITT, 2 a 5, y parte del supergrupo 6.

Para la transmisión en línea en la dirección de transmisión que utiliza las frecuencias más altas, es necesaria una traslación de frecuencias, no normal.

Como parte integrante de cada terminal se suministran facilidades de mantenimiento, en las que se incluyen circuito telefónico para intercomunicación entre los operadores, equipos de generación y medida de piloto que observa el sistema continuamente. Para estas facilidades se utiliza la banda de frecuencias entre supergrupos.

El equipo es transistorizado y puede alimentarse desde una batería de corriente continua de 24 voltios ó un suministro de corriente alterna de 220 voltios.

Equipo de traslación de canales con separación de 3 kHz.

Se justifica el empleo en las estaciones terminales de un equipo de traslación de canales más complejo para aumentar la capacidad de circuitos en el cable cuyo coste es relativamente elevado. Este aumento se ha conseguido disminuyendo la separación entre canales desde 4 kHz a 3 kHz de tal modo que en la banda de frecuencias del grupo normal de 12 canales se consiguen 16 canales.

Se consideran las ventajas de obtener los canales con una doble modulación, junto con las características eléctricas y mecánicas necesarias, para conseguir el grado de estabilidad deseado, así como la confiabilidad y flexibilidad.

Se sugiere también más amplios campos de utilización para estos equipos.

Control del proyecto.

Se analiza el control de la evolución del proyecto en la división de repetidores sumergidos con relación a las condiciones variables de los clientes y la capacidad general de Standard Telephones and Cables; se dan ejemplos de diferentes características que cubren el período 1963—1968.

Una selección de trabajos componentes del contrato total destaca la diversidad de problemas a afrontar y la necesidad de ejercer un control particular para cada caso; se hace mención especial de las tareas desarrolladas por STC y las diversas administraciones nacionales afectadas. Un diagrama PERT cubre la planificación de todo el proyecto y se discuten algunos de los aspectos más prácticos de los procedimientos de control.

El examen de la ejecución del proyecto permite comparar las fechas clave, en su programación y su realización, y discutir los efectos de algunos contratiempos importantes.

Ingeniería civil.

El elevado grado de seguridad que posee el sistema SAT-1 se extiende a los cinco edificios terminales. La responsabilidad de coordinar y aprobar los trabajos de ingeniería civil corrió a cargo de STC.

Se mencionan los emplazamientos, las zonas y los itinerarios de los cables de tierra, y se describe brevemente la construcción, la protección y la composición del edificio de cada terminal.

Equipo de suministro de energía.

Se describe un equipo de alimentación de fuerza de corriente constante que proporciona un voltaje más alto que el suministrado en cualquier sistema de cable submarino anterior. Como referencia se utiliza un dispositivo magnético y tiene un bucle de control de realimentación. Para reducir el voltaje de trabajo en los repetidores, se emplea un sistema de alimentación desde ambos terminales. La división, por partes iguales, del voltaje entre terminales se obtiene mediante una característica adecuada voltaje/corriente de cada bastidor de fuerza. Se obtiene continuidad de alimentación desde cada terminal mediante dos bastidores de fuerza en paralelo con un bastidor de control común. La división de corriente en partes iguales entre dos bastidores de fuerza se consigue mediante una característica de control de corriente adecuada de cada bastidor de fuerza. Se dispone de una unidad de alimentación completa.

Planta de suministro de energía eléctrica primaria.

Se describe una planta de suministro de energía destinada a proporcionar alimentación de corriente alterna, en permanencia, al equipo de telecomunicación de una estación terminal de alimentación de fuerza. La planta comprende grupos motor volante alternador, normalmente excitados por la corriente de la red comercial, con grupos diesel alternador de reserva, que sustituyen a la red en caso de fallo de ésta o cuando el voltaje o la frecuencia se desvían más allá de unos límites predeterminados.

Se describen igualmente grupos motor de corriente alterna alternador, destinados a proporcionar la corriente de 400 Hz para el equipo de alimentación de fuerza del cable.

Se incluyen diagramas de bloque de estaciones terminales de alimentación de fuerza y de aquellas que no lo son, junto con fotografías típicas del equipo.

Diseño y fabricación de tubos para repetidores submarinos.

El gran ancho de banda y gran longitud del nuevo cable submarino, exige que los tubos posean una relación transconductancia/capacidad mayor que la de las empleadas hasta ahora para servicio en repetidores submarinos, debido especialmente a la baja tensión de ánodo, sin precedentes.

Las pequeñas separaciones entre los electrodos, junto con las grandes cantidades de tubos, requeridos en un tiempo relativamente corto, obligaron a utilizar nuevos procesos de fabricación. Los métodos establecidos anteriormente no eran utilizables. Se desarrolló un sistema que triplicó la producción en una planta ya existente de fabricación de tubos para repetidores submarinos. Además se impusieron condiciones más rigurosas que las de los anteriores tubos de menor ancho de banda.

Se presentan datos de las características de funcionamiento y duración.

Condensadores para los sistemas de cable submarino de 3 MHz.

Existen diseños bien probados de componentes, capaces de cumplir las necesidades de los repetidores submarinos excepto de condensadores de papel de gran capacidad y baja tensión para desacoplo, y de los condensadores de alta tensión para los filtros separadores de fuerza. Las condiciones para los de baja tensión, se lograron, analizando qué elementos contribuían a la autoinducción y eliminando suficiente inductancia para lograr el comportamiento deseado. En los condensadores de alta tensión se emplearon por primera vez, elementos tubulares con más de 2 elementos en serie (5 en cada caso). La caja era de material aislante, no flexible, lo que daba lugar a inconvenientes en la prueba de sobrecargas. Estos inconvenientes se eliminaron, y se mejoró la confiabilidad total, mediante la incorporación de una cámara separada para aislar las burbujas de aire interiores. Los resultados de las pruebas de vida acelerada predicen un comportamiento confiable durante largo tiempo.

Cristales de cuarzo para sistemas de repetidores submarinos.

Las especificaciones para filtros de supervisión de repetidores submarinos, obligan al uso de cristales de cuarzo como elementos del circuito. Los cristales usados son de corte AT y trabajan a 2,720 MHz oscilando en fundamental. Para lograr los valores de inductancia y de factor Q, el cristal debe ser de forma lenticular con una forma muy precisa de los electrodos.

La variación de la frecuencia de resonancia con la temperatura está determinada por el ángulo que forma el corte del cristal con los ejes cristalográficos (corte AT). La necesidad de una gran confiabilidad y un buen comportamiento garantizado a muy largo plazo impone condiciones especiales en los métodos de fabricación y de inspección. El envejecimiento, con respecto a la frecuencia de resonancia, se considera con detalle en este artículo y se presentan curvas típicas.

Transformadores, reactancias y resistencias bobinadas de alta precisión.

No se han producido en los últimos años cambios importantes en el diseño de bobinas para repetidores submarinos. Se ha concedido la misma importancia que siempre a la confiabilidad y a las consideraciones necesarias para evitar daños accidentales en el curso de fabricación.

Como en principio se estimó que la temperatura máxima ambiente del amplificador podía elevarse a 55-60 °C, se usó en ciertos tipos de devanados un impregnante de barniz sin disolvente en lugar de la cera de impregnación. Se redujo el diámetro de los hilos de resistencia. Todos los hilos se aislaron con un esmalte a base de poliuretano con una capa de seda, en lugar de esmalte a base de acetato de vinilo. Dicho esmalte actúa como fundente de forma que la soldadura de estaño se extiende mejor sobre las partes a soldar.

No se usaron núcleos toroidales o laminados. Todas las bobinas de reactancias eran solenoides con o sin dispositivo de ajuste o núcleos en "pot" de polvo de hierro (obtenido por reducción del carbonilo) o de ferrita de Mn-Zn. Los transformadores y bobinas de choque se fabrican con núcleos de ferrita Mn-Zn.

Los filtros se construyen como unidades resonantes montadas en cajas de latón o cobre circulares divididas en 5 sectores. Los circuitos de entrada y salida del amplificador, así como los igualadores se montan en unas placas que a su vez se montan en una caja metálica circular.

Las resonancias parásitas de los transformadores de salida del amplificador se evitan por mediación de unas cuentas de ferrita.

Se desarrollaron también para este repetidor, resistencias bobinadas de alta precisión y bobinas con un número no entero de vueltas.

Planificación y diseño para el sistema*

A. H. ROCHE

1. Introducción

La primera comunicación telefónica de larga distancia por medio de cables telefónicos submarinos con repetidores, se estableció en 1956 con el cable TAT-1 entre Estados Unidos y Canadá. Esto constituyó la iniciación de una nueva era en la comunicación global y la provisión de circuitos libres de interferencia, produciendo una demanda de llamadas completamente imprevista por las Administraciones telefónicas relacionadas. En el plazo de un año se había duplicado el tráfico transatlántico y fueron necesarios nuevos cables submarinos.

Esta creciente demanda produjo muchas mejoras técnicas y debido al desarrollo por el British Post Office del cable sin armar de tipo ligero y al mecanismo con cinco poleas de lanzamiento del cable, se tendió en 1961 el primer cable británico transatlántico para dos direcciones de transmisión con repetidores rígidos entre el Reino Unido y Canadá (CANTAT).

La última década ha presenciado la instalación de varios sistemas análogos para enlazar Canadá con Australia y Nueva Zelanda (COMPAC) en el Pacífico y el (SEACOM) que se extiende a Singapur, Jesselton, Hong Kong, Guam, etc., proporcionando una red mundial de circuitos de gran calidad y libres de interferencias.

2. Necesidad de aumentar la capacidad

El primer sistema TAT-1 que utilizó repetidores unidireccionales proporcionaba originalmente 36 circuitos. La demanda de circuitos creció tan rápidamente que determinó que su número creciera a 84, por la aplicación del sistema de interpolación de la palabra por asignación del tiempo (TASI, Time Assignment Speech Interpolation) y también, por la reducción de la anchura de banda del canal desde los 4 kHz del CCITT a 3 kHz, cuyo ancho se ha hecho ya normal en todos los sistemas de cable submarino de larga distancia.

Se diseñó el sistema británico (CANTAT, etc.) para proporcionar 80 circuitos de 3 kHz. Enseguida se hizo evidente que sería necesario un aumento de la capacidad para la extensión de circuitos desde Guam a Madang y Cairns (SEACOM). Por ello se diseñó un nuevo sistema para 160 circuitos de tan alta calidad como los del original de 80 circuitos.

3. Proyecto del cable de Sudáfrica

En 1964 se iniciaron las negociaciones para la provisión de un sistema de cable submarino de alta calidad entre Sudáfrica y Europa, para reemplazar los circuitos de radio de que se disponía, que eran totalmente inadecuados para cumplir las exigencias modernas. Los extensos estudios realizados por el Post Office de Sudáfrica dieron como resultado la decisión de que sistemas de 160 circuitos serían insuficientes para cumplir con la demanda esperada tras un período de años y como resultado de esto se pidieron ofertas para sistemas con mayor capacidad.

Durante algún tiempo, y con anterioridad a esta fecha, el British Post Office en colaboración con los contratistas, habían estado desarrollando un sistema con capacidad para 360 circuitos que se usaría en posteriores sistemas transatlánticos. Sin embargo no se materializó esta necesidad. Para el repetidor se había realizado mucho trabajo de desarrollo y esto ocasionó que este sistema de mayor capacidad pudiera ofertarse en el más corto plazo, y en vista de ello, Standard Telephones and Cables completó el desarrollo del repetidor y terminal adecuado, así como el equipo de alimentación con vistas a su utilización en el proyecto Sudáfrica—Europa.

Finalmente se otorgó un contrato por la South Atlantic Cable Company a Standard Telephones and Cables Limited que se hizo entonces responsable de todos los aspectos del proyecto, desde la fabricación de equipos tanto de tierra como sumergidos a la provisión de los edificios necesarios y la alineación y garantía de la totalidad del sistema.

4. Descripción del sistema y de la ruta

El sistema de cable submarino desde Ciudad del Cabo a Europa consta efectivamente de tres sistemas separados:

- primero entre Ciudad del Cabo y la isla Ascensión,
- segundo entre Ascensión e Islas Canarias con un punto de amarre en la isla de la Sal (Cabo Verde),
- tercero entre Islas Canarias y Lisboa (ver mapa Fig. 1).

Cada sistema proporciona 360 circuitos con separación de 3 kHz y funciona sobre cable con diámetro de 25,4 mm

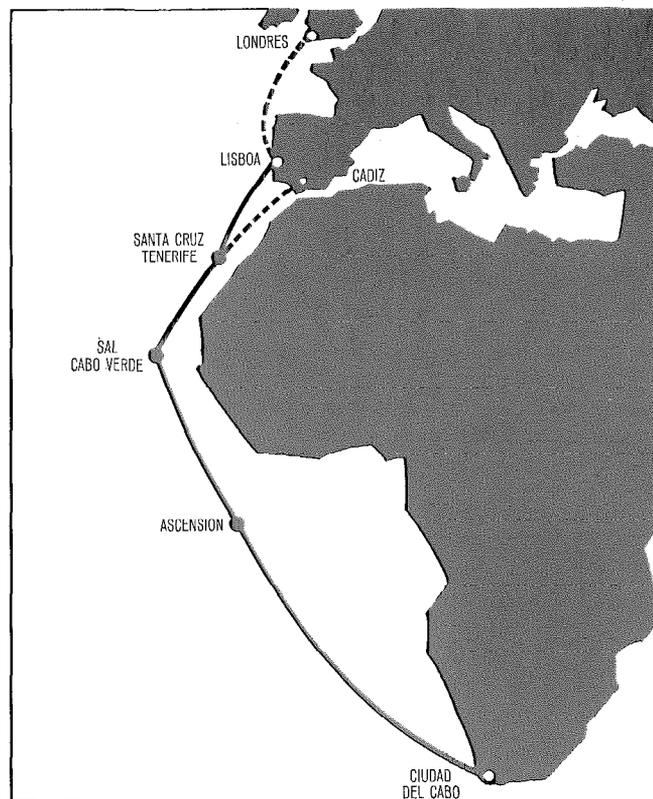


Fig. 1 Mapa de la ruta.

* Publicado por la amabilidad de la compañía del cable Sudatlántico.

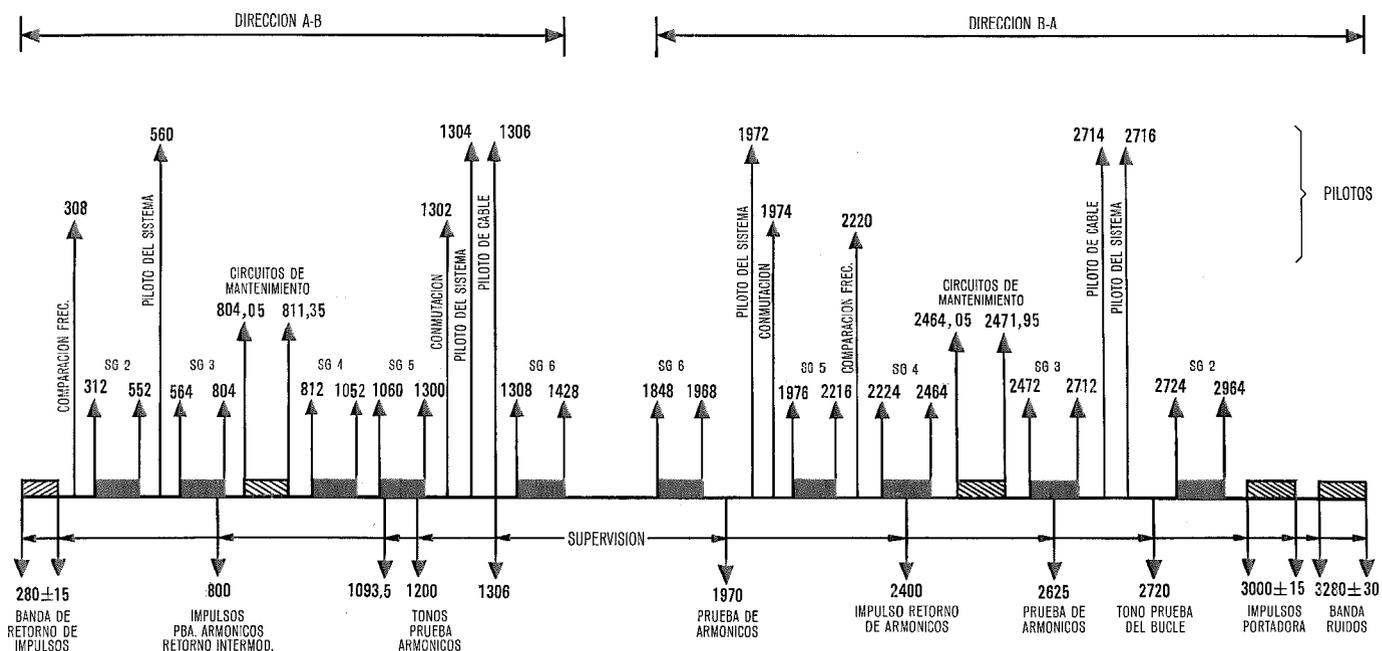


Fig. 2 Espectro de frecuencias del sistema de 3 MHz.

sin armar, de peso ligero para gran profundidad y un cable simulador de 15,8 mm. armado, en aguas poco profundas en los extremos de los sistemas.

La banda de frecuencias utilizada es de unos 3 MHz y en la figura 2 puede verse que los canales de una dirección ocupan la banda de 312 á 1428 kHz y los de la otra entre 1848 y 2964 kHz.

La separación entre repetidores submarinos es aproximadamente 9,8 millas náuticas en la parte del cable ligero y 6 millas náuticas en la parte del cable simulador y amplifican la palabra en las dos direcciones de transmisión.

Cada 12 repetidores se sumergen igualadores, ajustables a bordo del cablero, que permiten compensar los errores residuales en la sección precedente del océano.

El suministro de energía a los repetidores se hace desde las estaciones terminales a base de corriente continua y desde ambos extremos, lo que facilita la localización de cualquier falta que pueda presentarse.

En cada extremo del cable submarino se emplea un múltiplex de traslación de canales a grupos y super-

grupos normales, que pueden conectarse a las redes de tierra según sea necesario.

Entre los supergrupos están dispuestos canales de servicio y pilotos del sistema y del cable que sirven para el mantenimiento del sistema.

La tabla 1 muestra la longitud de cada sección de cable con el número de repetidores e igualadores que incluye.

5. Objetivo de la calidad respecto al ruido del sistema

Con la introducción de los sistemas de cable submarino de larga distancia, la condición del CCITT de 4 pW/km para el circuito de 2500 km, "circuito de referencia hipotético" (3 pW/km en la línea de alta frecuencia), resultará inadecuada como objetivo de ruido del sistema.

Se acepta ahora generalmente que un objetivo de ruido en línea, debería ser 1 pW/km en la hora cargada de ocupación del circuito, promediada en todos los canales y separadamente en cada dirección. Este objetivo se lograría con canales de 3 kHz y una carga de -10 dBm0 por canal.

Tabla 1 - Longitudes de cable y cantidades de repetidores e igualadores en el proyecto Sudáfrica — Portugal

		Ciudad del Cabo — Ascensión	Ascensión — Sal	Sal — Tenerife	Tenerife — Lisboa	Total
Cable	Simulador	68,79	10,36	9,36	13,24	101,75
	Peso ligero	2515,17	1687,38	846,16	722,8	5771,51
	Total	2583,96	1697,74	855,52	736,04	5873,26
Cantidad de repetidores		276	179	91	78	624
Cantidad de igualadores		22	14	8	6	50
Voltaje aproximado de alimentación		16 kV	16 kV		4,5 kV	

Distancias en millas náuticas.

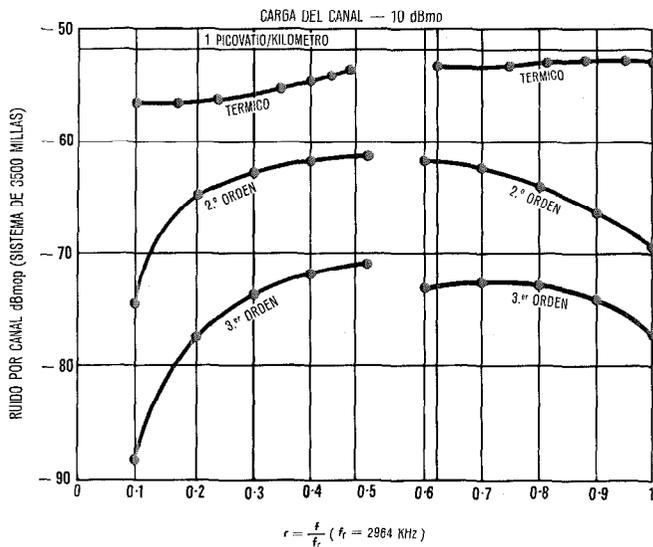


Fig. 3 Objetivo de ruido del sistema.

En la figura 3 puede verse el ruido calculado en un sistema teórico de 3500 millas náuticas con canales de 3 kHz y carga de -10 dBm0 por canal.

Las medidas hechas a su terminación, sobre cada una de las tres secciones, estaban en concordancia con los cálculos del proyecto.

El sistema se cargó con ruido blanco a un nivel de -10 dBm0 por canal y se hicieron medidas a tres frecuencias en cada dirección de transmisión con los siguientes resultados:

Ruido en pW/km			
kHz	Ciudad del Cabo Ascensión	Ascensión Santa Cruz	Santa Cruz Lisboa
342	0,5	0,4	0,3
695	0,4	0,4	0,3
1248	0,5	0,5	0,3
2028	0,6	0,6	0,5
2581	0,7	0,7	0,6
2934	0,6	0,6	0,6

En estos valores se observa que el objetivo se cumplió con un margen de 3 dB.

6. Repetidores

Para los repetidores de larga distancia con capacidad de 80 y 160 circuitos se emplearon tubos especialmente diseñados para ellos y de gran fiabilidad. El paso que se dió para pasar de 80 á 160 circuitos motivó alguna reducción en la realimentación posible para las altas frecuencias y después cualquier aumento en el espectro de frecuencias con estos tubos hubiera sido imposible.

Por tanto, la ampliación del sistema a 360 circuitos, exigía el desarrollo de un nuevo tipo de tubo con una característica sustancialmente más elevada de modo que pudiera obtenerse suficiente realimentación. Se hizo esto, y se dispuso de un nuevo tubo con un factor de mérito doble que en las anteriores versiones.

Como se daba la circunstancia entonces (1964), que se estaban ofreciendo repetidores transistorizados para pequeñas distancias y 640 canales, se consideró seriamente la posibilidad de emplear transistores para los repetidores de este sistema.

Cuando se tomó la decisión (1964) se comprobó que el caso en favor de los tubos era abrumador por las siguientes razones:

a) no estaba bien experimentada para los sistemas de larga distancia la protección de los transistores contra las sobretensiones, causadas por el corte del cable por un barco de rastreo y se pensó que el tiempo necesario para estudiar las soluciones podría poner en peligro el plazo de entrega;

b) no se esperaba disponer de un transistor suficientemente probado para larga distancia a tiempo para cumplir el programa de entrega;

c) con tubos, componentes y circuitos de reconocida fiabilidad, podían cumplirse adecuadamente las especificaciones exigidas de comportamiento del sistema.

Por consiguiente, el amplificador mismo, continúa utilizando la práctica anterior, bien conocida, constando de dos amplificadores de tres etapas conectados en paralelo entre transformadores de entrada y salida con una realimentación común. Esta disposición proporciona la máxima seguridad contra los fallos de cualquier clase en los caminos directos de amplificación. Se emplea una realimentación mixta y una igualación parcial para la pérdida de la sección precedente del cable se efectúa en la realimentación, la compensación restante se verifica por medio de una unidad de igualador exterior conectado a la entrada del amplificador. El amplificador tiene una ganancia de 43 dB a la frecuencia superior de la señal, dando una ganancia del repetidor de 40 dB aproximadamente. El punto de sobrecarga con amplificadores gemelos en paralelo es +24 dBm y la caída de voltaje a través del repetidor es aproximadamente de 55 voltios con una corriente de alimentación de 502 miliamperios de corriente continua.

A causa de la extensa banda de frecuencias, la separación entre repetidores es menor que en los sistemas anteriores y este factor, con la longitud de las rutas que se consideran, exige un aumento en el voltaje de alimentación de fuerza en el terminal. Los repetidores y en especial los condensadores de los filtros separadores de fuerza, se han diseñado para soportar un voltaje de trabajo de hasta 15 kV.

7. Dispositivos para supervisión del repetidor

Los dispositivos para supervisión del repetidor difieren fundamentalmente de los sistemas anteriores porque la operación se hace ahora a base de impulsos en lugar de hacerlo por una frecuencia.

El principio básico de operación consiste en la utilización de una unidad moduladora en los repetidores que funciona cuando se aplica al sistema unos impulsos, desde la estación terminal, de una portadora con frecuencia en la banda entre 2985 y 3015 kHz y se selecciona por medio de un filtro paso banda en el repetidor.

Un tono continuo de 2720 kHz puede aplicarse también al sistema y seleccionarse en el repetidor por medio

de un filtro paso banda. Cuando se modula este tono por la portadora pulsada, se devuelve a la estación terminal en la banda de 265 á 295 kHz, dando medios para medir la ganancia en bucle de cualquier repetidor del sistema. La magnitud de los impulsos de retorno da una medida de la ganancia del bucle y su posición en la base de tiempos da la situación del repetidor.

Este método de supervisión presenta la gran ventaja de que todos los repetidores de la ruta son idénticos simplificando la provisión de repuestos.

Análogamente es posible seleccionar y medir la contribución al ruido a la salida de un repetidor proporcionando un filtro paso banda entre 3250 á 3310 kHz. El ruido en esta banda se transfiere a la banda de retorno entre 265 y 295 kHz, cuando se aplica al sistema los impulsos de portadora. Mediante la aplicación desde las estaciones terminales de frecuencias posteriormente seleccionadas es también posible medir los productos de intermodulación de segundo y de tercer orden.

En los terminales se incorpora el equipo de supervisión de los repetidores sumergidos de nuevo diseño, para generar las frecuencias de prueba necesarias y para medir la amplitud y posición de las señales devueltas.

8. Igualación del sistema

En los sistemas de cable submarino de larga distancia que contienen muchos repetidores en tándem, se forman, en la característica de ganancia frecuencia, errores residuales debido a las curvas de pérdidas en el cable y de ganancia en los repetidores, lo cual exige una corrección periódica por medio de la introducción de igualadores, que se ajustan a bordo, a distancias regulares en el océano.

Esta técnica es ya muy conocida por haberse empleado en los sistemas para 80 y 160 circuitos. Conforme aumenta la capacidad del sistema la distancia entre repetidores disminuye, para el mismo diámetro de cable, y la separación entre igualadores también tiende a ser menor. De esto resulta un acortamiento en el tiempo disponible para el diseño de los igualadores en el cablero. Anteriormente la práctica normal era dejar un empalme abierto en cada igualador, para hacer medidas en el sistema, antes de su diseño, completando el empalme después del ajuste. Por ello hacia falta un período de 4 á 7 horas para el empalme y esto unido a la menor distancia entre igualadores en el sistema actual haría que el tiempo dedicado al igualador fuera una proporción poco aceptable del tiempo disponible entre igualadores.

Debido a esto, se ha diseñado un tipo nuevo y perfeccionado de igualador que elimina la necesidad de un empalme a bordo en cada uno.

Un igualador ajustable a bordo requiere, naturalmente, una envoltura desmontable resistente a la presión que pueda manipularse a bordo y esta condición puede cumplirse con la cubierta hermética de anillo tipo "0" utilizada para el repetidor, que ha sido ya empleada en todos los igualadores sumergidos británicos durante muchos años.

Una modificación de esta cubierta para sacar al exterior un "conductor de prueba", que no se incluía en los

tipos anteriores, permite que puedan hacerse medidas de transmisión durante el tendido con ambos extremos del igualador conectados al cable.

9. Suministros de fuerza

Cada una de las tres secciones del sistema del cable se trata como una unidad independiente con respecto al suministro de energía de los repetidores. En cada sección los repetidores sumergidos tienen sus filamentos conectados en serie, alimentados por medio de una corriente continua exactamente controlada y suministrada desde las estaciones terminales a través del conductor central del cable. La vuelta es por el mar a través de placas de tierra.

El equipo de alimentación de fuerza debe cumplir las dos condiciones fundamentales:

a) suministrar una corriente mantenida constante dentro del $\pm 1\%$ en cualquier condición y dispuesta con elementos de seguridad que protejan los tubos en caso de faltas;

b) proporcionar un grado de redundancia muy elevado para cubrir cualquier condición de falta anormal, teniendo en cuenta la complejidad y la importancia del sistema.

En la tabla 1 se dan las necesidades aproximadas de voltaje para cada sección.

Con objeto de reducir el voltaje actual aplicado a cualquier repetidor y también para facilitar la localización de un repetidor con avería, se emplea en todas las secciones, alimentación desde ambos extremos, por encima del voltaje de tierra en uno y por debajo en el otro.

El equipo especial de alimentación opera desde un suministro trifásico de 400 Hz obtenido de grupos motor alternador, y proporciona 502 miliamperios $\pm 1\%$ para todos los voltajes de salida hasta 15 kV y para variaciones de $\pm 10\%$ y $\pm 5\%$ respectivamente del voltaje y frecuencia de entrada de 50 Hz.

Para proporcionar continuidad de alimentación de fuerza desde cada terminal, se disponen dos bastidores de fuerza que operan en paralelo siendo cada uno de ellos capaz de suministrar la corriente del sistema. Además se incluye para emergencia un equipo suplementario completo, en el que se incluyen también dos bastidores de fuerza, que puede conmutarse manualmente, sin interrupción del tráfico del sistema, para sustituir a una unidad en operación.

El equipo de suministro de fuerza y el equipo de traslación terminal, en Ciudad del Cabo, islas de Ascensión y Canarias, operan desde suministros de 50 Hz de corriente alterna de la red industrial, por intermedio de grupos motor-alternador con rueda volante. En caso de fallo del suministro de la red industrial, se dispone de grupos diesel que entran en operación automáticamente.

En la estación terminal de Lisboa que es común al cable Portugal—Sudáfrica y al sistema Portugal—Reino Unido, los suministros de fuerza de la central son 27 V. corriente continua para operar el equipo terminal y 145 V. corriente continua para el equipo de alimentación a grupos alternadores de 400 Hz. Ambos suministros se obtienen de baterías de acumuladores en flotación con suministros de corriente alterna rectificadas y se disponen también grupos diesel-alternador para emergencia.

En el caso especial de Sal (Cabo Verde), que no es una estación de alimentación de fuerza, el equipo terminal opera con 27 V. corriente continua obtenidos de baterías de acumuladores en flotación y con grupos diesel-alternador.

10. Estaciones terminales y tránsito de circuitos

En las estaciones terminales está provisto equipo para trasladar las bandas de frecuencia de señal empleadas en el cable submarino a una banda aceptable para el equipo múltiplex normal, el cual convierte las señales en

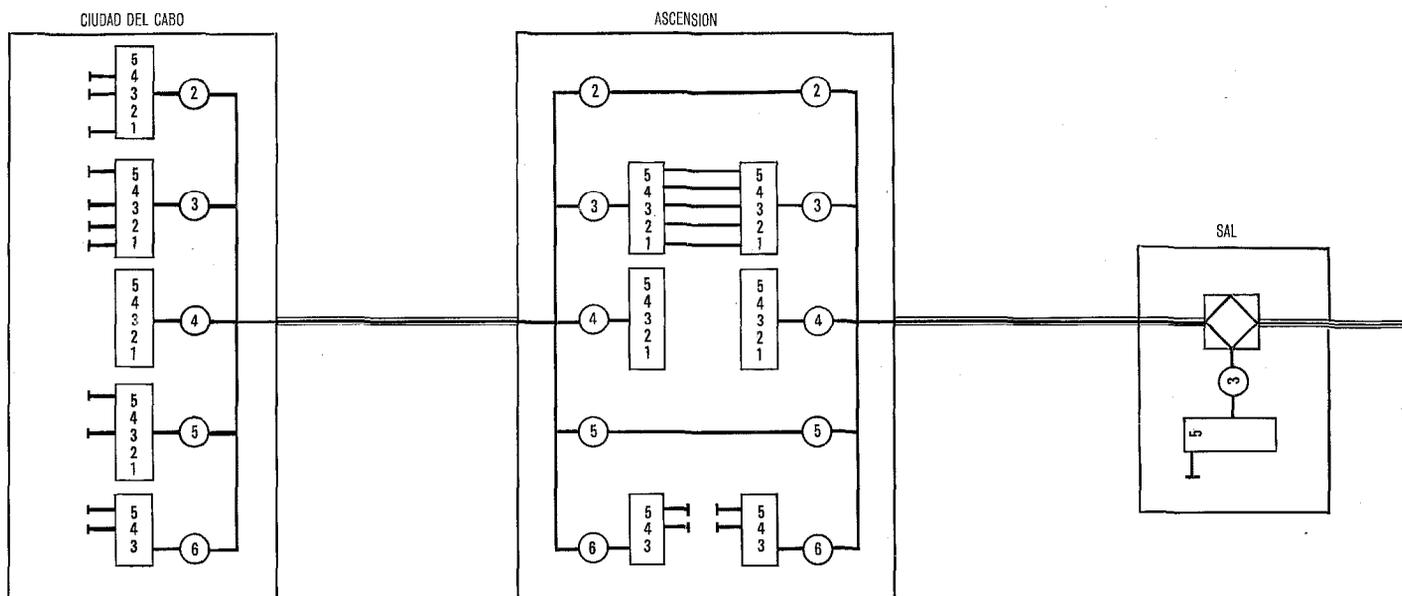


Fig. 4 Asignación de grupos en el sistema de cable submarino del Atlántico del Sur.

grupos o supergrupos normalizados. Estos pueden conectarse a través de filtros adecuados a otros sistemas por tierra o submarinos, o bien a un equipo de traslación de canales.

Como ya se ha dicho, los tres enlaces del sistema son entidades independientes y en cada extremo de cada enlace las señales se convierten en supergrupos o grupos para las conexiones de tránsito o si es necesario se llevan al equipo de traslación de canales. La disposición tiene la mayor flexibilidad.

En Ciudad del Cabo el cable amarra en Melkbosstrand donde un equipo de traslación facilita el paso de las señales, vía un enlace de microondas, a la estación terminal de Barrack Street donde se conectan con la red interior de Sudáfrica.

En la isla de Ascensión, los dos terminales se enlazan a base de grupos o supergrupos de tránsito excepto un pequeño número de grupos que terminan en la isla y para los cuales se provee el equipo de traslación de canales.

En Sal (islas de Cabo Verde) se dispone un transformador híbrido en T que da acceso al sistema submarino con el objeto de sacar un pequeño número de canales. Con esta finalidad se dispone de una cantidad limitada de equipo terminal que podría suplementarse, si más adelante fuera necesario un mayor número de canales.

En Santa Cruz de Tenerife en las islas Canarias, se emplean de nuevo terminales acoplados para los circui-

tos de tránsito. En este punto el sistema puede conectar con el sistema PENCAN* que enlaza con España, en el Continente.

En Portugal el cable amarra en Sesimbra que es un pequeño saliente en el mar a pocos kilómetros de Lisboa. El sistema de cable entre Lisboa y el Reino Unido** también amarra en este punto, así que es posible la conexión directa entre los dos sistemas a base de supergrupo y de hecho habrá 2 supergrupos directos desde Ciudad del Cabo a Londres. Desde Sesimbra se encaminan circuitos a Lisboa sobre la red interior portuguesa.

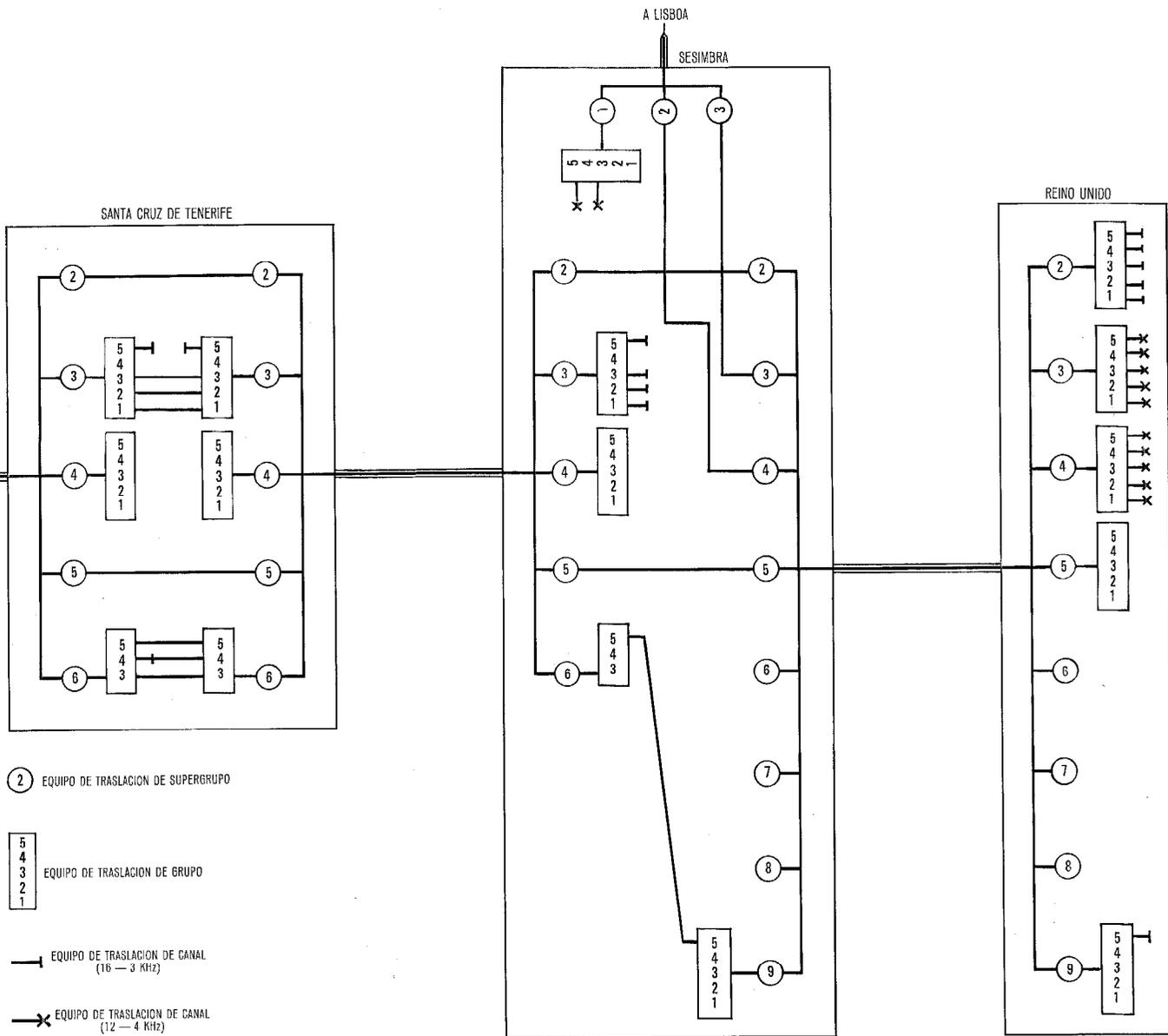
La figura 4 muestra esquemáticamente la asignación de grupos en el sistema del cable submarino y da idea de la magnitud del proyecto.

Es interesante anotar que el cable submarino Sudáfrica—Portugal:

- a) proporciona un mayor número de kilómetros circuito que cualquier otro sistema submarino intercontinental;
- b) es el mayor proyecto de cable submarino que ha sido emprendido por un solo contratista;

* El sistema PENCAN es para 160 circuitos y enlaza España con las islas Canarias. Fué fabricado e instalado como un proyecto de urgencia por Standard Telephones and Cables en 1965 y fué el primer sistema de largo alcance de esta capacidad.

** El sistema del Reino Unido a Lisboa es un sistema transistorizado de 5 MHz y se completará en 1969. Todo el equipo será fabricado por Standard Telephones and Cables Limited.



c) es el único sistema de larga distancia en el que, diseño, fabricación, tendido, instalación, edificios, plantas de fuerza primaria y alineación se han hecho bajo responsabilidad de un solo contratista;

d) es el primer sistema que ha empleado un igualador sumergido de nuevo diseño especial para sistemas de cable submarino de banda ancha y larga distancia.

Agradecimiento

Un proyecto de esta magnitud envuelve claramente un gran número de personas, firmas, Administraciones, sub-contratistas, etc., y se dan las gracias a todos aquellos que han contribuido al éxito de esta empresa.

Especialmente el autor desea expresar su agradecimiento a la South Atlantic Cable Co. y al South African Post Office por su ayuda al proporcionar la información para este artículo y por su cortesía en todo el proyecto.

A. H. Roche nació en Londres el 12 de Marzo de 1903. Recibió los grados B. Sc. y A. C. G. I. del City and Guilds Engineering College en 1924. El mismo año se incorporó a la Western Electric Company en Woolwich siendo transferido a los ITT Laboratorios en 1928. En 1933 se incorporó a Standard Telephones and Cables y fué nombrado ingeniero jefe de la división de repetidores sumergidos desde su implantación. Actúa ahora como consultor.

Replanteo de la ruta del cable

E. BAGULEY
J. J. W. EVERETT

1. Introducción

Cuando se tomó la decisión de proceder con el sistema de cable submarino de Sudáfrica a Portugal, se escogieron también las posiciones de los terminales. Estos se eligieron en Ciudad del Cabo, Isla de Asunción, Isla de la Sal, Tenerife y Sesimbra. El siguiente paso del proyecto era hacer el replanteo de la ruta entre estos puntos. Los objetivos del replanteo pueden definirse: primero seleccionando la ruta más corta y económica, a lo largo de la cual se tendería el cable con la mayor seguridad posible contra las eventualidades externas. En segundo lugar reunir toda la información necesaria para determinar el diseño del cable, y predecir los cambios que tendrían lugar en los parámetros eléctricos del cable desde su prueba en los tanques de la fábrica hasta que estuviera en el fondo del mar. En tercer lugar para determinar las variaciones anuales de temperatura a través de la ruta de modo que pudieran predecirse las variaciones anuales en el comportamiento del sistema y compensarse en el equipo terminal.

2. Replanteo de los extremos de costa y tierra

El primer trabajo de campo estaba relacionado con la selección de los sitios de amarre. Convenía encontrar playas de pendiente suave, relativamente libres de salientes de rocas y escollos sumergidos o arrecifes, que podrían producir daños en el cable durante los fuertes oleajes que son frecuentes durante grandes períodos en el Océano Atlántico. También hay que tener en cuenta que el barco cablero, para hacer el tendido y amarre del extremo del cable, debe anclar a una distancia no mayor que una milla náutica preferentemente. También deben establecerse, los vientos dominantes, profundidad del agua del mar y lugares apropiados para anclajes.

En todas las localidades de amarre se hicieron recorridos de sondeos cercanos a la orilla, utilizando lanchas equipadas con equipos portátiles de sondeo, para establecer la profundidad del agua y su libertad de rocas, escollos y arrecifes. Cuando es posible, el extremo de los cables se lleva a través de una ruta que evita la contingencia de ser dañada por las anclas de los barcos o de los rastreos de los pesqueros. También hay que considerar el fácil acceso desde las playas a lugares adecuados para los edificios terminales por medio de zanjas o conductos.

2.1 Melkbosstrand, Ciudad del Cabo, Sudáfrica

El edificio central del Post Office en Ciudad del Cabo es el terminal más al sur del cable. Para un sistema de 3 MHz y 360 canales, la longitud de la sección de repetidores (separación entre repetidores) es 5,9 millas náuticas para el cable de tierra normal de 16 mm normalmente usado con el cable coaxial submarino de 25,4 mm. No se consideraba conveniente tener repetidores del tipo sumergido instalados en tierra o a una distancia menor que una milla náutica hacia el mar desde la línea de

costa. Para realizar esta disposición en Ciudad del Cabo era necesario llevar la entrada en tierra del cable a un punto a una distancia no mayor que 5 millas náuticas desde el edificio terminal. Dentro de este radio no hay punto apropiado de entrada en tierra, y el grupo de replanteo recibió instrucciones de considerar una estación terminal fuera del área de Ciudad del Cabo, preferentemente dentro del alcance por microondas del edificio central del Post Office.

La línea de la costa hacia el sur desde Punta Verde (Green Point), Ciudad del Cabo, es extremadamente abrupta y escarpada durante todo el camino (unos 45 km) a la punta del Cabo. Más allá de punta del Cabo hay un acceso hacia el norte en False Bay y la costa este del cabo Peninsular. La costa norte de False Bay hacia el este desde Muizenberg, es de poco fondo y arenosa y está aproximadamente a 20 km de Ciudad del Cabo. Aunque sea atractiva como punto de amarre del cable, se descartó al establecerse que la longitud desde Isla de Ascensión aumentaría en 60 millas náuticas aproximadamente.

Al norte de Ciudad del Cabo desde la desembocadura del río Diep hacia adelante, la costa es una serie de dunas arenosas que en grandes trechos están cubiertas con maleza y arbustos bajos. En algunos sitios están rebordeadas por salientes de rocas con algunos lunares de rocas sumergidas en la orilla. En Bloubergstrand la costa es en su mayor parte rocosa en 1,6 km aproximadamente. Robben Island está a 6,5 km al oeste de Bloubergstrand y la profundidad del agua no excede de 10 brazas entre estos dos sitios.

Ocho kilómetros más al norte está la punta Melkboss y el pueblo de pescadores de Melkbosstrand donde hay una playa de arena que mira al noroeste, de 230 metros de longitud aproximadamente. Hay bajos salientes de rocas en ambos lados. Bajo el agua las rocas están cubiertas con densos crecimientos de algas que hacen que su posición sea claramente visible desde la superficie. El pueblo tiene la perspectiva de desarrollarse como centro veraniego y era posible adquirir un sitio para el edificio terminal a no mayor distancia de 1,6 km de la playa. Hay una buena línea directa de vista entre el pueblo y el edificio del Post Office en Ciudad del Cabo, de aproximadamente 20 millas náuticas de longitud con una milla aproximadamente en cada extremo sobre tierra. Se llegó a la conclusión de que Melkbosstrand era el primer sitio elegido para terminal de cable, sujeto a que el replanteo del tendido en el mar en las proximidades de la costa diera resultados aceptables.

Para este replanteo, el Departamento de Pesquerías Sudafricano puso a disposición del grupo de trabajo, el barco de investigación Kunene con base en Ciudad del Cabo. El barco es de 23 metros de largo, 24 toneladas de registro y 3,1 metros de calado, máquinas diesel y velocidad de crucero de 8 nudos y puede llevar cuatro supernumerarios. Está equipado con un registrador de sondeos y con radar. Para el trabajo en la costa se aparejó

Tabla 1 - Sondeos en la salida de Melkbostrand.

Marea alta: a las 9:21 horas (6 pies). Todas las profundidades corregidas por la posición del transductor en el barco.

Punto de observación Figura 1	Hora	Distancia en millas náuticas desde P. R. C.	Profundidad en brazas - pies*	Observaciones
A 1	11:15	0,4	5	Ruta 290°
A 2	11:30	1,4	10-2	Aumento de la profundidad gradual
A 3	11:45	2,5	14-1	Trazado suave
A 4	12:00	3,4	20-4	Trazado suave
A 5	12:13	3,97	23	Pequeña roca de 6 pies de altura
A 6	12:15	4,1	24	Trazado suave
A 7	12:30	5,0	26	Trazado suave
A 8	12:45	5,8	27-4	Entre las 12:57 y 13 horas fondo irregular en 1/5 de milla máximo 12 pies
A 9	13:00	6,3	30-4	C/R 20°
A 10	13:07		28-4	C/R 110°
A 11	13:22	5,3	25	Trazado suave
A 12	13:37	3,9	21-2	Pequeña roca de 4 pies de altura
A 13	13:52	2,5	13	Trazado suave
A 14	14:07	1,4	8-2	Trazado suave
A 15	14:15	0,7 desde la costa	5-2	Trazado suave

P. R. C. — Punto de referencia en la costa

C.R. — Cambio de ruta

* 1 braza = 6 pies 1 pie = 0,3 metros.

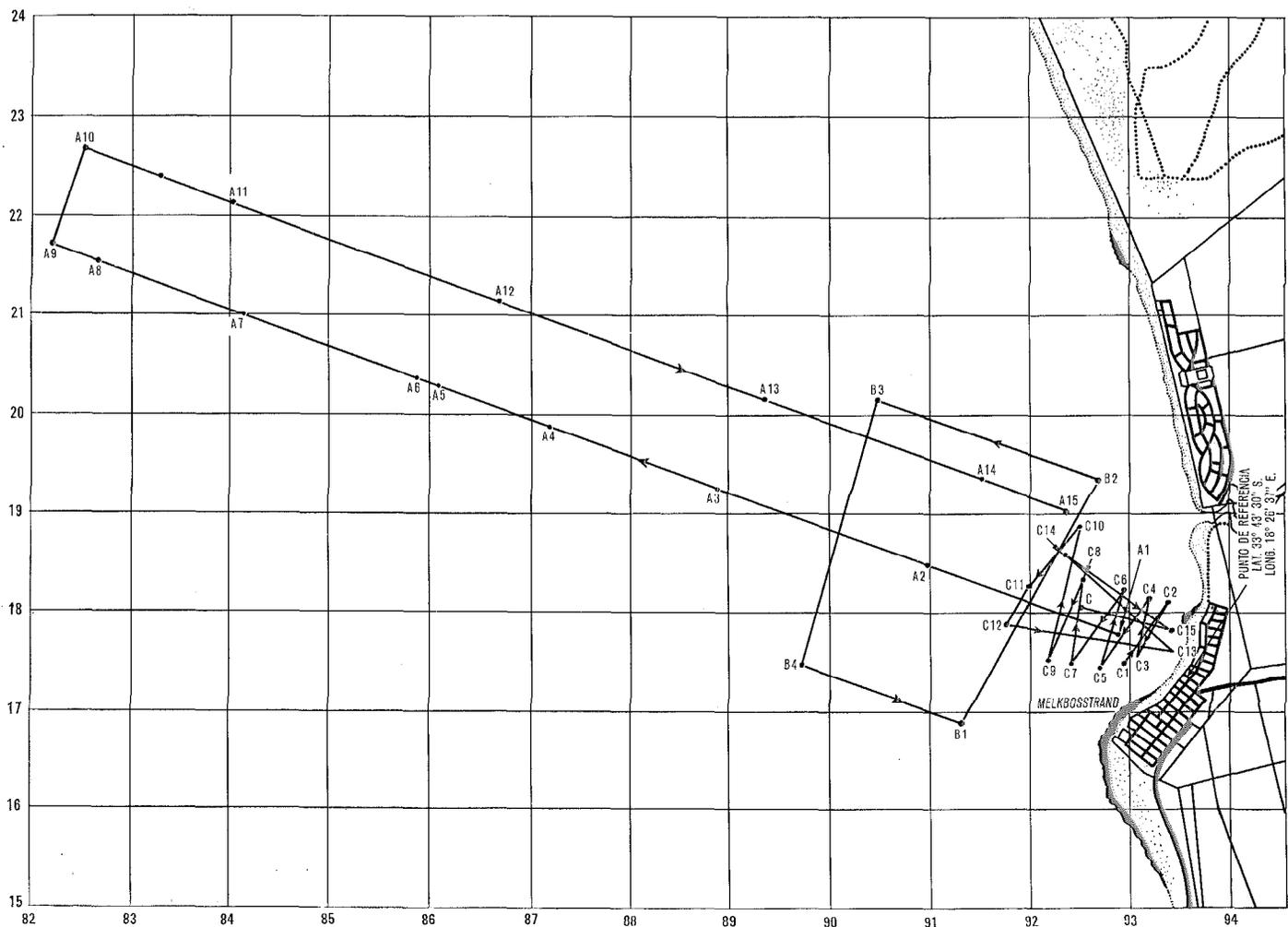


Fig. 1 Sondeos hechos con lancha a motor.

Replanteo de la ruta

en una lancha con motor, un registrador de sondeo portátil de tres márgenes 0—10, 10—20 y 20—30 brazas. Los detalles de una de las pasadas de sondeo realizadas por la lancha se dan en la tabla 1 y el curso seguido se ha marcado con las designaciones A₁ á A₁₅ inclusive, en la figura 1.

Se llegó a la conclusión por los sondeos realizados, que no habría importantes riesgos tendiendo el cable hacia el mar desde Melkbosstrand a lo largo de una orientación de entre 290° y 300° para una distancia de 9,6 km hasta el principio del replanteo en mar profundo.

Fuera de la costa este de Sudáfrica desde la bahía Walvis de 24°S de latitud, al Cabo, latitud 35°S, el mar, como consecuencia de las corrientes del Antártico, es rico en fosfatos y tiene gran cantidad de peces habiendo un gran número de barcos pesqueros. La zona de pesca sigue un canal entre las líneas de 100 y 400 brazas a lo largo de la costa oeste desde 24°S hasta 35°S.

Resultará evidente por tanto que el cable desde Melkbosstrand o desde cualquier playa de la costa este, no puede evitar cruzar este canal de pesca. Pudiera haber alguna ventaja marginal en tomar el cable por los terrenos escarpados de la bahía de Saldanha y esto se consideró durante el replanteo de mar profunda desde Ascensión a Melkbosstrand, pero se pensó que la variación no valía la pena de tenerse en cuenta.

2.2 Isla de Ascensión

En este cable SAT I, es la primera toma de tierra en el tendido hacia el norte desde Ciudad del Cabo. Geológicamente la isla no es atrayente como sitio de amarre de cables.

Esta isla es de origen volcánico y constituye una meseta de un complejo montañoso sumergido, no existiendo playas amplias de declive suave y arenoso. El terreno está compuesto sobre todo por lava negra, que cae profundamente en el mar desde la meseta de la isla, pero existen algunas pequeñas ensenadas. En una de éstas, en la costa oeste, amarran seis cables telegráficos que han estado en operación durante cincuenta años o más.

Geográficamente, la isla ha llegado a ser un centro importante de radiocomunicaciones. Las facilidades del nuevo cable telefónico complementarán y se sumarán al valor de estos servicios muy eficazmente. De este modo el replanteo para el amarre del nuevo cable y la colocación de la estación terminal se realizó previas consultas con el administrador insular y con las autoridades relacionadas con las actividades existentes y en desarrollo. Diez pequeñas playas fueron inspeccionadas y estudiadas por las condiciones de accesibilidad hacia el mar y por los caminos de cable terrestre a la estación terminal de cable propuesta y a Georgetown, capital de la isla. Se consideró especialmente el punto de amarre del cable telegráfico en vista de su conocida historia. Sin embargo, los nuevos cables, en vista de la restricción en su salida al mar, hubieran estado demasiado próximos a los existentes para permitir una identificación fácil en el trabajo rutinario de mantenimiento. Las posibilidades en las costas norte y este se descartaron a causa de

que prevalecen la costa escarpada y la carencia de carreteras.

El sitio de amarre recomendado a la compañía South Atlantic Cable y aceptado por ésta es la ensenada Mitchell en la costa oeste y aproximadamente a dos millas al sur de Georgetown. En ella amarran cuatro cables: el cable coaxial desde Sudáfrica y su cable de tierra junto con el cable coaxial que va dirección norte hacia Portugal y su cable de tierra. Se ha establecido la prohibición de anclar para proteger los cables del peligro de los barcos.

2.3 Islas de la Sal y Cabo Verde

La Sal es una plataforma plana casi sin forma, de material volcánico, de 32 km de larga por 9,6 km de ancha y con un promedio de 4 á 5 metros sobre el nivel del mar. En su parte sur tiene extensas dunas arenosas y en ella el pequeño puerto de Santa María que por centenas de años ha estado relacionado con la producción y exportación de sal que se obtiene en salinas construídas sencillamente, donde el agua del mar se seca por el sol. Desde hace aproximadamente treinta años la isla constituye un aeropuerto natural y ha llegado a ser un punto de paso para el tráfico aéreo este a oeste y norte a sur a través del Atlántico. Por esta razón se tomó la decisión de hacer el amarre del cable en esta isla proporcionando así circuitos telefónicos directos a Sudáfrica y Portugal.

En el replanteo del amarre, se estudiaron nueve playas en las costas del este, sur y oeste. El mejor sitio para entrada del cable está cerca del puerto de Santa María en la costa sur, es amplio, arenoso y la línea de 100 brazas está a menos de 1,6 km de la costa. Desafortunadamente, está a 20 km del aeropuerto, por cuya razón fué descartado.

A 3 km aproximadamente del aeropuerto en la costa oeste, está el puerto de Palmeira con facilidades de almacenamiento de petróleo y una buena playa protegida de los vientos dominantes. La bahía está dispuesta como un sitio de anclaje para los petroleros con conductos flotantes sostenidos por boyas. No sería un punto seguro de entrada del cable.

Cinco kilómetros al sur de Palmeira está la bahía de Mordeira, una bahía de 6,5 km de ancho con vistas al sudoeste. En la parte norte, la playa está enfrentada al sur y está bien protegida de los vientos dominantes del noreste. En general es arenosa pero hay frecuentes lunares de rocas, rocas esparcidas y salientes de naturaleza volcánica. Esta playa está a poco más de 3 km desde el lugar donde está el nuevo edificio de control y el aeropuerto. No hay otros edificios ni cultivos próximos y a un nivel aproximado de cinco metros la tierra es firme y plana. Un replanteo con un barco, confirmó que el lecho del mar es en su mayor parte arenoso con rocas esparcidas pero que podían ser evitadas durante el tendido del cable empleando hombres ranas para situar los cables.

Se decidió amarrar los cables en este extremo norte de la bahía de Mordeira y construir la estación terminal 150 metros hacia el interior desde la costa.

2.4 Tenerife

La isla de Tenerife es geológicamente la mayor y con más escarpadas montañas y salientes de rocas de los tres puntos de amarre de la ruta del cable entre Sudáfrica y Portugal.

En 1965 Standard Telephones and Cables tendió para la Compañía Telefónica Nacional de España un cable telefónico submarino, Pencan, con 160 canales desde Tenerife a Cádiz en el Sur de España. El punto de amarre en Tenerife está al sur de las facilidades del puerto principal en la capital de la isla Santa Cruz y cuando se hizo el replanteo para el SAT I este cable no había tenido faltas durante el primer año de servicio. De aquí se desprendía que Santa Cruz era potencialmente un buen punto de amarre para el nuevo cable.

En la costa este hay dos posibilidades adicionales a Santa Cruz. Al norte está el pueblo de San Andrés, accesible por una buena carretera de costa y con una buena playa pero se está convirtiendo en un punto de anclaje para grandes petroleros, lo que constituiría un riesgo considerable para los cables. Al sur está el pueblo de Candelaria también con una buena carretera desde Santa Cruz pero la pequeña playa está expuesta a los vientos dominantes del noreste. Como consecuencia de ello las condiciones mar tranquilo para el tendido y mantenimiento son poco frecuentes.

En la costa sur, al oeste de la pequeña ciudad turística de Medano hay una larga bahía arenosa que técnicamente es el mejor sitio de amarre de cable en Tenerife. Está protegida de los vientos dominantes y es el punto de amarre de un cable telegráfico que tenía excelente historial de servicio. Hay buenos emplazamientos para una estación terminal y lugares para residencia del personal pero está falto de lugares de esparcimiento. Está situado a cuatro horas de Santa Cruz por carreteras de montaña, y sería costoso el suministro adecuado de fuerza, así como las facilidades para la línea por tierra a las redes principales telefónicas en Puerto de la Cruz y Santa Cruz.

A partir de los resultados obtenidos en los replanteos de 1966 y 1967 además de los datos de salida al mar en el replanteo desde el barco, se decidió el amarre de los cables del SAT 1 en Santa Cruz en una playa de 300 metros al sur del punto de amarre del cable Pencan.

2.5 Portugal

El cable SAT 1 es el primer cable telefónico submarino con amarre en Portugal y el punto apropiado de entrada del cable tenía que seleccionarse sobre la base de que la estación terminal tenía que compartirse con un segundo cable a ser instalado entre Portugal e Inglaterra. El tráfico desde estos dos cables exigiría el acceso a la red telefónica portuguesa con base en Lisboa. El tráfico telegráfico a través del mar en Portugal se ha realizado mediante seis cables telegráficos que amarran en Carcavelos, en la parte norte del estuario del río Tajo aguas abajo de Lisboa. Antes de iniciar el replanteo de la entrada en tierra para determinar el punto de amarre del cable se decidió que no debería estar cerca del estuario del río Tajo y que debería ser adecuado para un total de cinco cables.

Una primera elección en un replanteo previo basado en el examen de los mapas fué el pequeño pueblo de Cartaxas en la bahía de Setubal a 80 km aproximadamente al sur de Lisboa. Hay en dicho lugar una amplia playa de arena con la profundidad del agua creciendo en pendientes suaves hasta unas 500 brazas. Cartaxas fué inspeccionado juntamente con Sines en el extremo sur de la bahía pero en discusiones posteriores se vio que ambos carecían de amenidad residencial y con una distancia por carretera de 144 km del nuevo puente en la carretera de Lisboa sobre el río Tajo.

En el extremo norte de la bahía está el estuario del río Sado con la ciudad y puerto de Setubal en la orilla norte. Los extremos de la orilla sur con una estrecha y larga península de aproximadamente 600 metros de anchura tiene en el lado que mira al mar una gran playa de arena suave. Esta hubiera sido un buen punto de amarre pero no era posible encontrar un lugar para cruzar con seguridad el estuario para el cable a Lisboa.

Desde Setubal la línea de costa se extiende aproximadamente 24 km en dirección casi al oeste. Es más bien rocosa con altos acantilados pero en la ciudad pesquera y turística de Sesimbra que está por carretera a 32 km al sur de Lisboa hay una amplia bahía con terreno arenoso. Se llegó a la conclusión de que Sesimbra sería el punto de amarre de los cables a Sudáfrica y al Reino Unido y posteriores replanteos de las aproximaciones al mar confirmaron que podrían acomodarse hasta cuatro cables.

3. Replanteo de alta mar

Antes de iniciar el replanteo, se recogió la mayor cantidad posible de información, de todas las fuentes posibles, acerca de las condiciones a lo largo de la ruta propuesta que pudieran afectar al cable y repetidores durante la instalación y posteriormente.

La información de temperatura se obtuvo del Centro de Datos Oceanográficos en Washington, U. S. A., desde los Woods Hole Atlantic Ocean Temperature and Salinity Atlas, de los Atlas de temperatura de la superficie del mar (publicados por el U. S. Hydrographic Office), de las tablas climáticas publicadas en los British Admiralty Pilot Books y de la Universidad de Ciudad del Cabo.

La naturaleza del lecho del mar a lo largo de la ruta se discutió con los representantes del British Institute of Oceanography, del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Ciudad del Cabo y de Cable and Wireless Limited.

Hojas del trazado de la ruta completa a escala 1 por 1 000 000 se obtuvieron del Almirantazgo y de Portugal, España y Sudáfrica. Una colección completa de mapas desde Lisboa a las islas Canarias se obtuvo del British Institute of Oceanography. Mapas a pequeña escala del Atlántico Sur se obtuvieron de la U. S. Hydrographic Office. Los diagramas fisiográficos de los océanos Atlántico norte y sur se obtuvieron de la Geological Society of America. Un mapa de perfiles del fondo del mar alrededor de Sudáfrica se obtuvo de la Universidad de Ciudad del Cabo.

Información útil también de los riesgos a los cuales estaría sometido el cable se obtuvo estudiando los da-

Replanteo de la ruta

tos de temporales, anclaje de los barcos, actividades pesqueras y las más importantes de las historias de faltas de los cables telegráficos próximos a la ruta propuesta.

Se hizo un análisis gráfico de los datos de las temperaturas anteriores, y mapas detallados de los alrededores mostrando las antiguas rutas de cable telegráfico y las posiciones de sus faltas se prepararon para el total de la ruta partiendo de los datos de profundidad recogidos. De esto se dedujo plenamente, en qué áreas era necesaria más información y se hicieron los planes para el replanteo de acuerdo con ello.

Además de planificar el programa del replanteo hacía falta un estudio del tamaño del barco y del equipo especializado que tenía que ser necesario. El barco escogido fué el C. S. "John W. Mackay" de 4.049 toneladas propiedad de la Commercial Cable Co. (Marine) Ltd. El barco fué equipado especialmente para el replanteo con un registrador de profundidad Raytheon (modelo PFR-193), un torno oceanográfico y cable de acero de 4 mm de diámetro, dispositivos para tomar muestras del fondo del mar, termómetros y cámaras capaces de ser bajadas a profundidades de 2000 brazas. Con una autonomía de 8000 millas náuticas y con una duración superior a 40 días, este barco podía estar en el mar sin repostar de gas-oil y sin reavituallar, un tiempo lo bastante largo para que el trabajo de replanteo fuera realizado sobre las enormes distancias en el Atlántico del Sur.

3.2 Descripción del replanteo

El barco para el replanteo zarpó de Inglaterra el 5 de Abril de 1966, llegó a Ciudad del Cabo el 26 de Junio de 1966 volviendo a Inglaterra el 30 de Julio de 1966 habiendo navegado una distancia total de 23.000 millas náuticas. Durante el replanteo se utilizó más de 400 m. de papel para registrar las profundidades del mar y más de 14.000 lecturas individuales de profundidad se agregaron en los mapas para facilitar el dibujo de los perfiles del fondo del mar con el mayor detalle.

En cada punto de amarre se midieron las temperaturas a intervalos de 100 brazas hasta 1200 brazas. La mayoría de las variaciones de temperatura se esperaban dentro de las primeras 500 brazas de profundidad, pero se realizaron lecturas a mayores profundidades para solapar con los datos de temperaturas para aquellas áreas.

Se superpusieron las variaciones de temperatura con la profundidad en los gráficos de temperatura y profundidad anteriormente preparados de los datos previos obtenidos. La figura 2 ilustra los resultados que se han conseguido, mostrando el promedio de disminución de temperatura con el aumento de profundidad en las áreas próximas a Sesimbra, Tenerife y Ascensión.

Un grupo de cuatro ingenieros de Standard Telephones and Cables estuvo durante los cuatro meses del replanteo en el C. S. "John W. Mackay" y trabajaron vigilando la operación del registrador de profundidad durante todo el tiempo. También analizaron los resultados de las medidas de temperatura y de las muestras tomadas del fondo del mar, además tenían que marcar en los mapas las lecturas de profundidad tomadas cada 10 mi-

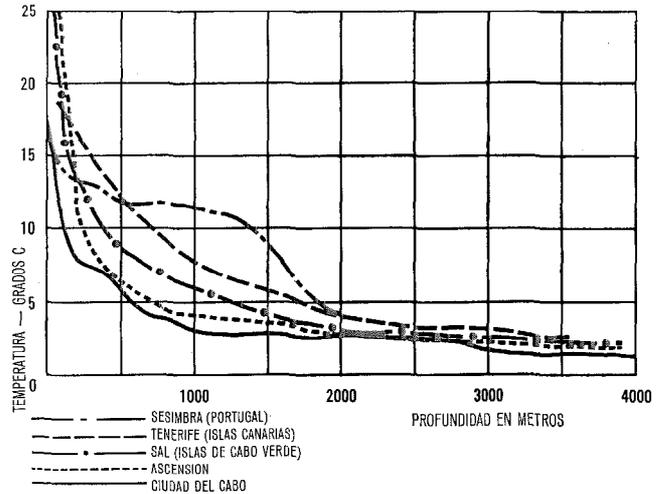


Fig. 2 Gráficos de la temperatura en función de la profundidad.

nutos por el registrador de profundidad de precisión. A medida que se acumulaban estos datos de los sondeos en un área particular, se dibujaban los perfiles del fondo del mar mostrando las pendientes, ondulaciones y fosos. Después podían tomarse decisiones acerca de la línea más conveniente para ser seguida por el cable, así como conocer si eran necesarios más sondeos y tomas de muestras para escoger una ruta particular.

3.3 Selección de la ruta y tipos de cable

3.3.1 Selección de la ruta

La selección de la ruta, consistía en encontrar la más corta distancia entre los terminales que representara el mínimo de riesgo para el cable y los repetidores. En la práctica esto se resolvió buscando un camino alrededor de las áreas que tuvieran posibilidad de riesgos.

a) Las hondonadas de salida de Lisboa

Para salida del punto de amarre en Sesimbra se presentaban las hondonadas del río Tajo y el Sado y había que hacer un estudio de los posibles riesgos para el cable. Se sabía que varios cables telegráficos habían cruzado las más bajas profundidades de estas hondonadas sin averías, en estos puntos, durante muchos años. Por otra parte, los oceanógrafos que fueron consultados informaron que todas las hondonadas deben considerarse como áreas sospechosas del paso de corrientes turbulentas. Los sondeos y las muestras del fondo revelaron que las zonas más bajas de estas hondonadas eran además muy pendientes y escabrosas, pero que las partes más altas tenían menos pendientes y menores y estaban cubiertas de arcilla. De acuerdo con esto se decidió cruzar la hondonada del Sado, con la ruta del cable, por su parte superior. También había que dejar sitio para que el cable Reino Unido—Portugal y otros cables futuros pudieran tenderse para amarrar en Sesimbra, (Fig. 3).

b) Paso entre Tenerife y Gran Canaria

Se hizo una pasada en forma de rejilla de sondeos entre las islas de Tenerife y Gran Canaria y en la proximidad de las playas. Se decidió eventualmente situar el terminal en Santa Cruz y el acercamiento bajo el agua a

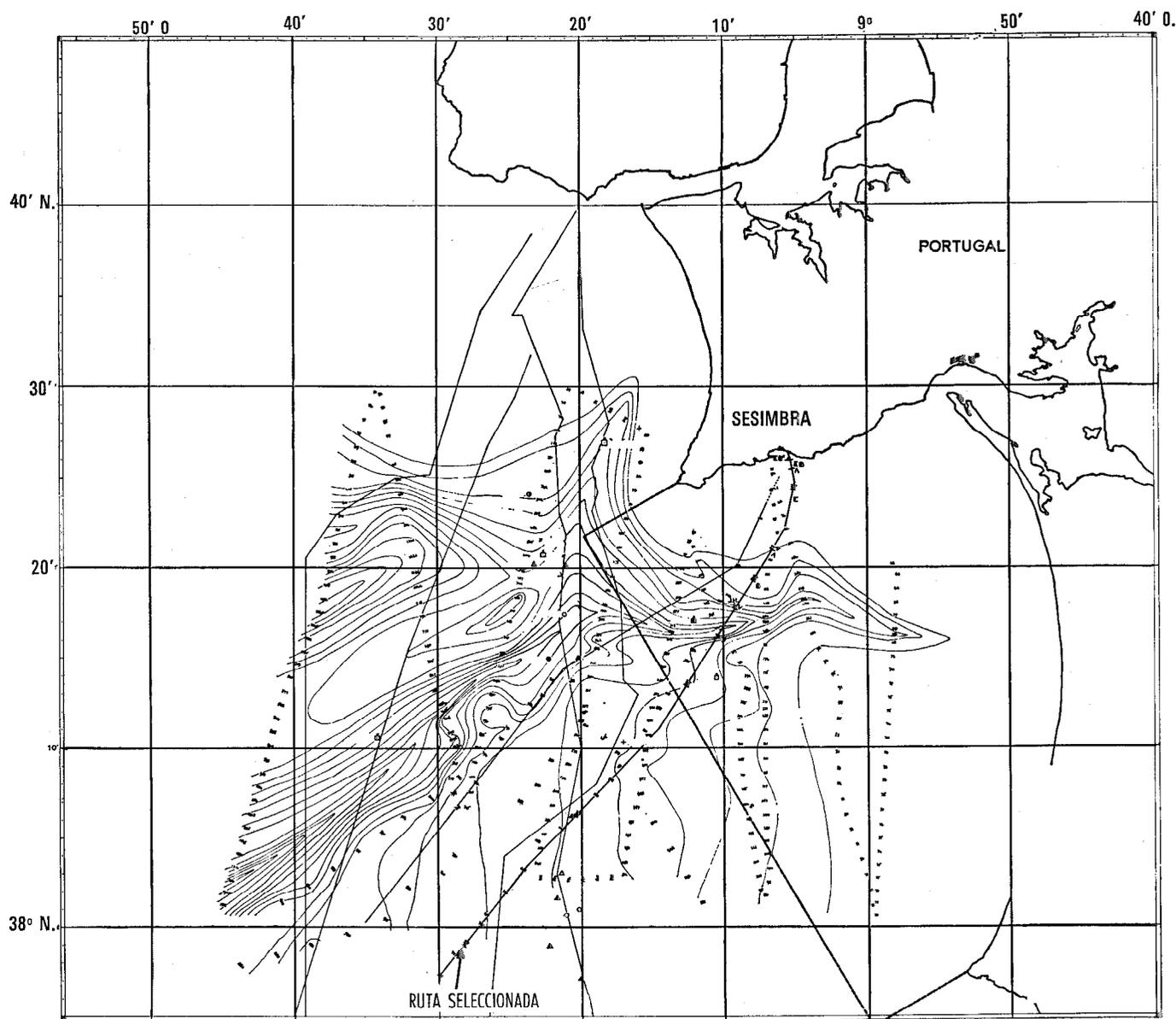


Fig. 3 Detalles de cables, faltas de cable y fondo del mar — Cercanías de Sesimbra.

este punto de amarre tenía que llevarse hacia el centro del canal, entre las islas, para evitar el fondo del mar más escarpado junto a la costa sur de Tenerife (Fig. 4).

c) Aproximación a la isla de la Sal

Se seleccionó la bahía de Mordeira como el sitio de entrada en tierra más apropiado y protegido, pero para conectar esta con la ruta principal había que elegir el camino más largo pero más suave alrededor de la parte superior de la isla o buscar una ruta apropiada a través del canal entre las islas de la Sal y Boa Vista. Después de varios sondeos y tomas de muestras se encontró que aunque los bordes del canal fuesen escarpados, de pendientes fuertes y rocosas, el perfil del centro del canal era aceptable (Fig. 5).

d) Depresión del Romanche

Anteriormente al replanteo se disponía de alguna información que indicaba que esta depresión, la segunda en profundidad en el Océano Atlántico pasaba en algu-

nos sitios de 4.200 brazas, y al norte de la depresión había unas elevaciones o montañas submarinas con profundidades de 483 brazas. Los oceanógrafos habían indicado que esta depresión era probablemente una de una serie de fallos en las cordilleras del Atlántico Medio. Durante los nueve días que se invirtieron en este área y en las zonas al norte y al sur de esta depresión, se hicieron hasta un total de diez pasadas para determinar las mejores líneas de cruce. Se tuvo en cuenta que dos cables telegráficos habían cruzado la parte más profunda de la depresión desde hacia 66 años sin tener faltas en esta posición. La depresión alcanzaba la mayor profundidad que se encontró a 4.225 brazas en una posición a los $0^{\circ}11'$ de latitud sur y $18^{\circ}16'$ de longitud oeste. La profundidad disminuía tanto al este como al oeste y en muchos lugares el gradiente de las pendientes era 1 en 2 y en general la altura de las pendientes era mayor hacia el oeste. Hacia el este la depresión era más quebrada y eventualmente sobresalía con las montañas del

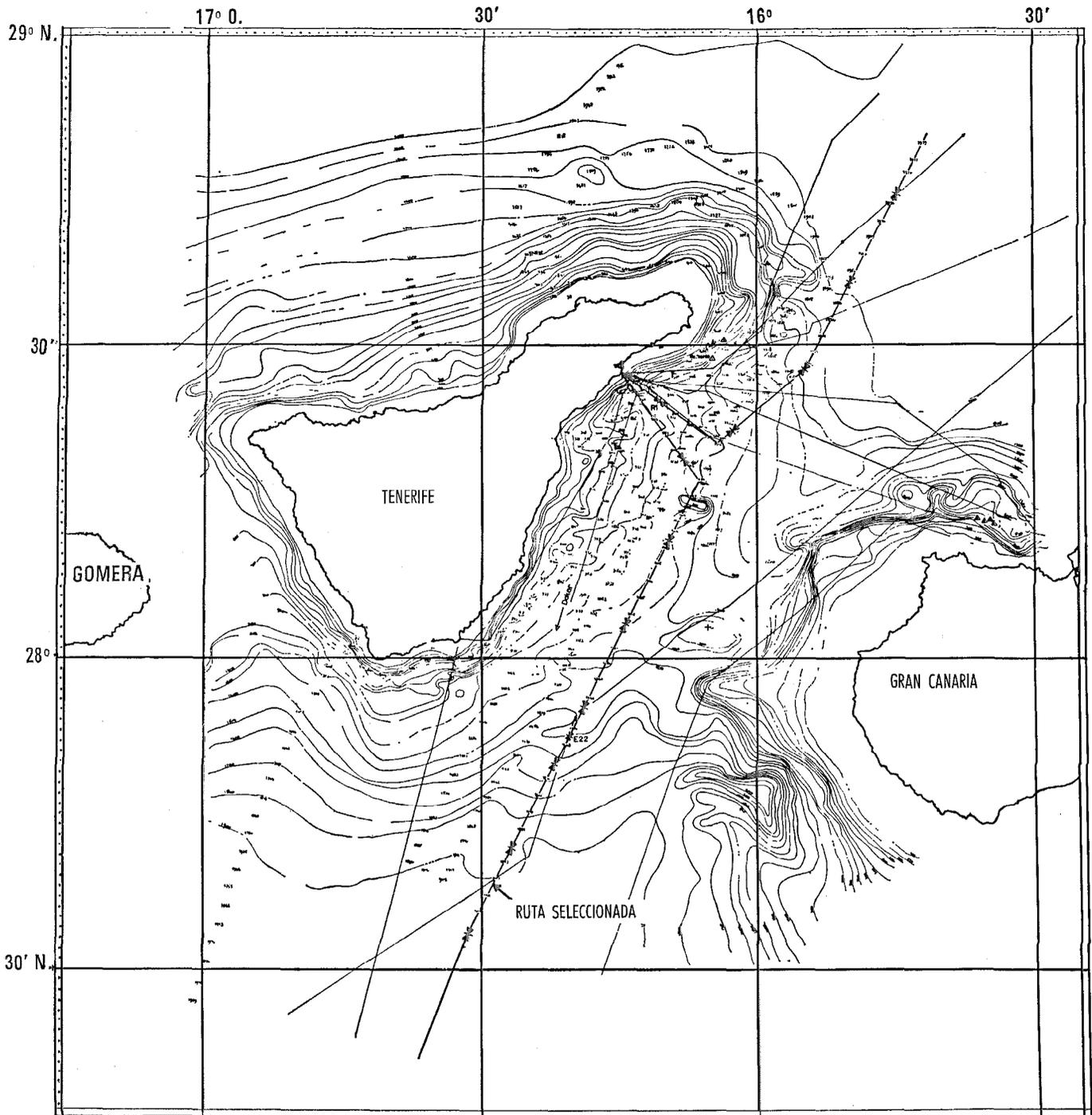


Fig. 4 Detalles de cables, faltas de cable y fondo del mar — Cercanías de Tenerife.

Atlántico Medio. Otra característica geológica consistente era el aparentemente suave lado muy escarpado al norte de la depresión, donde se encontró la menor profundidad de 483 brazas.

Se tomaron muestras de los bordes de la depresión, que al oeste indicaban la presencia de arcilla blanca, mientras al este se encontraron muestras de rocas de tipo volcánico.

Se seleccionó finalmente una ruta de compromiso que combinaba las ventajas de una profundidad no conveniente (máximo de 3.067 brazas) y unas pendientes no demasiado grandes (promedio de 1 en 3 á 1 en 4) para

una altura de 2.000 brazas en la parte norte. El acercamiento desde el sur también evitaba la parte peor de la cordillera del Atlántico Medio.

e) *Cordillera en el Atlántico Medio cerca de la isla de Ascensión*

Los sondeos originales que conducen directamente al SE desde la isla de Ascensión han revelado un cruce muy escarpado de la cordillera del Atlántico Medio. Para el área se disponía de poca información, pero alguno de los mapas a escala pequeña indicaba que era posible que hubiese un cruce más suave al NE de Ascensión. El

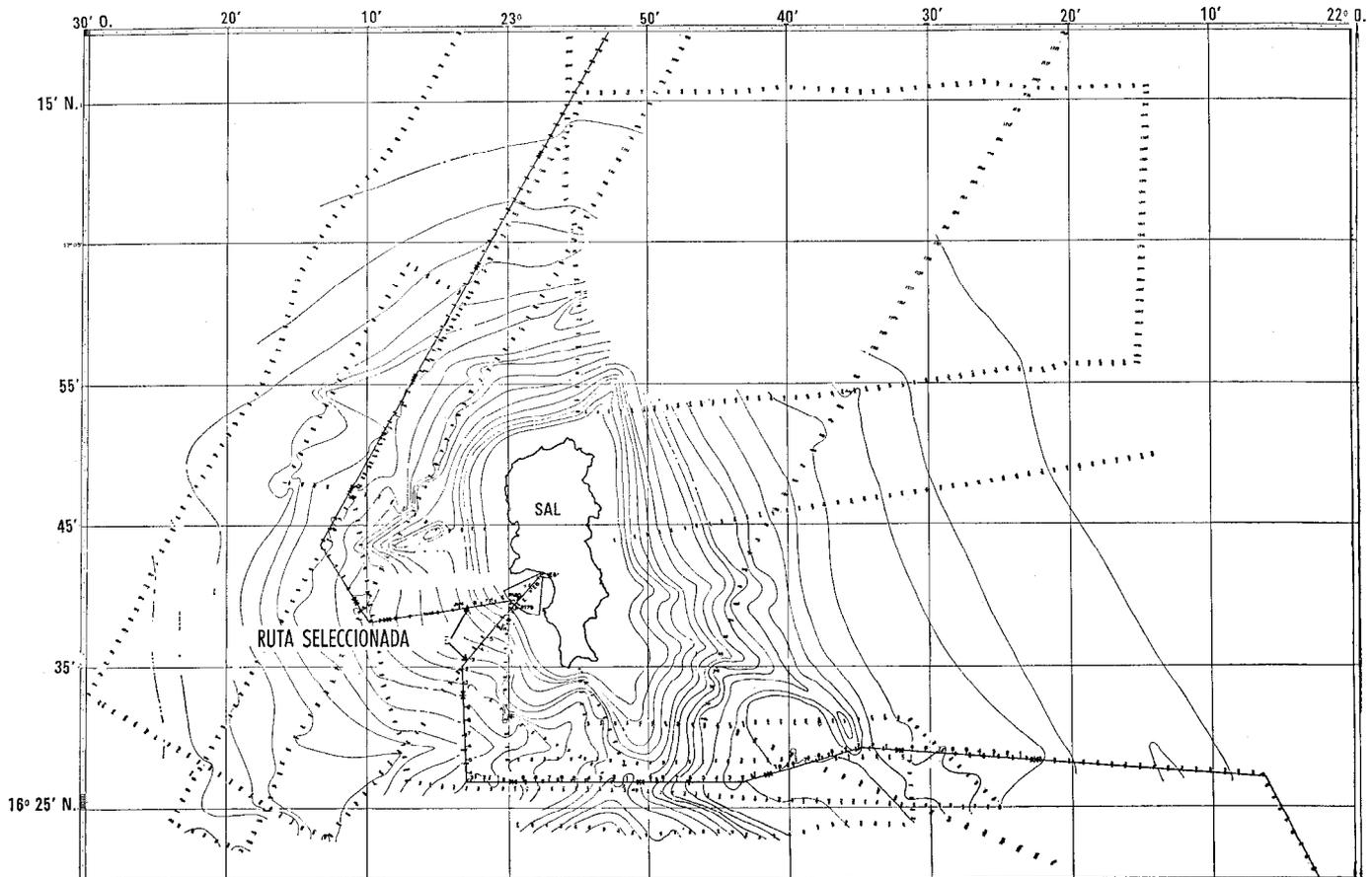


Fig. 5 Detalles de cables, faltas de cable y fondo del mar — Cercanías de Sal.

primer trabajo de replanteo se hizo de acuerdo con esto en este área, pero aunque la ruta era en general relativamente suave estaba bloqueada por dos profundas hondonadas con bordes muy escarpados.

Eventualmente después de varios recorridos de sondeos al sur de la isla de Ascensión se encontró un cruce de la cordillera que no daba pendientes muy grandes ni precipicios, y que tenía la ventaja de no aumentar indebidamente la longitud del cable de la necesaria en una ruta directa.

f) Cordillera Walvis

Los cables telegráficos que originalmente cruzaban esta cordillera habían tenido 14 averías en 40 años y la Compañía Cable and Wireless había hecho una variación en la ruta del cable, más larga pero de mayor seguridad. La ruta de sondeos directa original para el nuevo cable cruzaba la cordillera 92 millas náuticas al este del cable telegráfico, y aunque no contenía pendientes muy largas tenía 3 pendientes muy fuertes, cada una de 500 brazas de altura.

De los datos existentes hubiera parecido poco constructivo llevar la ruta del cable cerca del antiguo cable telegráfico en vista de la muy aguda y larga pendiente hacia el sur y la creciente aspereza de la cresta de la cordillera. De acuerdo con esto la atención del replanteo se dirigió hacia dos posibles cruces de la cordillera al NE de los sondeos originales. Se hizo una serie de cruces de la cordillera con varias pasadas al sur para com-

probar la presencia y extensión de alguna de las montañas marinas mostradas cerca de las rutas posibles. Se encontró que los dos cruces de la cordillera tenían perfiles satisfactorios y se escogió el que estaba a 25 millas náuticas al este de la ruta directa.

g) Entrada a la bahía Table

En la parte superior de la pendiente continental y aproximadamente 60 millas náuticas desde la posición del terminal de Melkbosstrand, se encontró un cañón que cruzaba diagonalmente a la ruta propuesta del cable. Donde los cables telegráficos originales lo habían cruzado, tenía bordes muy pendientes, cercanos a la vertical en un caso, con una altura de 65 brazas aproximadamente. Considerando la concentración de faltas en el cable producidos por los barcos de rastreo en este área, parecía muy probable que los cables habían estado formando puente. De acuerdo con esto se hizo una serie de sondeos cruzando el cañón para ver si podía encontrarse un cruce más suave. A medida que se iba más hacia el sur, el cañón se hacía más abierto y con pendientes más suaves. Se decidió sacar el cable fuera de la ruta más directa, y por consiguiente de la más corta que iba a través del área con rastreos muy fuertes, a la parte donde era posible cruzar el cañón sin hacer que el cable formara un puente.

La única eventualidad que subsistía para el cable en la bahía Table aparecía en las cordilleras con rocas graníticas cruzadas por el cable cerca de la isla Robben. Estas

Replanteo de la ruta

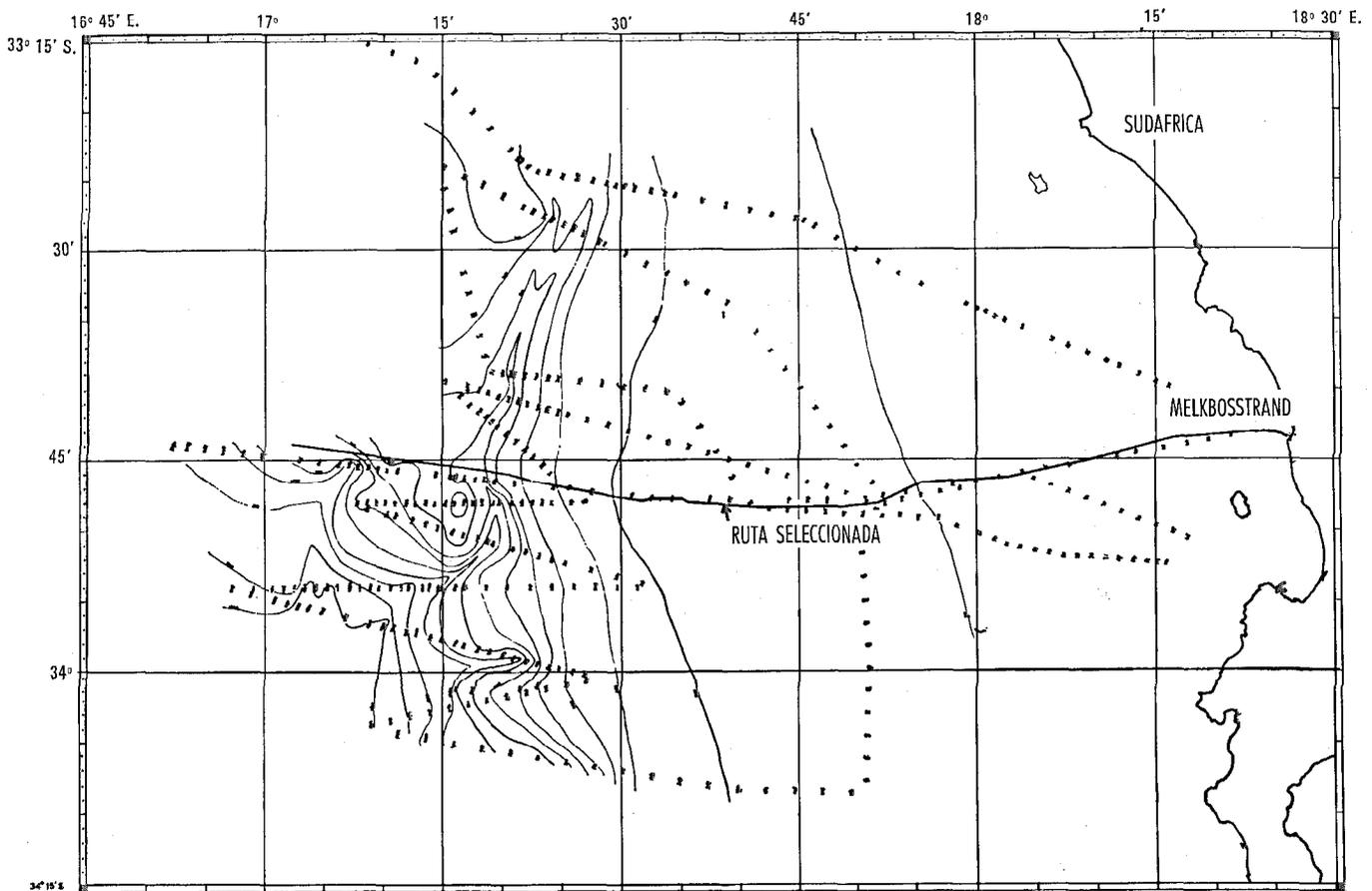


Fig. 6 Cercanías de Ciudad del Cabo.

habían producido en el pasado gran número de rozaduras y faltas por corrosión en los cables telegráficos que lo habían cruzado. Resultaba evidente, sin embargo, que la armadura de los cables originales no había sido muy fuerte, y se decidió que si los cables coaxiales se dejaran con una armadura doble y más fuerte, habría una mayor probabilidad de supervivencia del cable (Fig. 6).

3.3.2 Elección del tipo de cable

La elección del tipo y armadura del cable se basó en el uso de un cable ligero para todas las aguas profundas donde el cable podía permanecer sin perturbación durante su vida. En la parte superior de las pendientes continental y de las islas, a 400 brazas aproximadamente, se introdujo cable armado tipo B para proteger el cable de posibles rocas, corrientes y rastreos. A 100 brazas aproximadamente, se aumentó la armadura del cable a la más fuerte, tipo E y finalmente a 10 brazas aproximadamente se empleó cable de doble armadura tipo EB hasta la costa para proteger el cable de las rocas, la acción de las olas y las corrientes costeras. Cable con doble armadura se introdujo también al cruzar el área rocosa de la isla de Robben.

4. Planificación del sistema

Al terminar el replanteo de las entradas de tierra, extremos de costa, y de alta mar, se analizaron todos los

resultados. Se midió la ruta seleccionada y se tomaron decisiones acerca de los tipos de cable necesarios y las cantidades para los vanos. Se preparó un resumen de los tipos de cables, vanos, coordenadas de la ruta, mapas de perfiles, hojas de marcación de la ruta seleccionada y gráficos de temperaturas. También se trazaron tablas de las necesidades de atenuación para el cable a través de la ruta.

Eric Baguley nació en Lancashire, Inglaterra, en 1905. Se graduó en ingeniería eléctrica en la Universidad de Manchester en 1924.

Después de su graduación se unió a la Western Electric Company en Londres y pronto fué asignado a la ingeniería de cables de comunicaciones. Desde entonces ha estado relacionado con todo tipo de cables de comunicaciones.

Desde 1927 á 1932 estuvo en los ITT Laboratories en Hendon y después fué transferido a Standard Telephones and Cables y en 1940 se hizo cargo de los laboratorios de desarrollo de cables telefónicos en North Woolwich. En 1955 fué transferido a la nueva división de cable submarino en Southampton, donde ahora es el ingeniero jefe de cables.

Baguley es un miembro "Fellow" del Institution of Electrical Engineers.

J. J. W. Everett nació en Southampton en 1930 y asistió a la escuela primaria King Edward. Estuvo en la Universidad de Southampton durante los años 1950 á 1953 obteniendo el grado B. Sc. Se unió a Standard Telephones and Cables en 1955 y ahora es ingeniero de proyectos trabajando en el replanteo y tendido de sistemas de cables submarinos.

Diseño y fabricación del cable submarino

A. HYND
C. G. THEODOSSIADES

1. Introducción

De los estudios realizados se estableció que el sistema requería 5895 millas náuticas (10.935 km) de cable submarino de profundidad, 120 millas náuticas (223 km) de cable armado para poca profundidad y 5 millas náuticas (9 km) de cable en tierra. Basado sobre previas experiencias en fabricación e ingeniería de unas 20.000 millas náuticas (37.000 km) de toda clase de tipos de cables telefónicos submarinos, se decidió usar el cable ligero de Standard Telephones and Cables de una pulgada (25,4 mm) para partes profundas del trazado. Para su tamaño, este cable tiene pérdidas más bajas por unidad de longitud que otros cables submarinos de profundidad. El cable de 0,620 pulgadas (15,7 mm) fué considerado, como técnicamente muy apropiado, y desde el punto de vista económico bastante adecuado, para todos los finales de cable submarino y también fué escogido para cables en tierra, sin armado para instalaciones canalizadas y con un ligero armado, cuando se trata de instalaciones en zanjas.

La elección de materias primas que han de usarse se hizo solo después de una completa evaluación de muestras en los laboratorios, habiendo sido éstas remitidas por proveedores de reconocida reputación para cumplir las exigentes normas requeridas, con respecto a la calidad y cantidad. Se hace una exposición de la eficacia de los componentes, de los conductores, aislamientos, pantallas, protección sobre la cubierta y materiales de blindaje. Los procedimientos de inspección y control de calidad se planearon para asegurar el cumplimiento de las especificaciones del cable comprendido en el contrato, y se describen brevemente.

El control de ingeniería estuvo primeramente preocupado de puntos tales como de la determinación de longitudes de corte en fábrica, las cuales habrían de dar la pérdida de inserción requerida por sección repetidora después de haber sido tendidos en profundidades y temperaturas conocidas; también con la preparación de los planes para carga del cable en varios barcos fletados para realizar el tendido del sistema.

2. Diseño del cable

2.1 Cable principal (Fig. 1)

El cable ligero para grandes profundidades comprende principalmente cinco partes:

- a) elemento de solidez,
- b) conductor interior,
- c) dieléctrico,
- d) conductor exterior,
- e) cubierta.

a) Elemento de solidez del cable submarino

La parte de solidez está compuesta de 41 hilos de acero de una alta resistencia a la tensión, de cinco diferentes diámetros. Estos se cablean todos juntos con un paso unidireccional de 152 mm a un diámetro total de 7,3 mm. El cable de acero completo tiene una carga a la rotura de más de 7,5 toneladas.

b) Conductor interior

El conductor interior consiste en una cinta de cobre de un espesor de 0,6 mm, la cual se suelda longitudinalmente y se aplica compactamente sobre el cable de acero hasta un diámetro total de 8,4 mm.

c) Dieléctrico

El dieléctrico está constituido de un material de baja densidad, que será polietileno de baja pérdida el cual se extrusiona sobre el conductor interior para formar el núcleo del cable. Después de la estabilización de temperatura a $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ el núcleo es sometido a una operación de rectificado hasta alcanzar un diámetro de 25,4 mm.

d) Conductor exterior

El conductor exterior consiste en una cinta de cobre de un espesor de 0,25 mm la cual se aplica longitudinalmente y con una juntura solapada paralela al eje del núcleo de polietileno.

e) Cubierta

La cubierta plástica de un compuesto de polietileno

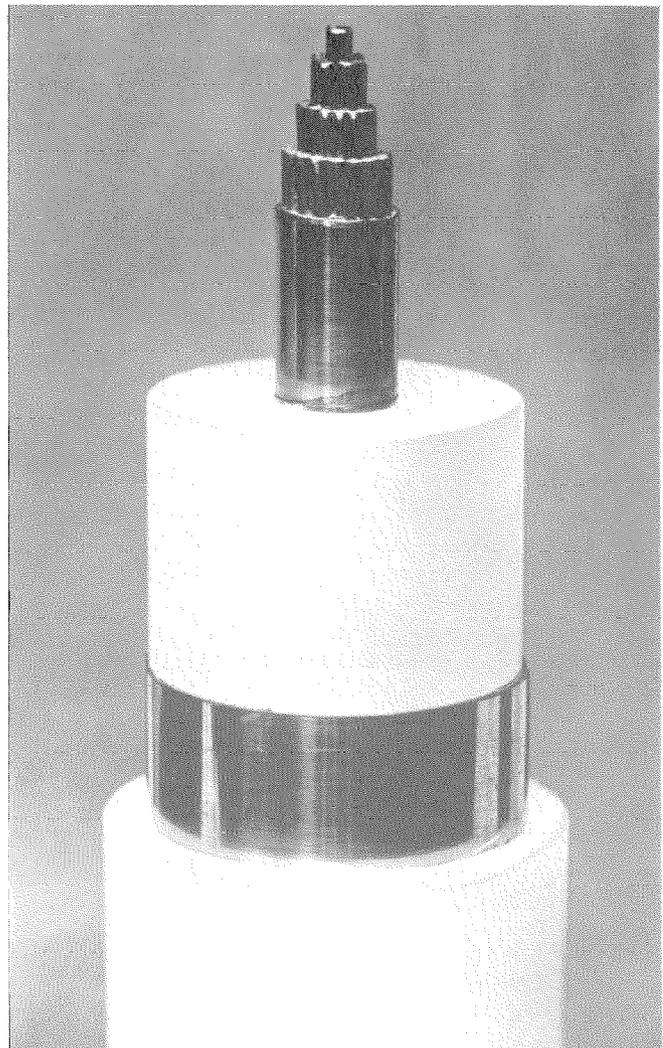


Fig. 1 Cable ligero de STC de 25 mm para aguas profundas.

Fabricación del cable

de una alta densidad se extrusiona sobre el conductor exterior a un diámetro exterior total de 31,8 mm.

2.2 Cable para aguas de poca profundidad (Fig. 2)

Los cables en aguas de poca profundidad realizan el paso de los cables de mucha profundidad a la costa.

Con el fin de dar al cable la necesaria ductibilidad, durante la fabricación, el tendido y la recogida, el conductor interior es normalmente un alambre de cobre.

Estos cables van armados de una o dos capas de alambre de acero galvanizado con objeto de dar una protección mecánica contra anclajes, daños originados por faenas de pesca y movimientos y corrientes de las mareas, y los tamaños de los alambres de acero galvanizado, aumentan a medida que el cable se aproxima a la costa. Para evitar interferencias electromagnéticas externas, se provee de pantallas a los cables cerca de la costa.

Estos cables comprenden:

a) *Conductor central*

Alambre de cobre recocido de 5,1 mm de diámetro.

b) *Aislamiento*

Polietileno de baja densidad y de baja pérdida extrusionado a un diámetro de 15,7 mm.

c) *Conductor exterior*

Seis cintas de cobre recocido de $8,1 \times 0,3$ mm aplicadas helicoidalmente y con un paso a izquierda.

d) *Encintado coaxial*

Ligadura de cobre de $34,9 \times 0,08$ mm aplicado helicoidalmente con una ligera solapa y un paso a izquierda. Cinta de algodón especialmente tratada por ambas caras aplicadas con una ligera solapa y con un paso a derecha y diámetro exterior de 17,5 mm.

e) *Cubierta*

Polietileno de baja densidad extrusionado sobre el apantallado coaxial a un diámetro exterior de 25,7 mm.

f) *Capa de yute*

Una capa de yute especialmente tratada con un paso a derecha se aplica, dependiendo del tipo de armadura que se va a colocar, el recubrimiento es variable y depende del hilado, número de cabos, longitud de paso y diámetro exterior.

g) *Armado*

Los distintos tipos de cables para aguas poco profundas se dividen en tipos *B*, *E*, *EB* y *EB* pantalleado. Cada cable tiene un cierto número de alambres de acero galvanizado sobre la cubierta de yute. El número de hilos y su diámetro varía de acuerdo con el tipo de cable. Los cables más fuertemente armados tienen una segunda capa de alambres de acero sobre una cubierta intermedia de yute. La tabla 1 muestra el armado y utilización.

h) *Capa exterior*

Consiste en dos capas de 3×28 libras de yute especialmente tratado que se aplica con pasos a derecha e izquierda y el yute impregnado completamente con bitumen de alquitrán y yeso.

1.3 Cables terrestres

Estos cables conectan el cable submarino desde la costa hasta los terminales y son instalados en canalizaciones o enterrados en zanjas.

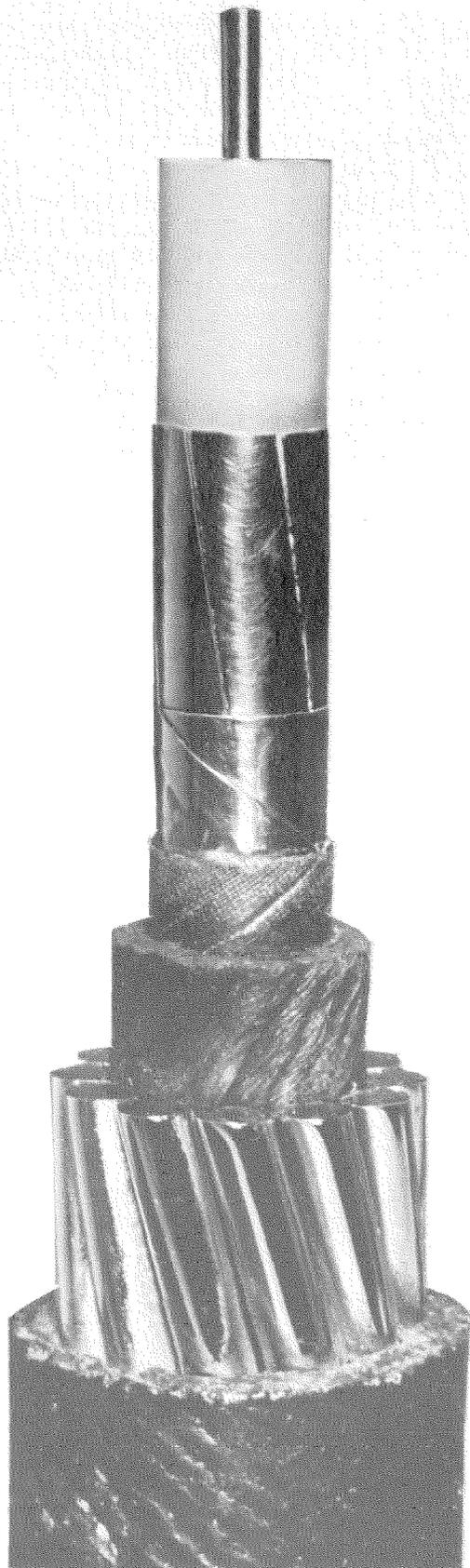


Fig. 2 Armadura única para cables de poca profundidad.

Tabla 1 - Armado de los cables de aguas poco profundas.

Tipo de cable	Número de capas de armado	Número de hilos	Diámetro del alambre en milímetros	Dirección y paso de la capa (milímetros)	Diámetro total en milímetros	Profundidad del mar donde se usa el tipo
<i>B</i>	1	16	4,9	mano izqda. 381	31,5	400 brazas (731 metros)
<i>E</i>	1	12	4,4	mano izqda. 356	36,6	100 brazas (183 metros)
<i>EB</i>	2 1ª capa	16 capa intermedia de yute	4,9	mano izqda. 381 mano izqda. 483	48,8	10 brazas (18,3 metros)
	2ª capa		4,4			
<i>EB pantalleado</i>	2 1ª capa	20 capa intermedia de yute	4,9	mano izquierda. 432 mano izquierda. 508	55,6	10 brazas (18,3 metros) fondos rocosos
	2ª capa		4,4			

Tabla 2 - Características eléctricas de los cables.

Tipo de cable	Resistencia en corriente continua en ohmios por km a 10 °C	Capacidad en microfaradios por km a 10 °C	Atenuación en decibelios por km a 10 °C	Prueba de rigidez dieléctrica	Peso del cable en toneladas por km
Cable de profundidad de 25,4 mm de diámetro (1 pulgada)	conductor interior 0,95 conductor exterior 0,74	0,114	0,4 (100 kHz) 0,9 (500 kHz) 1,25 (1 MHz) 1,82 (2 MHz) 2,22 (2,964 MHz) 2,31 (3,2 MHz)	50 kilovoltios durante 1 minuto (polo positivo al conductor central)	1,28 en aire 0,4 en agua
Cable de poca profundidad 15,7 mm de diámetro (0,62 pulgadas)	conductor interior 0,8 conductor exterior 0,71	0,113	0,65 (100 kHz) 1,48 (500 kHz) 2,09 (1 MHz) 2,97 (2 MHz) 3,63 (2,964 MHz) 3,78 (3,2 MHz)	50 kilovoltios durante 1 minuto (polo positivo al conductor central)	Tipo <i>B</i> 3,5 en aire 2,32 en agua Tipo <i>E</i> 4,9 en aire 3,48 en agua Tipo <i>EB</i> 9,47 en aire 7,02 en agua Tipo <i>EB pantalleado</i> 11,72 en aire 8,62 en agua

El cable canalizado es de idéntico diseño al cable terminal a tierra, incluso la cubierta.

El cable enterrado es parecido al cable canalizado con la añadidura de una capa de una armadura ligera y una capa de yute exterior.

2.4 Características eléctricas de los cables

En la tabla 2 se dan las características eléctricas de los distintos tipos de cable.

3. Materias primas

La característica de ganancia de los repetidores en el tendido se diseñó para compensar las pérdidas del cable y se fija con anterioridad a la fabricación del cable. Esto impone unas normas de transmisión bastantes severas sobre el cable y con el fin de asegurar estos requerimientos es imprescindible ejercer un estricto control sobre las materias primas en cada paso de la fabricación del cable.

El problema principal para obtener suministradores de materias primas de cierto prestigio para la producción del cable submarino en aguas profundas es que una gran cantidad de materiales han de ser adquiridos bajo unas especificaciones muy rigurosas, las cuales son aplicables solo a la fabricación del cable submarino.

Aunque estos materiales son bastante comunes se ha de asegurar que cada suministrador de materias primas tenga la suficiente categoría, equipo, conocimientos técnicos, etc., para asegurar y mantener en gran escala una gran calidad de producción.

Las especificaciones dadas al abastecedor cubren todas las propiedades del material; junto con los requerimientos de muestras y embalaje considerados esenciales para una buena fabricación del cable.

Durante la fabricación del cable, frecuentes visitas de enlace o inspección son intercambiadas entre las fábricas de los abastecedores de materias primas y los laboratorios, para que todo el personal técnico y de producción relacionado en alguna forma con el abastecimiento

Fabricación del cable

de materiales se dé cuenta de los problemas que pueden surgir de vez en cuando y mejorar en todo lo que se pueda la calidad.

Seguidamente dejamos expuestas las normas generales de las materias primas usadas en la fabricación del cable principal.

3.1 Alambre de acero

Los alambres de acero usados para formar los cables soporte empleados para proveer el elemento de solidez mecánica, se suministran en longitudes completas de repetidor a repetidor. Cada uno de los 41 alambres han de tener un diámetro constante y propiedades mecánicas apropiadas en todo lo largo de su longitud y por tanto estos cables solo pueden ser producidos con los mejores aceros al carbono. Durante el envío, los alambres deben ser individualmente protegidos contra la oxidación.

3.2 Cintas de cobre

Las cintas de cobre deben estar libres de inclusiones, laminaciones, agujeros y otros defectos y deben tener el espesor controlado bajo los más estrictos límites de fabricación. Como quiera que la conductividad es de primera importancia, la elección de cobre en bruto para la fabricación de tiras, es también cuidadosamente controlada. Para el caso de cinta de cobre para el conductor interior, que debe ser continuamente soldado, la composición se comprueba también regularmente. Con el fin de aminorar algún deterioro durante el envío cada rollo de cinta, que se devana sobre ejes de acero, se coloca verticalmente en embalajes especiales de acero.

3.3 Polietileno dieléctrico

El polietileno dieléctrico o aislante debe tener unas propiedades de índice de fusión constantes, estar enteramente libre de contaminación de cualquier tipo y además tener una alta resistencia al resquebrajamiento por tensión (Fig. 3).

El factor de potencia y permitividad deben estar controlados estrictamente (Fig. 4) y sólo deberán usarse los mejores polietilenos, de baja densidad y bajas pérdidas, comercialmente asequibles para cables submarinos especialmente desarrollados y después de un ensayo com-

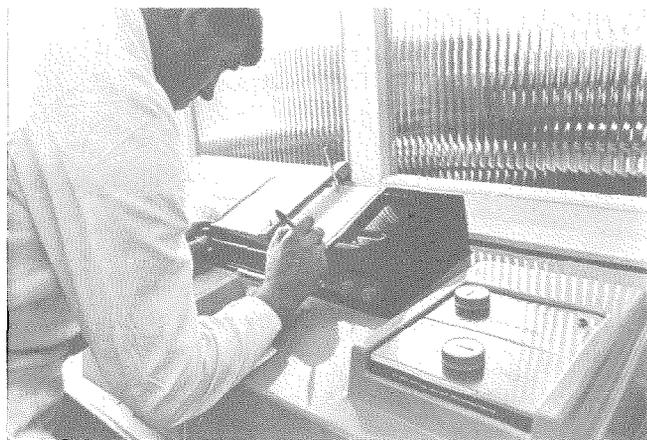


Fig. 3 Evaluación de la estructura de polietileno por medio de análisis de infrarrojo.



Fig. 4 Medida del factor de potencia de polietileno.

pleto de cada partida producida. Para asegurar que el grado de limpieza requerido se mantenga durante el envío, el material es embalado en cajas de polietileno de 907 kg.

3.4 Compuesto de cubiertas

Este material que es un compuesto especial de polietileno de alta densidad tiene propiedades de índice de fusión similares al aislante, pero éste no ha de ser controlado tan estrictamente con respecto a la contaminación. Además no hay requerimientos eléctricos, ya que la función más importante del compuesto es proveer una fuerte y duradera cubierta al cable. Mayor importancia tiene la resistencia al resquebrajamiento por tensión y propiedades mecánicas del compuesto.

3.5 Otros materiales

Para cables de poca profundidad y finales de costa, se requieren otras materias primas adicionales:

- a) cinta de algodón impermeabilizada,
- b) yute,
- c) cinta de hierro dulce,
- d) alambre de acero galvanizado,
- e) alquitrán y sustancias bituminosas.

De cada envío de materia prima se toma muestras según llega y se le somete a ensayos en los laboratorios, mecánicos, metalúrgicos o plásticos. De esta forma cualquier material que no cumple algún requerimiento será rechazado y solo después de la aprobación de los laboratorios el material pasa para producción.

Todos los componentes requeridos para la terminación del cable y para empalmes y todos los materiales auxiliares que son usados en la fabricación del cable, como por ejemplo, tricloretileno y otros disolventes, son cuidadosamente revisados y como en el caso de las materias primas básicas, éstas sólo son aprobadas para la producción cuando los laboratorios lo consideren.

Todos los detalles referentes a la materia prima son archivados para, en caso de que se produjera cualquier ligera variación en calidad, ésta fuera rápidamente deter-

minada y comunicada a los suministradores. Similarmente, el efecto de estas variaciones puede ser seguido a través de cada paso en la fabricación del cable.

4. Fabricación del cable

4.1 Cable ligero

4.1.1 Conductor interior (Fig. 5)

Los hilos individuales salen de bobinas que están montadas sobre balancines flotantes en una cableadora tubular y junto con el hilo central forman el cable, cuerda o cabo de acero en un calibre especial de cierre.

La cinta de cobre primeramente se desengrasa y se limpia, y los bordes de la cinta se cortan con el fin de tener la anchura exacta requerida y bordes limpios para luego soldar. La cinta es entonces arrollada al cable de acero pasando a través del tubo formador con el cable reposando en el fondo del tubo, así de esta forma los alambres de acero quedan fuera del calor de la soldadura de arco.

Los bordes de la cinta se sueldan continuamente por medio de una soldadura de arco en una atmósfera de argón para formar el tubo. El tubo de cobre es entonces reducido en diámetro por medio de rodillos y finalmente estampado en el cable por medio de un calibre resultante de una estructura compacta con una penetración de cobre en los intersticios del cable de acero a un diámetro exterior de 8,4 mm.

El conductor entero se lava con tricloretileno para eliminar los lubricantes de trefilado en la operación de reducción y calibre final.

Con objeto de asegurar un éxito completo en las anteriores operaciones, se requiere un preciso control de las tensiones de los conductores en las bobinas, centrado del tubo, condiciones en la operación de soldadura, relación de la velocidad del núcleo de acero al cobre y también un preciso control del sistema de arrastre.

Como en todos los procesos de fabricación la maquinaria y operarios han de ser controlados y comprobaciones del proceso de soldadura del tubo se realizan al principio y final de cada longitud.

Diarios con sus respectivas notas archivadas por los operarios de las máquinas e inspectores de proceso indican a intervalos de tiempo la calidad del producto, ren-

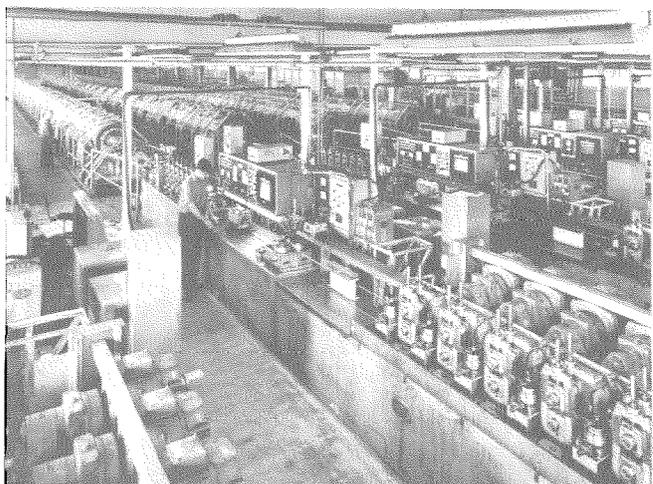


Fig. 5 Línea de conductor interno.

dimiento de la máquina, defectos si es que hay alguno y la necesaria acción de corrección. Continuos registros del diámetro del conductor central se archivan junto con los diarios e informes los cuales son analizados al final de cada longitud antes que el producto pase a la siguiente operación.

Con el fin de revisar continuamente la calidad de soldadura, se emplean dos comprobadores capaces de detectar los defectos más pequeños, uno sobre el tubo sin reducir y el otro sobre el conductor central completo. Todas las faltas detectadas son revisadas.

4.1.2 Extrusión (Fig. 6)

El conductor central completo se lava otra vez en tricloretileno antes de que pase a la máquina de extrusión. Después de salir de ésta, el núcleo recorre una canalización de refrigeración con temperaturas graduadas, a través de la cual el núcleo va perdiendo temperatura hasta que la masa de material de polietileno es cristalina. Desde este punto en adelante el material se vuelve sólido y se pasa a través de canalizaciones de agua fría y alrededor de poleas sin que se produzca ningún daño o deformación.

Como quiera que el primer requerimiento del cable es que exista continuidad en la transmisión, no deben de existir variaciones eléctricas a lo largo de toda la longitud. Es por eso necesario que los cambios en las condiciones de extrusión sean reducidos al mínimo y es generalmente logrado por medio de controles automáticos en las máquinas de extrusión y en el canal de refrigeración.

Diarios del control de calidad e informes de registros continuos de tales parámetros como temperaturas de la máquina y del canal de refrigeración, la velocidad de la línea, el diámetro en caliente y en frío, excentricidad del núcleo se mantienen y llegan a ser historia del cable.

Los sitios de dudosa calidad se marcan automáticamente sobre la extrusión para subsiguiente identificación y examen.

4.1.3 Operación de rectificado

Cuando el núcleo se extrusiona se almacena en jaulas en adecuado lugar con aire acondicionado; entonces es

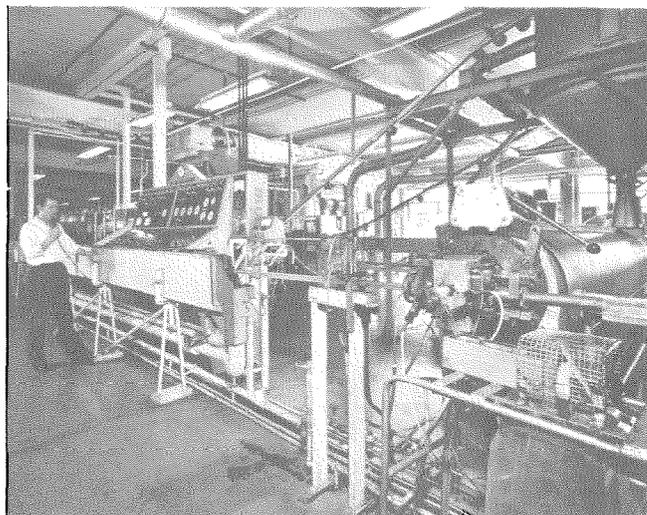


Fig. 6 Extrusión de polietileno de baja pérdida sobre el conductor central.

Fabricación del cable

cuando se realiza la operación de rectificado por medio de la cual el núcleo se reduce al diámetro requerido de $25,4 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ y con un máximo de excentricidad de $0,13 \text{ mm}$ (Fig. 7).

Se archivan informes de la calidad del núcleo y continuos registros del diámetro y excentricidad del núcleo.

4.1.4 Conductor exterior y cubierta (Fig. 8)

La aplicación del conductor exterior y la extrusión de la cubierta son realizados en tandem, ya que el conductor exterior no podría por sí solo soportar ningún manejo, debido a que se presentarían fácilmente deformaciones y pliegues.

La cinta de cobre se suministra desde un carrete, desengrasada en tricloretileno y entonces se coloca alrededor del núcleo rectificado con los bordes solapados y paralelos al eje del núcleo antes de realizarse la extrusión del mismo.

El cable ya cubierto pasa a través de las canalizaciones de refrigeración, y un probador de rigidez y entonces se bobina en pequeños tanques de almacenamiento portátiles.

Un estrecho control del calibre formador es necesario ya que el alargamiento de la cinta de cobre debe ser controlado con una fuerte aplicación sobre el núcleo con objeto de eliminar espacios de aire en la estructura. Pero en particular, los espacios de aire entre el conductor exterior y el núcleo deben de ser reducidos al mínimo y controlados.

Se mantienen diarios e informes de la calidad del cable y diferentes registros de temperatura de la máquina de extrusión, excentricidad del diámetro en frío y caliente. Muestras de cada extremo de cada sección se examinan para comprobar la contracción de la cubierta, falta de contacto entre conductor exterior y dieléctrico y rendimiento elástico.

Se aplicarán marcas cada milla y marcas señaladoras de los repetidores sobre la cubierta, y longitudes correspondientes de secciones se acoplan durante la operación de recubrimiento para lograr la requerida pérdida de inserción por sección repetidora en el lecho del mar.

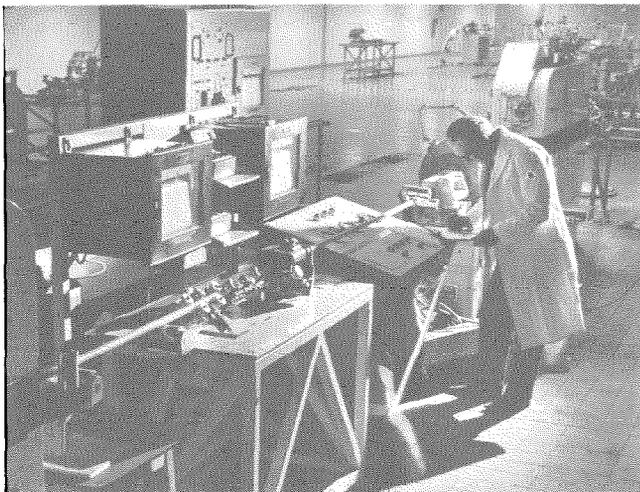


Fig. 7 Rectificación del núcleo.

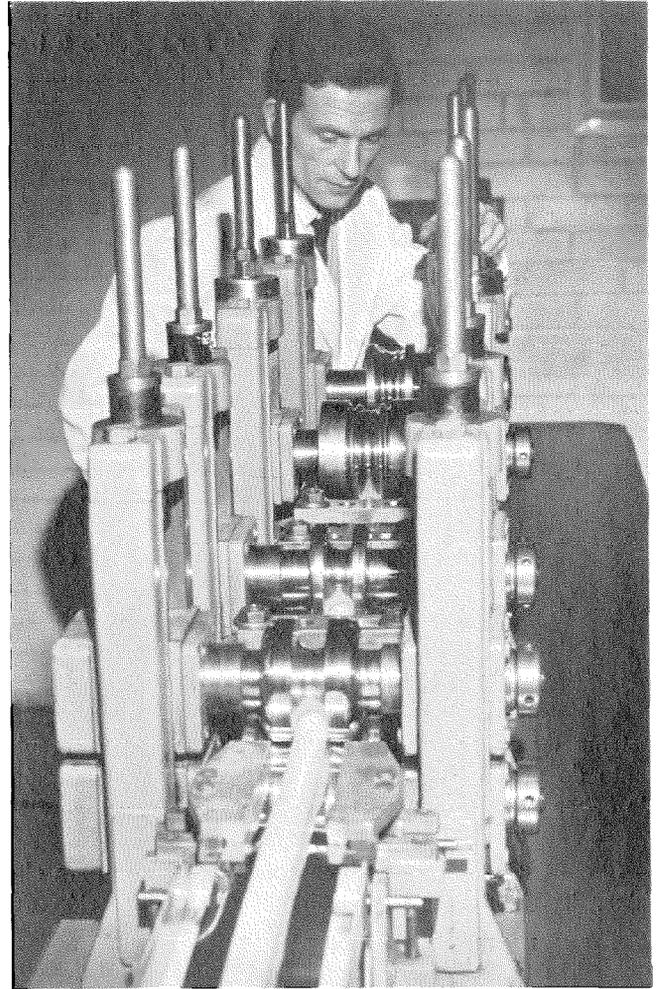


Fig. 8 Conductor exterior.

4.1.5 Ensayos eléctricos

Cuando una sección se completa, el tanque que contiene el cable, se coloca preliminarmente en un tanque con agua fría que circula a 10°C , y después de 24 horas dentro del agua se transporta a un tanque de ensayo final con agua circulante a unos $10^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$. Después que la temperatura se ha estabilizado, se realizan medidas eléctricas, incluyendo resistencia del conductor interior, exterior, capacidad dieléctrica, resistencia de aislamiento del núcleo y cubierta, retardo, eco de impulsos, atenuación y finalmente ensayo de rigidez de alta tensión.

4.2 Cables armados

4.2.1 Conductor central

El hilo de cobre duro se devana desde los tambores de suministro sobre un tambor de recocido y se toman medidas del diámetro y elipticidad del cable.

Después de ser recocido en una atmósfera de gas inerte, el cable de cobre se rebobina en los tambores que luego irán a la máquina de extrusión y durante esta operación de rebobinado se inspecciona el diámetro, acabado de la superficie y elipticidad.

4.2.2 Extrusión

La extrusión en este caso es similar a la del cable en aguas profundas con la diferencia que como el núcleo no se rectifica, se requiere un control más estricto de la extrusión en lo relativo a la excentricidad del diámetro y ovalado.

El núcleo después de extrusionado se examina visualmente a través de una caja de luz en toda su longitud para descubrir imperfecciones e inclusiones de materiales extraños. Las dimensiones del núcleo se revisan cuidadosamente y continuamente con un calibre circular y con un micrómetro a intervalos regulares.

4.2.3 Cinta coaxial

Después que las longitudes individuales se montan en sus secciones repetidoras, el núcleo entonces se hace pasar a través de la máquina de coaxial y se aplican las cintas de cobre, ligaduras de cinta de cobre, cintas de algodón y capas de yute. Las cintas se aplican desde las cabezas encintadoras y las capas de yute desde los carros de este servicio en una operación tandem.

4.2.4 Coaxial apantallado

Cintas de hierro dulce se aplican sobre el coaxial, la primera cinta se aplica longitudinalmente y las otras helicoidalmente y entonces una segunda cinta de algodón impermeabilizada se aplica antes que la cubierta sea extrusionada sobre el coaxial apantallado.

Una capa de yute se aplica sobre la cubierta de polietileno bien por separado o en tandem con el armado.

El núcleo coaxial se arma con un número apropiado de alambres de armado impregnados (tabla 1) y después una capa exterior de yute tratado para estos menesteres; un compuesto de alquitrán en caliente se vierte sobre los alambres y cada capa del servicio de yute; finalmente el cable se recubre con baño de cal con objeto de prevenir que el cable no se pegue en las vueltas adyacentes de la bobina en los depósitos de almacenamiento.

Cuando se completa cada longitud se rocía con agua el cable en los tanques y después de 24 horas de circulación para estabilización de la temperatura, se llevarán a cabo ensayos eléctricos como para el cable en aguas profundas, ver tabla 2.

4.3 Empalmes

Una de las más importantes facetas en la producción de cable submarino es la operación de empalmar las secciones individuales, bien para formar elementos primarios o como reparaciones.

La calidad del resultado final depende primordialmente de la fiabilidad de las técnicas empleadas en el empalme, así como de la maquinaria y de la habilidad del operario.

La habilidad del operario para realizar el trabajo requerido correctamente, después de un entrenamiento, es inicialmente y periódicamente examinado por diferentes pruebas de calificación.

Los procedimientos de calificación fijados para operarios y maquinaria son rigurosos y extensos y tienen por objeto asegurar la calidad en el producto acabado valorando y manteniendo el rendimiento de ambos.

4.4 Ensamble de terminales

La última operación a realizar en la fabricación del cable es el ensamble de los terminales en cada final que va a empalmarse a un repetidor.

También se proveen acoplamientos especiales en todas las terminaciones del cable que se está tendiendo para facilitar el paso del cable por el mecanismo de tendido de 5 poleas poniendo una cuerda en paralelo con el repetidor.

A. Hynd nació en Hamilton, condado de Lanarkshire, Escocia, en 1933. Fué educado en Epsom County Grammar School y en la University College Exeter. Obtuvo en la Universidad de Londres el grado B. Sc. en químicas y desde 1957 a 1967 estuvo ocupado en ingeniería con el grupo de compañías Mullard-Philips. En 1961 Hynd empezó a trabajar para la Standard Telephones and Cables en la división de cables submarinos en trabajos químicos; en 1968 fué designado Director de control de calidad de la división.

C. G. Theodossides nació en Chipre en 1934. Se graduó en Faraday House College, Londres, en ingeniería eléctrica en 1957. Después se unió a los laboratorios de cables de fuerza de la Standard Telephones and Cables en North Woolwich y en 1958 inicia sus trabajos en el departamento de ingeniería de cables de la división de cables submarinos en Southampton.

Repetidores e igualadores sumergidos

F. L. JARVIS
J. F. TILLY

1. Introducción

El perfeccionamiento de tubos de calidad [1], que hace posible la producción de amplificadores capaces de trabajar con una anchura de banda del orden de 3 MHz, ha permitido el desarrollo y el diseño de un repetidor para un sistema sumergido con capacidad para 360 circuitos bidireccionales de 3 kHz de anchura de banda cada uno. Este artículo describe el repetidor y su igualador sumergido asociado, que fueron desarrollados conjuntamente con el British Post Office.

2. Repetidores

2.1 Condiciones del sistema

2.1.1 Condiciones de transmisión

Las condiciones de transmisión que debe cumplir el repetidor fueron obtenidas para una longitud hipotética del sistema de 4000 millas náuticas (7450 km). Se supuso que de esta longitud un máximo de 100 millas náuticas (185,5 km) a cada extremo estaría en aguas bajas y el resto en aguas profundas. Se consideró que el cable de aguas profundas estaría a una temperatura constante de 2 °C y que las secciones que estuvieran en las aguas poco profundas sufrirían variaciones anuales de ± 3 °C.

Se fijó para el sistema, como objetivo, un ruido medio de 1 picovatio por kilómetro por canal, para todos los canales y en cualquier sentido de transmisión, cuando todos los canales tuvieran una carga de -10 dB con respecto a 1 milivatio referidos a un punto de nivel relativo cero (-10 dBm0). Esta carga está 5 dB por encima de la recomendada por el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico y permite utilizar una gran proporción de la capacidad de circuitos para equipo telegráfico a frecuencia vocal o de interpolación de con-

versación por asignación del tiempo TASI (Time Assignment Speech Interpolation) [2]. Esta carga de los canales, relativamente alta, es particularmente aplicable a sistemas de cables submarinos de gran longitud.

2.1.2 Sistema de supervisión

Los repetidores debían tener un sistema de supervisión que permitiera hacer medidas de la ganancia en bucle hasta cada repetidor y medidas de ruido e intermodulación desde una de las estaciones terminales.

Debían detectarse variaciones de la ganancia en bucle del orden de 0,1 dB y la medida del ruido debía permitir localizar cualquier repetidor cuyo aumento de ruido individual ocasionara un incremento de 1 dB en el ruido del sistema.

Ningún circuito de supervisión incorporado a un repetidor debía degradar la calidad de los circuitos principales de transmisión ni era permisible que una avería de un dispositivo o un componente de supervisión interrumpiera la comunicación por las vías principales de transmisión.

2.1.3 Protección de los repetidores contra sobrecargas

Como pueden presentarse averías en las secciones del cable que están en aguas poco profundas, debido a las actividades de la pesca de rastreo, fué necesario proteger los repetidores para garantizar que las sobrecargas de corriente o tensión provocadas por una avería del cable no perjudicaran a los componentes o los circuitos de los repetidores.

2.2 Espectro de frecuencias

La transmisión en ambos sentidos se consigue empleando bandas de frecuencia independientes para cada

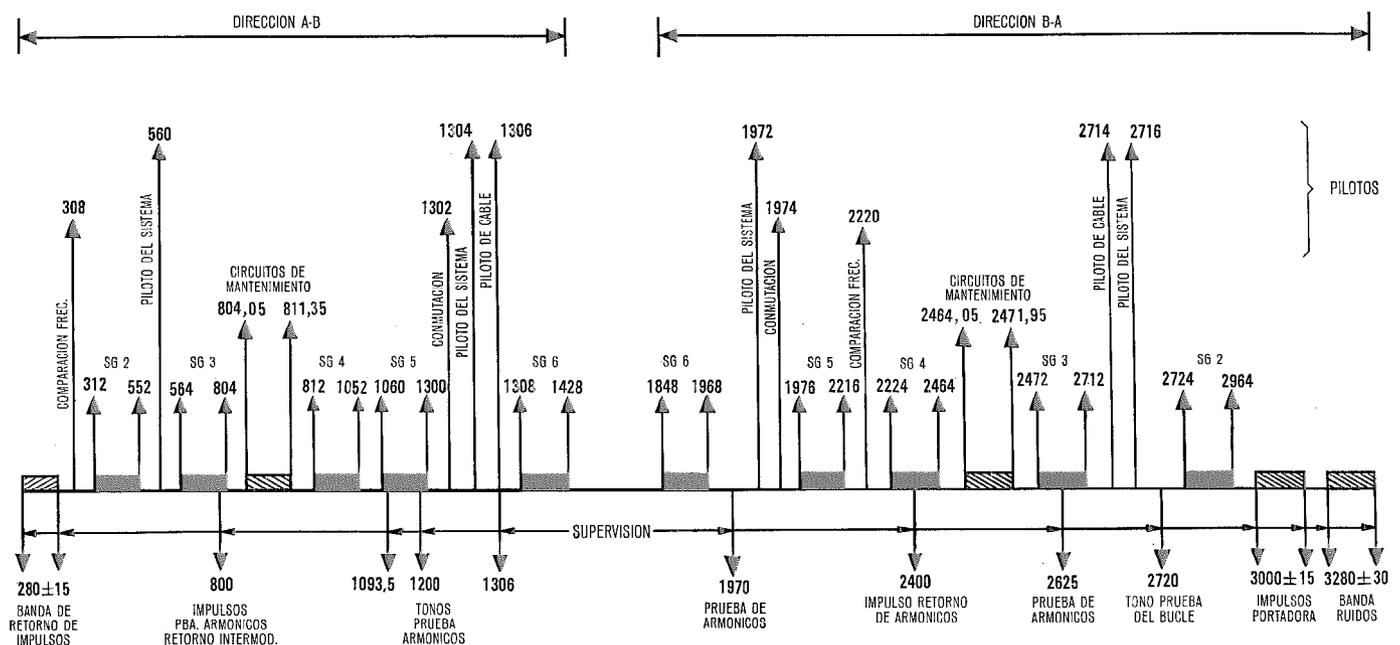


Fig. 1 Espectro de frecuencias de un sistema de 3 MHz. (todas las frecuencias se dan en kHz).

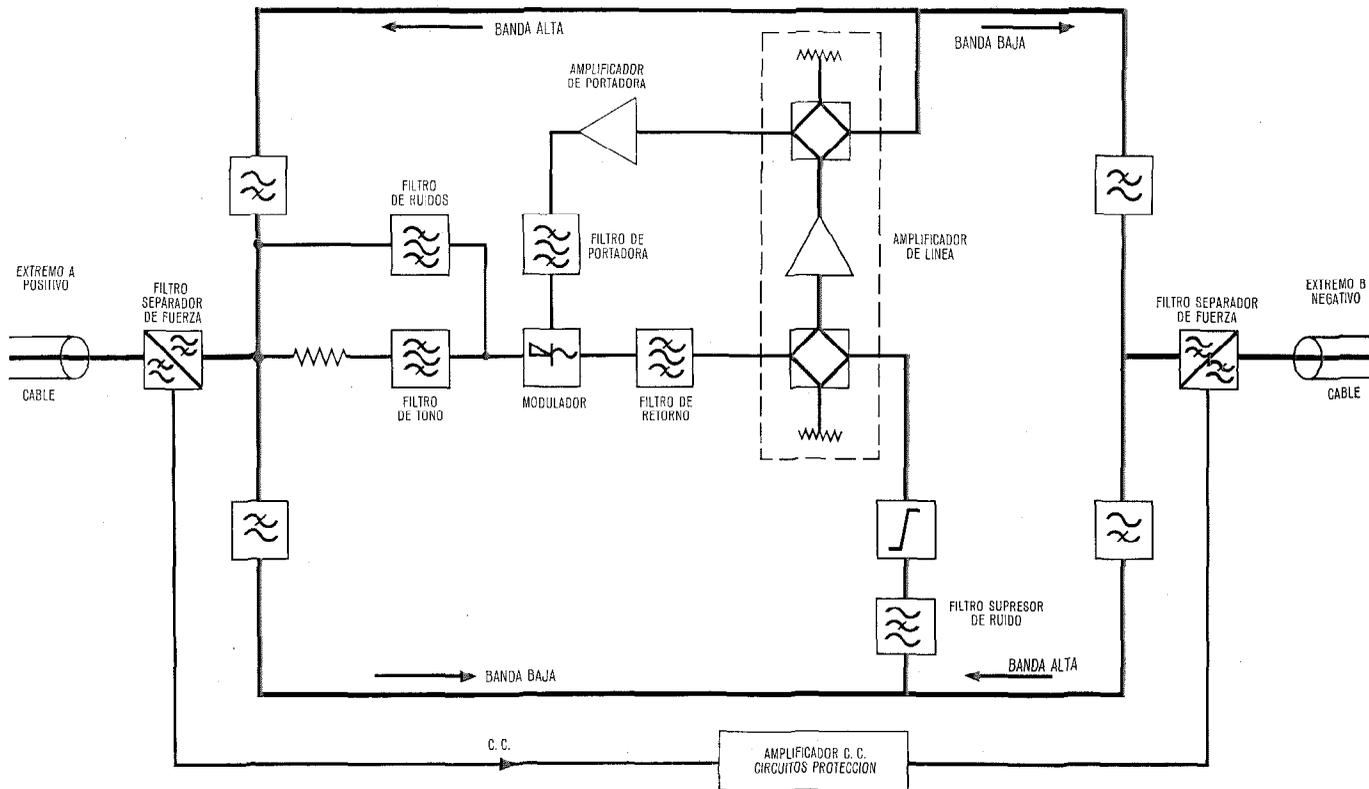


Fig. 2 Esquemático simplificado del repetidor para 3 MHz, (los canales principales de transmisión se representan en trazo grueso).

dirección de transmisión. En la figura 1 se muestra el espectro de frecuencias utilizado. Además de las dos bandas principales de transmisión, se ha representado las frecuencias piloto, los canales de servicio y las bandas de supervisión. Las bandas de transmisión tienen la anchura suficiente para poder utilizar 360 canales de 3 kHz en cada banda.

La anchura de banda del sistema de supervisión viene determinada por las características del método empleado de impulsos de portadora. La transmisión de impulsos de portadora de 100 microsegundos, lo que es preciso para discriminar repetidores sucesivos, requiere una anchura de banda de 30 kHz para transmitir y recibir los impulsos cuadrados sin demasiada distorsión.

2.3 Circuitos del repetidor

2.3.1 Alimentación de potencia y circuitos de transmisión

En la figura 2 puede verse un diagrama de bloques del repetidor. La energía llega a los repetidores aplicando corriente continua al conductor central del cable. La corriente continua se separa de las frecuencias de transmisión mediante el filtro separador de fuerza en el extremo "A" del repetidor, circula por los seis filamentos de los tubos del amplificador de línea y llega luego al cable por el extremo "B" del repetidor, a través del filtro separador de fuerza.

La alta tensión para los tubos del amplificador de línea del repetidor y la tensión de alimentación de los amplificadores de supervisión se obtienen de la caída de la tensión en la cadena de filamentos. La corriente continua que se aplica a los repetidores es de 502 miliampe-

rios y produce una caída de tensión de unos 51 voltios en un repetidor. Con cable ligero de 25 mm de STC se tiene una caída de tensión de unos 60 voltios para un repetidor y una sección de cable, con una separación de 9,8 millas náuticas. Por consiguiente, para un sistema de 4000 millas náuticas la tensión continua entre los extremos debe ser del orden de 25 kilovoltios, lo que, con alimentación por los dos extremos [3] [4] ha significado el empleo en los filtros separadores de fuerza de los repetidores, de condensadores para una tensión continua de trabajo de 15 kilovoltios [5].

Los circuitos de transmisión principales en el repetidor utilizan el principio de un amplificador común para las dos direcciones de transmisión. El amplificador y los filtros direccionales que separan las dos direcciones de transmisión se conectan, en una configuración en ocho, con el amplificador en la rama común de cruce. El igualador, que es preciso para dar con el amplificador una característica de ganancia del repetidor igual a la característica de pérdida de una sección del cable, es también común a ambos sentidos de transmisión.

El amplificador, cuyo esquema simplificado se muestra en la figura 3, consta de dos vías de amplificación de sentido directo, cada una de 3 etapas, y de una vía de realimentación común. Se emplea realimentación en puente a la entrada y a la salida para reducir el ruido del amplificador y elevar el punto de sobrecarga. Naturalmente, el requisito principal que debe cumplir el amplificador es tener estabilidad a lo largo de su vida y por esta razón se utiliza realimentación ortogonal a la frecuencia de tráfico más alta para la que la magnitud de la realimenta-

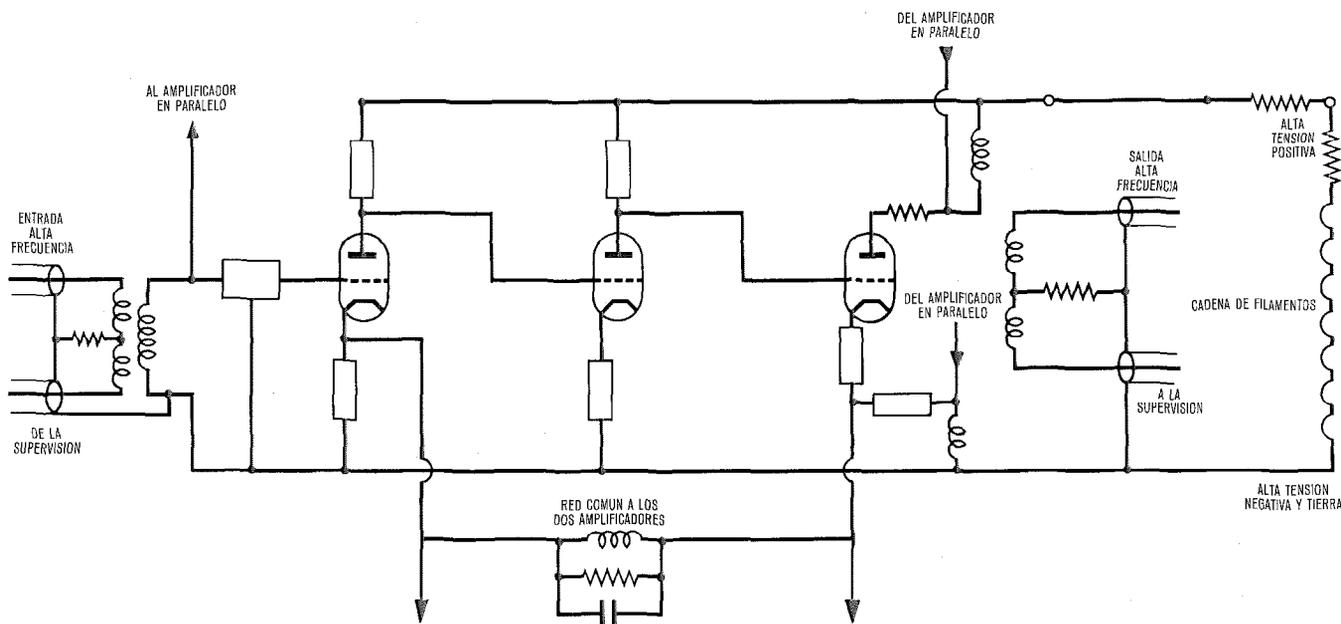


Fig. 3 Esquema simplificado del amplificador de línea para 3 MHz. Los rectángulos representan redes de impedancia. La red β es común a ambos amplificadores.

ción sea mínima. Se utiliza la expresión realimentación ortogonal para designar la situación en que la fase de la realimentación se ajusta a un valor tal que reduce la sensibilidad del amplificador a las variaciones de amplitud de la ganancia en sentido directo. Teóricamente, puede aumentarse hasta el infinito la realimentación eficaz, como se ve en la figura 4, pero con este dispositivo la ganancia del amplificador en sentido directo se sensibiliza mucho a los cambios de fase. Se aplica el término ortogonal porque el ángulo de fase óptimo para la realimentación se acerca a 90° para realimentación en bucle con más de 20 dB de ganancia. En la figura 5 se muestra la característica real de transmisión del bucle de realimentación del amplificador.

La característica ganancia/frecuencia del amplificador

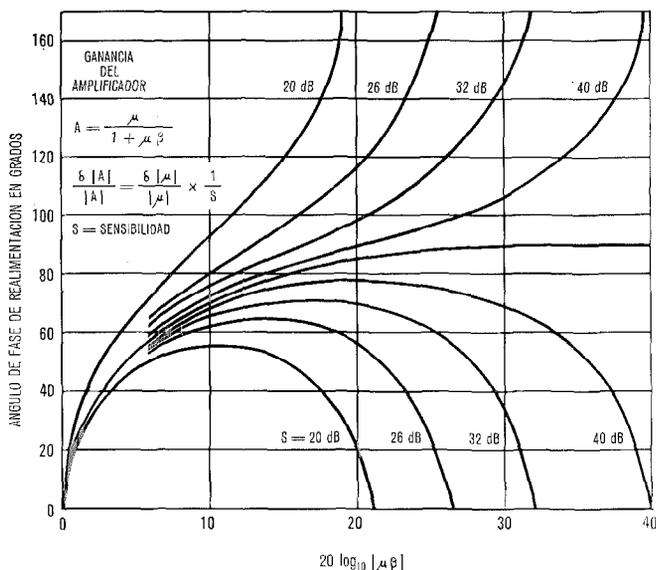


Fig. 4 Sensibilidad con respecto a las variaciones de amplitud de la ganancia en sentido directo.

tiene la forma que se ve en la figura 6 para disminuir el ruido de salida del repetidor a las bajas frecuencias.

2.3.2 Circuitos de supervisión

Para medir la ganancia en bucle hasta un repetidor se transmiten desde el terminal B impulsos de 3000 kHz de 100 microsegundos de duración y con una frecuencia de repetición de 15 impulsos por segundo, junto con un tono continuo de 2720 kHz. En el repetidor los impulsos se recogen a través del devanado diferencial del transformador de salida de los amplificadores de línea y del filtro de portadora, son amplificados por el amplificador de portadora y pasan al anillo de diodos de silicio que constituye el modulador. El tono continuo pasa a través de una resistencia y del filtro de tono, se amplifica en un amplificador sencillo y se aplica también al modulador. Se produce la modulación entre la frecuencia del tono y los impulsos de portadora y la banda lateral resultante, compuesta por impulsos de 280 kHz, vuelve al dispositivo diferencia de entrada del amplificador de línea a través del filtro de retorno. Esta señal se amplifica en el amplificador de línea y se retransmite al terminal B. Los impulsos que vuelven de los repetidores sucesivos del sistema llegan al terminal B en momentos sucesivos y la amplitud de los impulsos da una medida de la ganancia en bucle, separándose la ganancia en bucle hasta cada repetidor de la correspondiente a los otros sobre la base de una discriminación en el tiempo.

Si no se envía tono continuo desde el terminal B, aquel no aparece en el modulador de supervisión del repetidor, pero el ruido del amplificador del repetidor, que se capta a través del filtro de ruido, estará presente en el modulador y, después de la modulación, se transmitirá hacia el terminal B. Esto permite identificar desde el terminal B el ruido de un repetidor cuya contribución al ruido es grande. El filtro supresor de ruido del repeti-

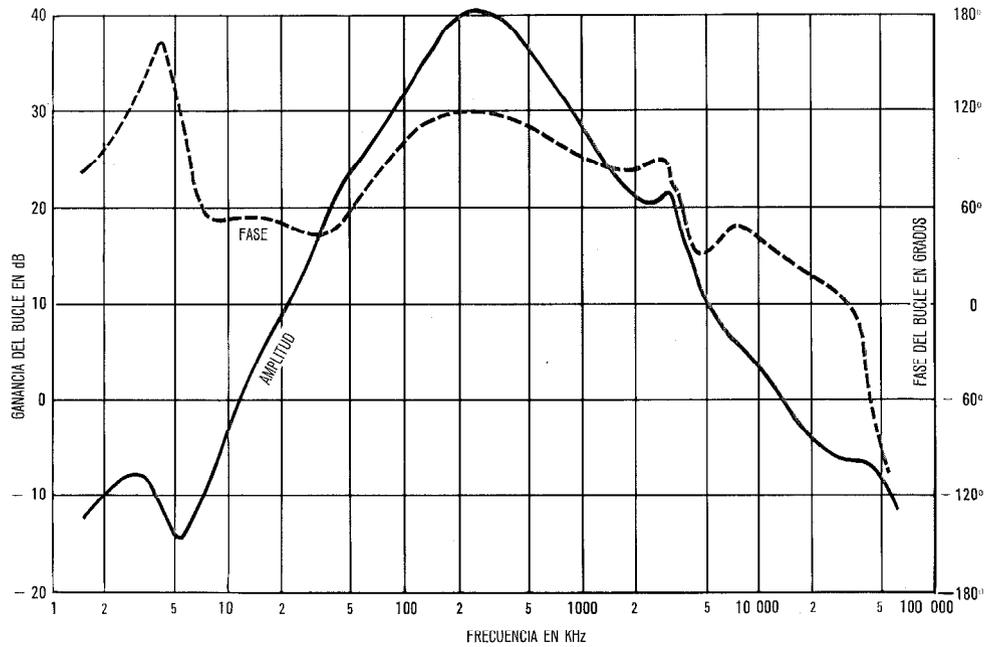


Fig. 5 Característica de transmisión del bucle de realimentación del amplificador de 3 MHz.

El ruido de un repetidor se transmite al siguiente, dentro del margen de frecuencias de paso del filtro de ruido de supervisión.

Puede estimarse el comportamiento de los repetidores desde el punto de vista de armónicos e intermodulación transmitiendo desde los terminales tonos adecuados, junto con los impulsos de portadora. Se eligen los tonos de modo que el producto resultante de armónicos o intermodulación, generado por el repetidor, caiga dentro de la banda de medida del ruido del repetidor. La captación de los productos armónicos o de intermodulación tiene lugar como para la medida del ruido y los impulsos de retorno permitirán en este caso la identificación en el terminal, de los repetidores que contribuyan considerablemente al ruido del sistema con sus productos no lineales.

El filtro supresor de ruido es un filtro en T shuntado de impedancia constante, que está en la rama común del

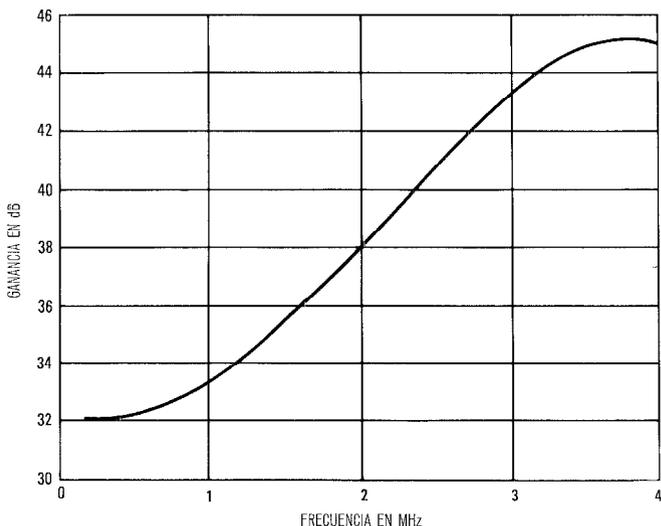


Fig. 6 Característica de ganancia del amplificador.

repetidor. Se utiliza un filtro de cristal para el tono, pero los restantes filtros de supervisión son unidades convencionales de bobina y condensadores. El amplificador de tono es un sencillo amplificador transistorizado de emisor común a una sola etapa, mientras que el amplificador de portadora tiene dos etapas para obtener suficiente amplificación de los impulsos de portadora para que los moduladores funcionen satisfactoriamente. Todos los semiconductores son de silicio.

2.3.3 Circuitos de protección

La protección de los repetidores contra las sobrecargas que aparecen en un sistema, a consecuencia de los fallos del cable, se consigue mediante tubos de descarga de gas. Se utilizan seis tubos, que están situados en los filtros separadores de fuerza y en el circuito de alimentación del amplificador de línea para facilitar un camino de desviación de baja impedancia a través del repetidor cuando se presenta una sobrecarga, como puede verse en la figura 7, que es un esquema simplificado del circuito de alimentación de un repetidor.

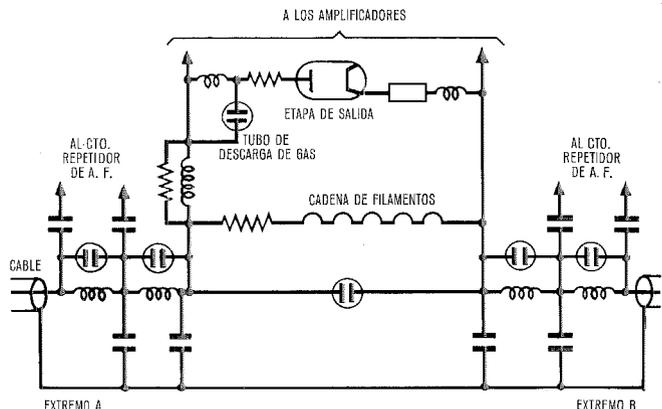


Fig. 7 Circuitos de protección contra sobrecarga.

2.4 Construcción mecánica

2.4.1 Unidades de aparatos y cápsula del repetidor

Los componentes de los repetidores, que se describen detalladamente en otro lugar, se ensamblan en unidades de aparatos. Cada una consta, bien de un armazón de latón en el cual se montan los componentes eléctricos, bien de uno o varios botes cilíndricos que contienen estos componentes, siempre que se precise un apantallamiento eléctrico. En cualquier caso el necesario aislamiento de los componentes del armazón o del bote se consigue con metilmetacrilato mecanizado o dialilftalato moldeado. En la figura 8 se muestra la estructura del amplificador de línea.

Las unidades de aparatos se montan en cuatro barras, obtenidas por mecanizado de una plancha de metilmetacrilato (Perspex), que se apoyan en sus extremos en placas de cierre de latón estampado en caliente, todo el conjunto va encerrado en un tubo de latón herméticamente cerrado sobre estas placas de los extremos que también están provistas de casquillos estancos a la humedad para la entrada de los cables de conexión. Los aparatos eléctricos quedan así encerrados en una envoltura que está a su vez dentro de la cubierta exterior resistente a la presión. La cápsula del repetidor terminada, se llena con nitrógeno seco.

En el extremo A del repetidor la placa de cierre se fija a la cara interna de la tapa y soporta la carga axial de la cápsula del repetidor. La otra placa de cierre se sujeta a las barras de perspex en el extremo B del conjunto, de tal modo, que permite las diferencias de dilatación térmica entre las barras y el tubo de latón envolvente. Esta placa de cierre del extremo B tiene también un ajuste deslizante sobre la cubierta externa para permitir las diferencias de dilatación entre el tubo de latón y la cubierta de acero.

Las diversas unidades de aparatos, por ejemplo, los filtros separadores de fuerza, el amplificador, los filtros direccionales y el circuito de supervisión, se montan dentro del armazón de las barras de perspex con la adecuada separación axial entre las unidades que trabajan a potenciales diferentes unas respecto de otras o con relación a las piezas que están a tierra. En la figura 9 se muestra el repetidor ensamblado en esta etapa. Las

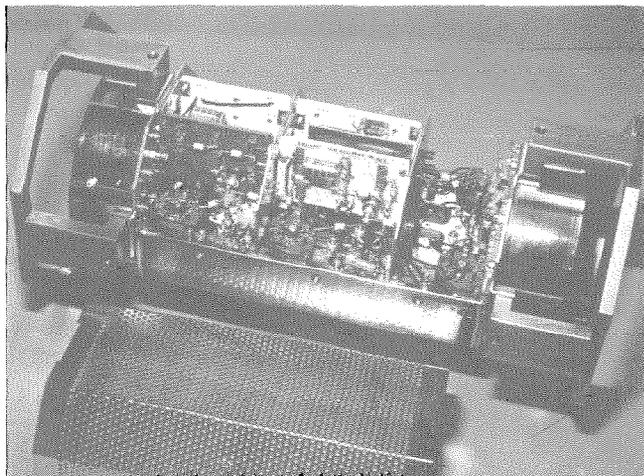


Fig. 8. Vista del amplificador.

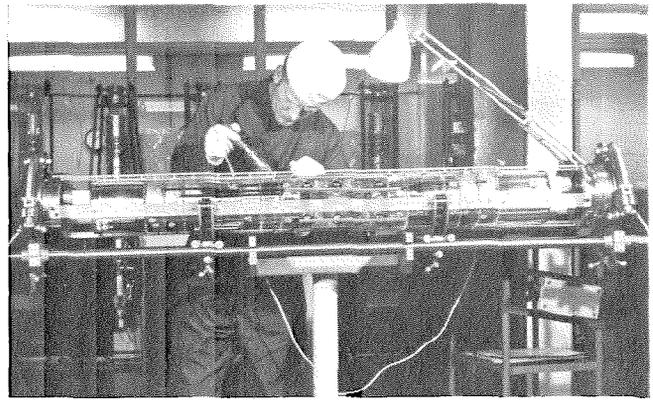


Fig. 9. Vista del ensamble de la cápsula del repetidor.

barras de perspex facilitan así el aislamiento en sentido longitudinal; el aislamiento en sentido radial, apropiado a la elevada diferencia de potencial que puede haber entre las unidades de aparatos y el tubo de latón que las rodea, se obtiene con una funda de polietileno que separa las unidades de aparatos del tubo de latón. Este proporciona la resistencia básica a la flexión de toda la cápsula del repetidor.

El ensamble y el conexionado de todas las unidades de aparatos y de la cápsula del repetidor, así como la inserción de ésta en la cámara de presión, se realizan en condiciones "extrema limpieza" con humedad, temperatura y pulcritud controlada.

2.4.2 La cámara de presión

Se invirtieron algunos años en el desarrollo de la cámara de presión, en cooperación con la casa Vickers Armstrong [6]. Algunos perfeccionamientos se incorporaron como resultado de posteriores trabajos, algunos de ellos en cooperación con el British Post Office. La cámara está indicada para presiones de hasta 630 kg/cm², que equivale a una profundidad máxima del agua de 6218 metros. Las dimensiones de la cámara son: diámetro 27 cm y longitud 280 cm.

En principio, la cámara consiste en un tubo o cubierta de acero de gran resistencia a la tracción con sus extremos terminados por tapas de acero que cierran herméticamente la cubierta mediante juntas toroidales de caucho sintético de alta calidad que están apretadas sobre sus apoyos con vaselina que se mantiene siempre a una presión superior a la del mar.

En la figura 10 se ve un corte en sección de un extremo de la cámara de presión, apreciándose el cierre hermético de la tapa y el dispositivo de anclaje del extremo del cable submarino. El espacio que hay en el interior del extremo de la cámara hasta la cara externa de la tapa está expuesto al agua. La tapa, que se adapta con precisión a la cubierta, tiene dos juntas principales en anillo "0" contenidas en ranuras periféricas. El espacio entre las juntas comunica por pequeños orificios radiales con dos cilindros taladrados en la cara externa de la tapa. Ambos cilindros están herméticamente cerrados a la entrada de agua mediante pistones ajustados provistos de juntas en anillo "0". En la parte superior de los

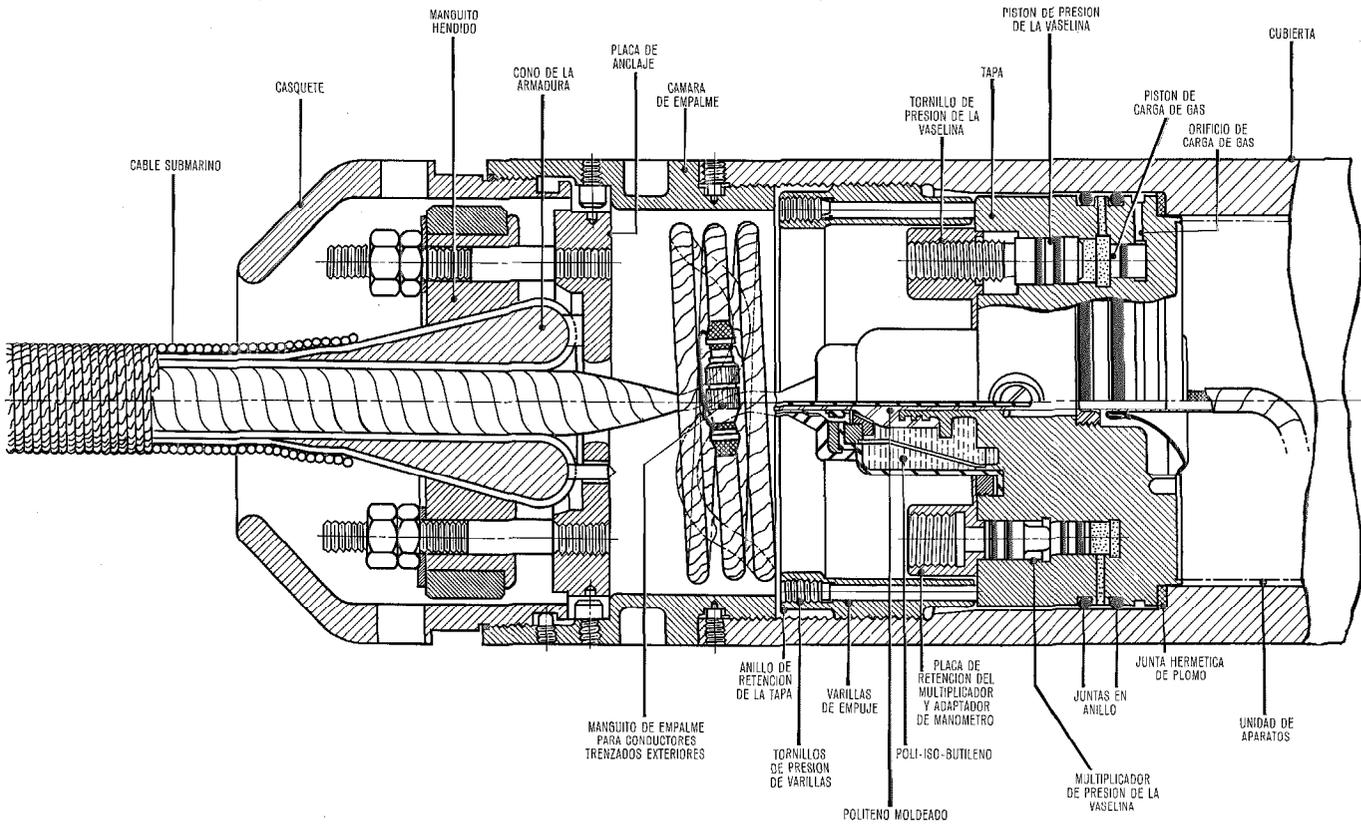


Fig. 10 Corte en sección de la cámara de presión.

cilindros hay otro pequeño agujero radial cerrado herméticamente por un pistón y otra junta. Este orificio sirve para llenar el interior de la caja con nitrógeno seco antes de apretar la tapa contra un asiento en la cubierta [7].

El espacio cerrado formado por las dos juntas principales en anillo "0" y los cilindros sellados, se llena con vaselina comprimida a 630 kg/cm^2 a una temperatura ambiente de $22 \text{ }^\circ\text{C}$ por medio del pistón de presión y su tornillo de presión de la parte superior de cada cilindro, como se ve en la figura 10.

La parte inferior de los cilindros de la tapa se cierra herméticamente con dos pistones, de los que el interno está en contacto con la vaselina y el externo, de mayor diámetro, está expuesto al agua. Este sistema proporciona un dispositivo multiplicador de la presión del depósito de vaselina. La relación de superficie de los pistones es 1,36 á 1, de manera que, aun cuando la presión del sistema pueda haber caído muy por debajo de la inicial de 630 kg/cm^2 , debido al coeficiente presión/temperatura de la vaselina, el dispositivo elevará automáticamente la presión del sistema, cuando el repetidor se introduce en el mar, hasta 1,36 veces la presión externa del agua, por lo menos. El sistema de aumento de presión también proporciona el medio de aplicar un dispositivo de medida de presión a la tapa para determinar la presión de la vaselina durante la operación de compresión. En la figura 11 se ve el dispositivo en funcionamiento. También puede repetirse en cualquier momento esta medida de presión sin pérdida de ésta ni de vaselina.

Entre la tapa y su asiento en la cubierta se adapta una junta obturadora de plomo que actúa como precinto de difusión contra la entrada de vapor de agua que puede haber pasado las juntas en anillo. Con objeto de proporcionar un pretensado inicial del plomo por encima de su punto de "fluidez" y obtener así un cierre eficaz, 18 varillas de presión equidistantes, que entran muy justamente en orificios del anillo de sujeción de la tapa, presionan por su extremo interno sobre la tapa y llevan tornillos de presión en sus extremos externos. Estos tornillos se aprietan con un par de torsión que da a la junta de plomo un empuje total de más de 45 toneladas (45.720 kg), que se ve aumentado, naturalmente, por la presión del agua sobre la tapa cuando se introduce la cámara en el mar. Las varillas de empuje apretadas constituyen muelles

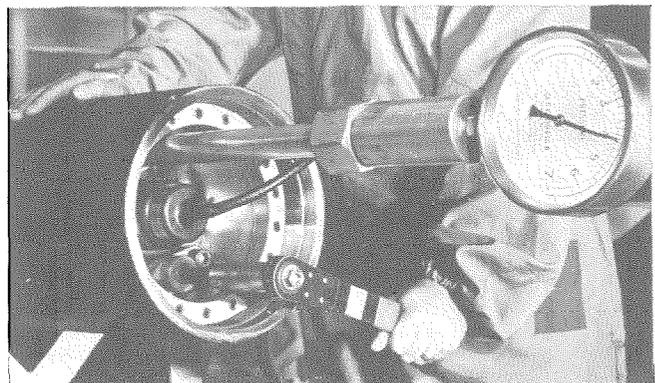


Fig. 11 Presionizado de una tapa.

muy fuertes que permiten un pequeño "juego" sin pérdida excesiva de presión sobre la junta de plomo.

La glándula de entrada del cable a través de la tapa está formada por un vástago almenado mecanizado en una pieza con la tapa, a través del cual pasa un cable de pequeño diámetro aislado por politeno, con prolongaciones cortas a cada lado de la tapa. En el extremo externo del cable se dispone una moldura de politeno, homogéneamente unida al politeno del cable y que se extiende también sobre la parte almenada del vástago. La contracción de la moldura sobre el vástago, intensificada por la presión del agua exterior, proporcionará un precinto contra la entrada de agua, pero como medida adicional de seguridad el vástago se prepara antes del moldeo para garantizar una ligazón eficaz entre el politeno y el metal del vástago. El taladro de éste se terraja para formar estrias circulares en las que se introduce a presión el politeno reblandecido del cable durante la operación del moldeo. Esto proporciona un agarre eficaz que impide la extrusión del cable a través de la tapa, incluso a una presión hidráulica superior a 5 toneladas por pulgada cuadrada (787 kg/cm²). Este tipo de cierre hermético fué desarrollado por el British Post Office y se emplea en todos sus repetidores e igualadores sumergidos en aguas profundas. La prolongación del cable del lado de alta presión de la tapa tiene un conductor externo trenzado que se conecta a la misma mediante una copa metálica perforada. Rodeando totalmente el cierre moldeado del cable y la copa del conductor exterior hay una campana de caucho sintético moldeado que se llena con un fluido aislante viscoso (poli-iso-butileno) [8]. Se impide así, que el agua entre en contacto con la unión de metales diferentes, constituida por la tapa y la copa del conductor exterior. Bajo presión hidrostática la campana se aplastará ligeramente hasta que la presión del fluido aislante sea comparable a la del agua envolvente.

La prolongación del cable del lado de baja presión de la tapa se empalma a otra salida de la cápsula del repetidor que está en el interior de la cámara de presión. El conductor trenzado exterior de la cápsula se prolonga por la prolongación de la tapa, a la que se conecta a través de un embudo metálico. Al salir de fábrica, el cable del lado de alta presión de la tapa se termina en un conector coaxial para efectuar pruebas. Durante las operaciones de instalación, a bordo se suprime el conector y se empalma la prolongación a otra homóloga en el

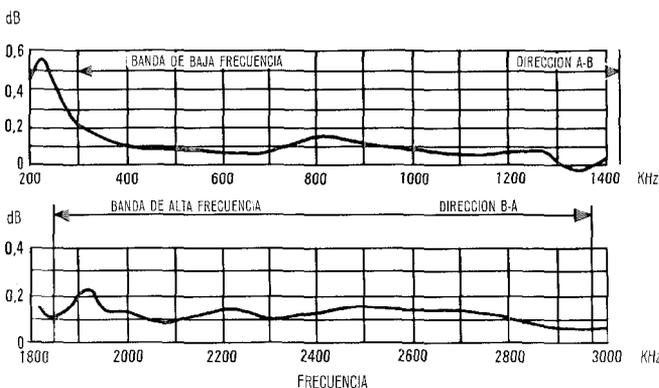


Fig. 12 Error de ganancia del repetidor.

extremo predeterminado del cable submarino. El método de anclaje del cable al extremo de la cámara puede verse en la figura 10. Se inserta el cono de la armadura en el cable durante las operaciones de terminación en fábrica y se reforman los hilos de la armadura del cable sobre el cono, sujetándose firmemente al cable. Cuando se hace el amarre al extremo de la caja, los hilos reformados de la armadura quedan aprisionados entre el cono y la placa de fijación que le rodea. También se toman precauciones para evitar los posibles movimientos de torsión del cable submarino con relación a la cámara de presión. Para hacer el anclaje de los cables ligeros, que normalmente no están armados, se recubren con una vaina de hilos armados en una longitud de 22 metros a partir del extremo del cable.

2.5 Comportamiento del repetidor

2.5.1 Circuitos principales de transmisión

Teóricamente la ganancia de los repetidores debería compensar sobre todo el margen de frecuencia la atenuación del cable tendido. En la práctica, la ganancia del repetidor no cumple esta condición, mostrando la figura 12 la desviación de la ganancia con relación a la atenuación de una sección media de un cable ligero de 25 mm. Durante el tendido este error se va acumulando de repetidor a repetidor y se compensa con el igualador fijo que se incorpora al igualador sumergido en fábrica, ya que es previsible. Como los igualadores sumergidos se intercalan en el sistema sólo cada doce repetidores, el igualador fijo debe compensar un error doce veces mayor que el de un solo repetidor.

En el repetidor hay varios caminos por los que las señales de salida del amplificador pueden realimentarse a la entrada del amplificador. Estos caminos son bucles de realimentación del amplificador de línea y si su pérdida de bucle, que incluye la ganancia del amplificador de línea, es baja, indeseable, y hasta cierto punto incontrolable, pueden producirse variaciones de ganancia con la frecuencia en el repetidor. En la fase de diseño se hace la pérdida de estos bucles lo mayor posible.

En la figura 13 se muestra las características de producción de segundo y tercer armónicos de un repetidor típico. Ambos armónicos se deben a falta de linealidad de la conductancia mutua y a la resistencia de placa de los tubos de salida del amplificador de línea. En el caso

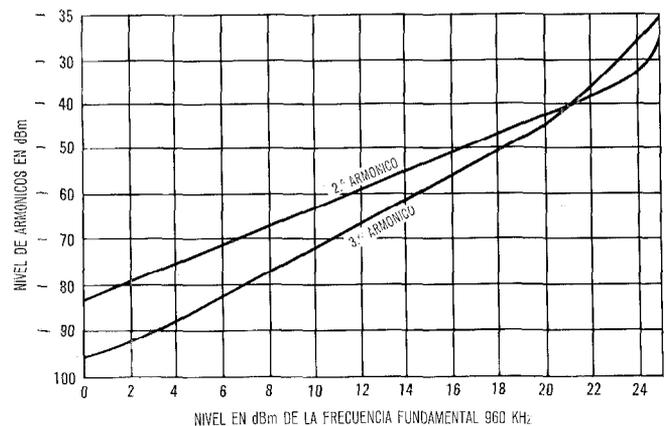


Fig. 13 Características de producción de armónicos del repetidor.

del segundo armónico, las contribuciones de estas dos fuentes están desfasadas 180° y se compensan en parte. El grado de compensación varía muy ampliamente y como resultado, la característica del segundo armónico varía mucho de un repetidor a otro. Para el tercer armónico las dos contribuciones están en fase, predominando el efecto de las pendientes, lo que se traduce en un comportamiento del repetidor más consistente, por lo que se refiere al tercer armónico.

Las impedancias de entrada y de salida del repetidor son importantes, especialmente para las frecuencias bajas, ya que, una vez instalado, las faltas de acoplamiento entre repetidores contiguos y el cable producen la aparición de ondas de interacción entre los repetidores contiguos. Para reducir la amplitud de estas ondulaciones la expresión

$$A + B + 2L$$

debe ser lo mayor posible, siendo

A = impedancia de entrada del repetidor expresada por la pérdida de retorno en dB,

B = impedancia de salida del repetidor expresada por la pérdida de retorno en dB,

L = pérdida de la sección del cable en dB a la frecuencia apropiada, que debe ser lo mayor posible.

Teniendo en cuenta los valores correspondientes de L, A + B + 2L siempre es mayor de 60, lo que garantiza que la amplitud de las ondulaciones es inferior a 0,01 dB por repetidor.

2.5.2 Sistema de supervisión

Con un nivel de impulsos de portadora de 0 dBm y un nivel de tono continuo de -15 dBm a la salida del repetidor, el impulso de retorno de 280 kHz tiene un nivel de -37 dBm a la salida del repetidor. Este impulso de retorno sufre pequeñas variaciones de nivel para un margen de niveles de portadora de ±10 dB. En un sistema de gran longitud podrían darse variaciones de nivel de portadora a causa de los errores de igualación o de los cambios en la pérdida del cable, pero es improbable que éstos excedan la fluctuación permisible de 20 dB.

Si se aplican únicamente los impulsos de portadora al repetidor aparecen impulsos de ruido a la salida del repetidor. La amplitud de pico de éstos es -62 dBm.

En un repetidor cuyos niveles de salida son los nominales del sistema, el nivel del tono de retorno será -16 dBm0, mientras que el nivel del ruido de retorno será -41 dBm0. Si el sistema tiene 4000 millas náuticas de longitud y un ruido ponderado de un picovatio/kilómetro por canal de 3 kHz, el ruido del sistema en el canal de retorno, que tiene una anchura de banda de 30 kHz, será -39 dBm0. El tono devuelto se distinguirá claramente del ruido del sistema del canal de retorno pero el ruido de retorno, para un repetidor en servicio normal, será 2 dB inferior al ruido del sistema en el canal de retorno. Para que un repetidor aumentase en 1 dB el ruido total del sistema, su propia contribución a éste necesitaría aumentar en unos 20 dB, por lo menos. Si esto ocurriera, el ruido de retorno de este repetidor superaría en 18 dB el ruido del sistema en el canal de retorno y podría localizarse fácilmente.

2.6 Planificación del sistema

2.6.1 Consideraciones sobre el ruido térmico

Intercalando en el sistema supuesto igualadores sumergidos cada 12 repetidores, la distancia media entre repetidores consecutivos es de 9,1 millas náuticas (16,9 km), para un sistema compuesto por cable ligero de 25,4 mm en agua profunda y cable armado de 15,7 mm en las secciones de las aguas poco profundas. Admitiendo un ruido de sistema de 1 picovatio por kilómetro, la contribución de cada repetidor no debe superar los 16,9 picovatios (-77,7 dBm0p), suponiendo que se suman las potencias de repetidor en repetidor. A partir de esta cifra y del supuesto de que todo el ruido del sistema es térmico, pueden establecerse los niveles mínimos de salida de los amplificadores de línea del sistema, según muestra la tabla 1.

Tabla 1

Frecuencia en kHz	Ganancia del amplificador en dB	Factor de ruido en dB	Ruido de salida por canal en dBmp	Niveles de salida mínimos en dB
312	32,2	2,8	-104,0	-26,3
500	32,3	2,5	-104,2	-25,5
700	32,7	2,5	-103,8	-26,1
1000	33,6	2,4	-103,0	-25,3
1200	34,3	2,3	-102,4	-24,7
1400	35,2	2,3	-101,5	-23,8
1428	35,3	2,3	-101,4	-23,7
1836	37,2	2,3	-99,5	-21,8
1900	37,6	2,3	-99,1	-21,4
2000	38,1	2,3	-98,6	-20,9
2200	39,1	2,3	-97,6	-19,9
2400	40,2	2,3	-96,5	-18,8
2600	41,2	2,4	-95,4	-17,7
2800	42,3	2,6	-94,1	-16,4
2964	43,0	2,7	-93,3	-15,6

2.6.2 Consideraciones acerca de la sobrecarga

Sea L_T dB el nivel de salida del amplificador de línea para la frecuencia de tráfico más alta. Aplicando 6 dB de pre-énfasis lineal al margen de altas frecuencias, el nivel medio de salida del amplificador será $(L_T - 4,5)$ dB.

La carga del sistema es la de 720 canales a un nivel medio de -10 dBm0, lo que da una carga total para el sistema de +18,6 dBm0. Suponiendo que esta carga presenta las mismas características que un ruido blanco, su factor de pico será 13 dB y la carga de pico del sistema se convierte en 31,6 dBm0. Con la carga admisible del amplificador de línea de +22 dBm de valor eficaz o 25 dB de pico, el valor máximo de L_T puede deducirse de

$$25 > 31,6 + L_T - 4,5$$

es decir

$$L_T < -2,1.$$

En la figura 14 se muestran las curvas de los niveles máximos de salida determinados por la sobrecarga del amplificador y de los niveles mínimos de salida determinados por el ruido térmico.

2.6.3 Niveles del repetidor y ruido calculado del sistema

Como se ve en la figura 14, hay amplios márgenes entre los niveles más bajos de salida del amplificador

y los más altos que puedan darse. Es esencial que estos márgenes cubran:

- a) los errores de alineación de los niveles de salida del repetidor en el sistema después del tendido,
- b) cambios en la atenuación del cable a causa de las variaciones de temperatura,
- c) la posibilidad de que un amplificador de línea pase a trabajar como amplificador único a consecuencia de una avería.

Teniendo en cuenta la longitud del sistema, errores muy pequeños de alineación podrían producir grandes desviaciones debido a las dificultades propias de igualación de un sistema con varios cientos de repetidores.

Variaciones de temperatura de 3 °C en 100 millas náuticas de cable armado de 15,7 mm podrían provocar cambios de nivel del orden de 3 dB. Si un amplificador de línea pasase a trabajar como amplificador único su sobrecarga variaría en 5 dB.

Para los niveles de salida de la figura 14, o niveles teóricos, se ha calculado el ruido total del sistema, incluyendo el ruido de intermodulación, como puede verse en la figura 3 del artículo "Planificación y diseño para el sistema" que también aparece en este volumen.

3. Igualadores

3.1 Introducción

Para garantizar en sistemas submarinos de gran longitud que se respeten los márgenes de ruido y sobrecarga, es esencial conservar los niveles del sistema dentro de unos límites predeterminados. Las variaciones de los niveles se deben al desequilibrio entre las ganancias de los repetidores y las atenuaciones del cable tendido. Pueden preverse algunas de las desviaciones de los niveles antes del tendido basándose en las medidas en fábrica del cable y de los repetidores y es posible diseñar un igualador que las reduzca. Sin embargo, en un sistema largo quedan variaciones de nivel residuales a pesar de la incorporación del igualador. Estas variaciones residuales y las que no pueden preverse, normalmente conocidas como "efecto de tendido", sólo pueden eliminarse mediante la igualación durante el tendido del sistema. Si se quiere que ésta sea realmente eficaz, la cámara de presión debe poder abrirse en el barco para incorporar los circuitos igualadores precisos y después ser eficazmente precintada.

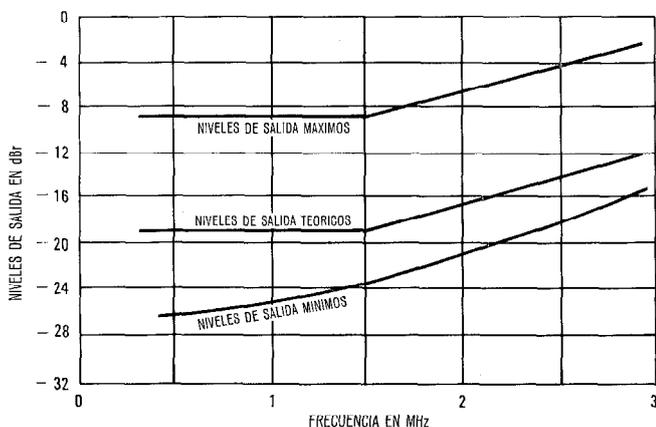


Fig. 14 Niveles de salida del repetidor.

En la práctica suelen embarcarse las cámaras de presión de los igualadores, ya dotadas en fábrica de los filtros separadores de fuerza y (siempre que sea posible) de los denominados "igualadores fijos". Estos últimos se diseñan de forma que compensen en el mayor grado posible los errores de igualación previstos sobre la base de las medidas de fábrica realizadas con algunos de los repetidores producidos en primer lugar y las secciones de cable. Por consiguiente, la incorporación de un igualador fijo facilita la tarea de igualación a bordo. Es normal insertar un igualador cuando la atenuación del cable ha aumentado hasta 500 dB, estimándose que en los puntos correspondientes el nivel medido para cualquier frecuencia de la banda no se habría separado del especificado en el diseño más del margen permisible.

A causa de la elevada frecuencia de línea (3 MHz) con que trabaja el enlace Ciudad del Cabo-Lisboa no pudo utilizarse el tipo existente de igualador sumergido [9].

Además, a causa de la breve distancia entre igualadores sucesivos y por tanto el corto tiempo disponible para la intercalación de los circuitos de igualación necesarios, se decidió que debía ahorrarse tiempo haciendo el empalme de los dos lados del igualador al cable durante la carga del barco cablero. Sin embargo, con el empalme al cable de todos los repetidores e igualadores en el barco, se hizo patente que debía habilitarse un acceso al sistema para poder hacer medidas de transmisión en los "tramos" individuales de cable y repetidores entre igualadores sucesivos.

Para satisfacer esta condición se decidió inicialmente dotar a cada igualador, en un extremo, de un casquillo adicional de entrada de cable para disponer de una conexión de prueba provisional que estaría en derivación con el circuito a través de un atenuador en triángulo; se tendría acceso al extremo exterior del conductor de prueba mediante un enchufe coaxial por fuera de la cámara. Una vez terminados el igualador y el precintado final de la cubierta, se cortaría la parte exterior del conductor de prueba y se sellaría su extremo con un molde de polietileno para impedir la entrada de agua en la cámara por los intersticios del conductor trenzado. Se advirtió que el recubrimiento del extremo del conductor de prueba disminuiría el tiempo disponible para diseño y montaje del igualador; por otra parte, el casquillo de entrada adicional constituía otro posible riesgo de infiltración en la cámara. A fin de obviar estos dos inconvenientes se adoptó una solución posterior que, mediante una modificación muy ligera de la cámara de presión del repetidor, elimina la necesidad del casquillo adicional y permite quitar completamente el conductor de prueba externo antes de proceder al sellado final de la cámara.

3.2 Descripción del igualador

El igualador sumergido puede dividirse en tres partes principales: la cámara de presión, la unidad de aparato que contiene los elementos fijos así como los regulables, y las piezas y componentes que constituyen los elementos regulables.

3.2.1 La cámara de presión

La cámara de presión ya descrita para el repetidor es admirablemente apropiada para el igualador. El sistema

de cerrar herméticamente la cubierta con la tapa, que incluye un sistema de presionizado y un método sensible de medir la presión, proporciona un medio sencillo de verificar la eficacia del sellado; esto es particularmente importante para el igualador, cuya cámara de presión debe poder cerrarse herméticamente a bordo del barco cablero. Dejando montado sobre la tapa el dispositivo de medida de presión durante un breve tiempo después de la operación de presionizado, cualquier defecto del sellado se detectará por un descenso de presión. Esta prueba es muy sensible porque, como el volumen del sistema de presión de la tapa es muy pequeño, cualquier ligero escape aparecerá en muy poco tiempo como una disminución de presión.

Sin embargo, en el caso del igualador, con objeto de tener acceso al sistema para hacer medidas de transmisión cuando se empalme el igualador al cable, es preciso modificar una de las tapas para poder conectar temporalmente un conductor de prueba.

En la figura 15 puede verse esta modificación de la tapa y la conexión del conductor de prueba. El cilindro de presionizado se prolonga más allá de la base del pistón de carga de gas (Fig. 10) hasta la cara de baja presión de la tapa y en esta prolongación del cilindro se cierra con una junta hermética cerámica-metal provista de una clavija para el conductor de prueba; éste lleva en su extremo el enchufe hembra que se conecta a la clavija con ajuste suave y se fija a la tapa con los dos tornillos que se emplean posteriormente para sujetar la placa de los tornillos de presión durante el precintado final de la cámara. El enchufe hembra va provisto de juntas en anillo para impedir la entrada de humedad cuando el igualador pueda almacenarse durante años como equipo de reser-

va. El extremo exterior del conductor de prueba se termina en un conector coaxial accesible por un orificio en la pared de la cámara de empalme. El extremo interno de la clavija accesible en la cara de baja presión de la tapa, se conecta con un conductor coaxial a la unidad de aparatos y desde ésta al circuito de transmisión a través de un atenuador en triángulo. El igualador se embarca de fábrica con el conductor de prueba conectado, el cual se retira en el barco inmediatamente antes de precintarse definitivamente el igualador.

Es de advertir que la clavija, empotrada en la cara de baja presión de la tapa, está situada totalmente bajo la base del pistón de carga de gas; así cuando se han completado a bordo todas las operaciones de ensamble y pruebas del igualador, puede reemplazarse el conductor de prueba por los pistones normales de carga de gas y presionizado y puede precintarse la cámara por el método ya descrito para el repetidor.

3.2.2 La unidad de aparatos

La unidad de aparatos de la cámara de presión fué desarrollada básicamente en cooperación con el British Post Office; consta esencialmente de dos partes, una cápsula precintada en fábrica que contiene los filtros separadores de fuerza y una caja precintable que aloja las unidades igualadoras y los simuladores de cable. La caja se fija por un lado a la tapa suelta de la cámara de presión y por el otro lado se une flexiblemente a la cápsula sellada; de esta suerte, cuando se retira la tapa de la cubierta a bordo también se separa de esta última la caja para permitir el montaje de las unidades igualadoras regulables. A los extremos de la cápsula se fijan amortiguadores de fricción de politetrafluoroetileno, que

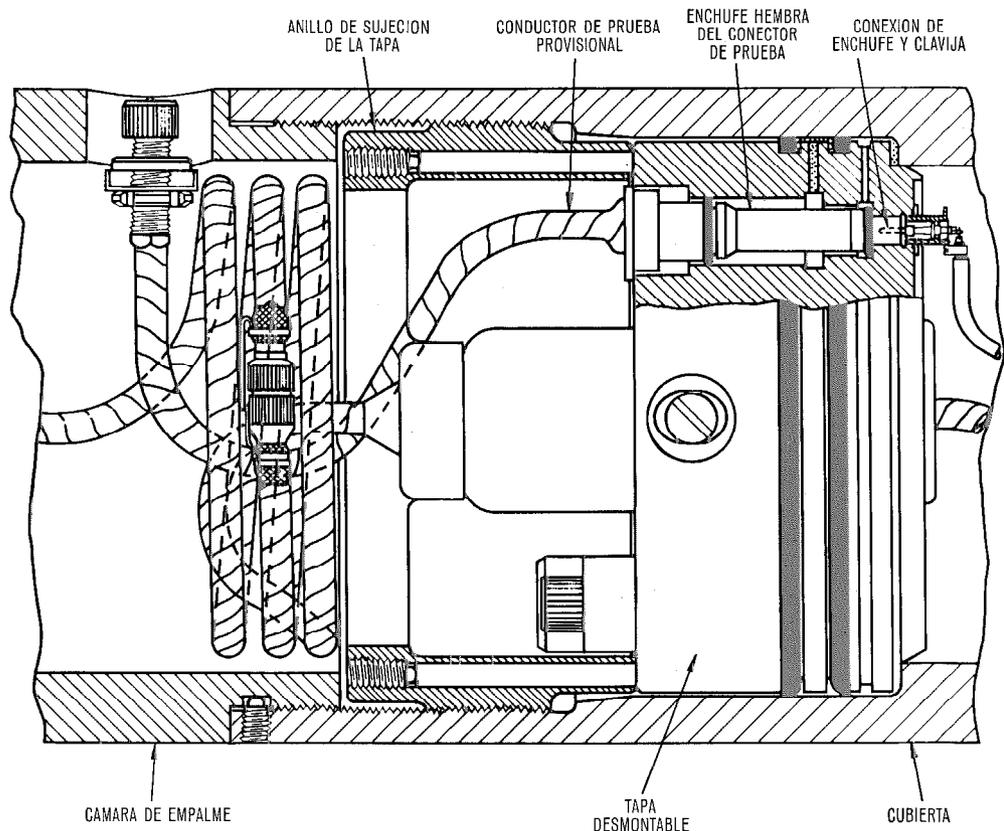


Fig. 15 Modificación de la cámara de presión para agregar el cable de pruebas.

se ajustan con precisión a la cubierta, con objeto de permitir que la unidad de aparatos se deslice libremente en la cubierta durante la operación de extracción. La figura 16 muestra la unidad de aparatos completa antes de su ensamble en la cámara de presión; se ha retirado la cubierta de la caja precintable para dejar al descubierto las unidades del igualador fijo.

La cápsula que contiene los filtros separadores de fuerza se cierra herméticamente y se llena con nitrógeno seco. Las prolongaciones de conductores, que se empalman posteriormente a las prolongaciones de las tapas respectivas de la cámara de presión, entran en la cápsula a través de unas juntas herméticas en las placas extremas.

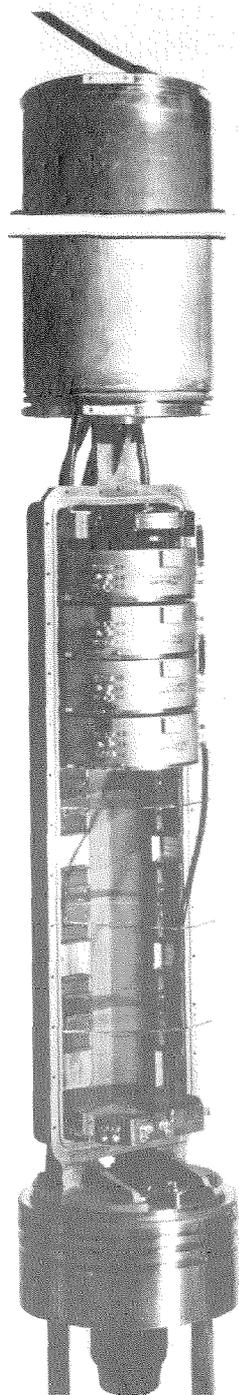


Fig. 16 Unidad de aparatos del igualador sumergido.

Dos conductores coaxiales herméticos prolongan el circuito de transmisión de la cápsula a la caja del igualador. De esta forma, todas las conexiones a alta tensión están aisladas en una atmósfera seca y no quedan expuestas al aire durante las operaciones a bordo. La construcción de la cápsula sigue fielmente el principio adoptado para la cápsula del repetidor, ya descrito. La figura 17 muestra el circuito de los filtros separadores de fuerza, que permite la total separación entre la tensión y la corriente continua de línea y el circuito de transmisión; también da una característica de pérdida en bucle de 70 dB como mínimo dentro del margen de frecuencias del sistema.

La caja del igualador, que es de una fundición de aleación ligera cuenta con una cubierta amovible que la cierra herméticamente mediante una junta en anillo estanca. La caja puede contener un total de diez unidades, todas exteriormente idénticas, que pueden constar de una combinación de igualadores fijos y simuladores de cable, ensamblados en fábrica, e igualadores regulables que se ensamblan en el barco. Estas unidades se fijan en la caja y se aíslan de ella electricamente por medio de lengüetas ajustadas sobre aquéllas, situadas en molduras de dialilftalato fijas en la caja; las unidades quedan fijas en su posición cuando se cierra la caja con su cubierta. Se emplean conductores coaxiales provistos de terminaciones para conectar las unidades entre sí y a las regletas de terminales de los extremos de la caja. Los terminales de entrada y salida de cada unidad y de las regletas de terminales están duplicados para evitar tener que desoldar los conductores de interconexión en el caso de que deba retirarse alguna unidad; así, si esto es preciso, se cortan los conductores y al sustituir la unidad se utilizan nuevos conductores que se conectan a los terminales de reserva de entrada y salida.

En el barco, una vez que se han incorporado las unidades igualadoras regulables y se ha probado el igualador completo con la estación costera utilizando el conductor de prueba provisional, se aísla el circuito de transmisión del atenuador en triángulo que se ha empleado para la conexión del conductor de prueba cambiando los puentes en la regleta de terminales más cercana a la tapa desmontable. Se introduce entonces en una cavidad de la caja del igualador un deshidratante de gel de sílice, se coloca la cubierta de la caja y se vuelve a meter la unidad de aparatos en la cámara de presión; después de quitar el conductor de prueba de la tapa, el igualador queda listo para cerrarse herméticamente.

3.2.3 Unidades regulables

Con objeto de facilitar las operaciones de ensamble y conexionado a bordo se decidió limitar las secciones igualadoras regulables, en la medida que fuera posible, a sencillas redes resonantes serie o derivación bipolares. Cada circuito debía estar compuesto de sólo tres componentes, L, R y C, y las secciones debían poderse conectar al circuito de transmisión en serie o en paralelo. Sin embargo, para los casos que exigiesen el empleo de una red más completa se decidió también disponer cierto número de configuraciones diferentes de redes en T con puente e impedancia constante.

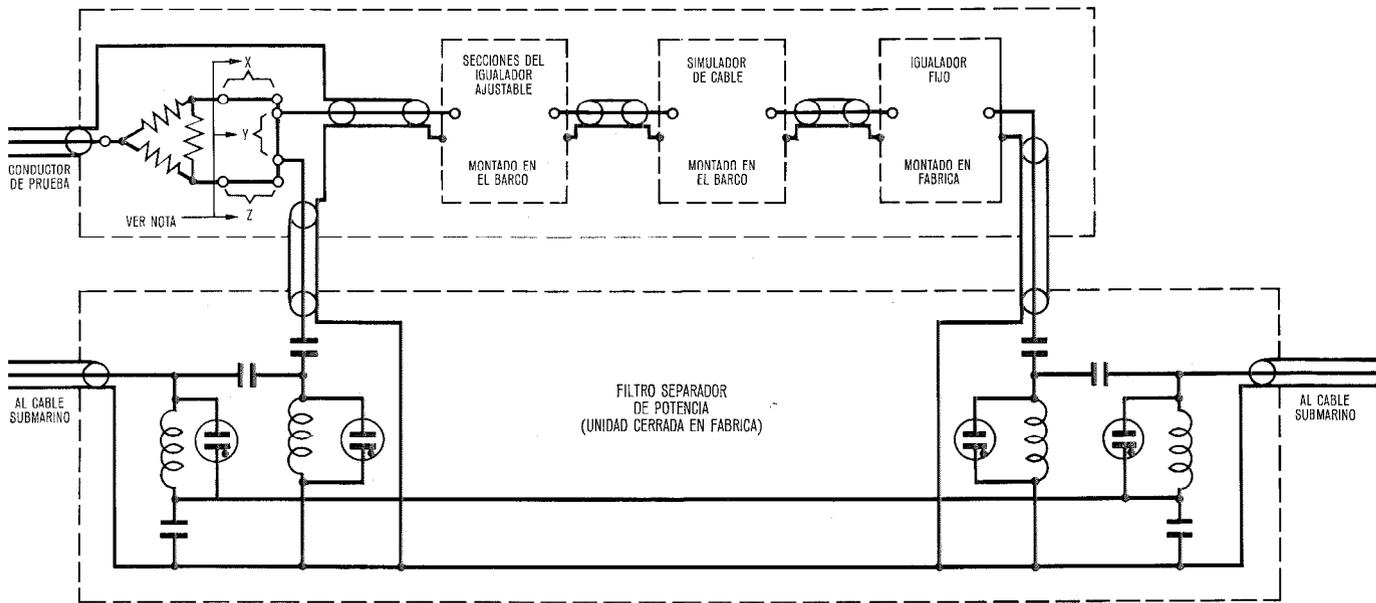


Fig. 17 Esquema del filtro separador de fuerza del igualador sumergido.

También se consideró necesario prever el montaje a bordo de igualadores sencillos cuyas características simulasen la atenuación de una cierta longitud de cable; estos simuladores de cable se escogieron de un conjunto de unidades hechas en fábrica que daban atenuaciones variables de 1 dB a 13 dB en pasos de 1 dB para la frecuencia más alta del sistema.

En la figura 18 se muestra una unidad igualadora terminada, antes de colocar la tapa, equipada respectivamente con una red bipolar y una sección en T con puente, en los dos compartimientos del bote.

Los componentes que constituyen las secciones de igualación se seleccionan de un lote que se envía de fábrica en cajas herméticamente cerradas y que sólo se abren en la parte del barco cablero donde se trabaja con los igualadores, que reúne condiciones perfectas "de acondicionamiento". Además de estas cajas precintadas, también se suministra con cada igualador sumergido un juego de piezas mecánicas.

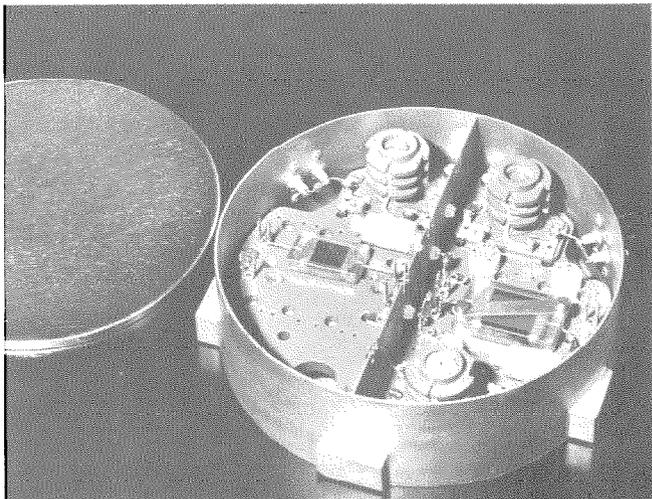


Fig. 18 Unidad igualadora terminada antes de colocar la tapa de la caja.

Conclusión

En este artículo se han expuesto de forma general algunos detalles y consideraciones de diseño de los repetidores y los igualadores sumergidos que fueron desarrollados para el sistema de 3 MHz. Los repetidores y los igualadores se han instalado ya en el sistema Ciudad del Cabo-Lisboa y sus diseños se han visto confirmados por la lograda igualación y la consecución de los objetivos de ruido y estabilidad del sistema.

Referencias

- [1] F. G. Haegle: Diseño y fabricación de tubos para repetidores submarinos, en este número.
- [2] K. Bullington y J. H. Fraser: Engineering Aspects of TASI, Bell System Technical Journal, Vol. 38, N° 2, Marzo 1959, págs. 353—364.
- [3] P. S. Kelly: Equipo de suministro de energía, en este número.
- [4] C. R. Taylor: Planta de suministro de energía eléctrica primaria, en este número.
- [5] W. E. R. Evans: Condensadores para los sistemas de cable submarino de 3 MHz, en este número.
- [6] British Patent N° 742.837.
- [7] British Patent N° 984.912.
- [8] British Patent N° 847.858.
- [9] B. M. Dawidziuk y F. L. Jarvis: Shipboard Adjustable Submerged Equaliser, Electrical Communication, Vol. 38, N° 1, 1963, págs. 88—105.

F. L. Jarvis nació en Kent, Inglaterra, en 1913. Estudió en la "Gravesend Technical School" y después en el "Leicester College of Technology".

De 1929 a 1935 trabajó en W. T. Henley's Telegraph Works como delineante en los laboratorios de investigación.

A su ingreso en Standard Telephones and Cables a finales de 1935, se le hizo responsable del diseño mecánico de los equipos de pruebas del laboratorio y de la fábrica de transmisión, puesto en que permaneció durante la guerra hasta 1945. Al principio de la postguerra se le encargó del diseño mecánico de componentes de guía-onas para sistemas de microondas. Desde 1949 se ha ocupado activamente del diseño mecánico de todos los aspectos de los repetidores e igualadores submarinos.

J. F. Tilly nació en Inglaterra en 1930. Estudió en el St. Catherine's College de Cambridge, y obtuvo en 1953 el grado "Bachelor of Arts" en matemáticas. En este mismo año se incorporó a la división de transmisión de Standard Telephones and Cables, en North Woolwich. En 1963 se unió al grupo de diseño de la división de sistemas de repetidores sumergidos.

Fabricación de repetidores sumergidos

W. J. ARCHIBALD
A. W. BATCHELDER

1. Introducción

A principios de 1965, cuando se tuvieron las primeras indicaciones de que sería necesario un sistema de cable que comprendería más de 700 repetidores e igualadores, se consideró seriamente la posibilidad de aumentar la capacidad de producción en la fábrica de North Woolwich de Standard Telephones and Cables.

El programa era producir 653 repetidores y 57 igualadores de un nuevo diseño capaces de soportar una presión de 4 toneladas por pulgada (620 kg por cm²) cuadrada en el lecho del océano, con un mínimo de conservación durante un período por lo menos de 20 años.

La calidad es siempre la primera consideración en la producción de equipos para sistemas telefónicos, pero hay una de tipo económica, que indica que más allá de cierto punto no están justificados los gastos para acercarse a la perfección teórica.

En general, existe una filosofía que se aplica a todas las facilidades que se dan en la fabricación, para reducir el coste del mantenimiento tanto preventivo como de corrección. En el caso de repetidores sumergidos en el fondo del océano, es imposible el mantenimiento y el coste de la sustitución es prohibitivo.

A causa de esto, para este tipo de fabricación se ha adoptado una filosofía general para conseguir en el producto el mejor resultado prácticamente posible. Para ello, se han establecido unas reglas fundamentales, que constituyen la base de los principios de operación adoptados en la fabricación de repetidores y que son:

a) todas las operaciones de ensamble y pruebas se realizan en áreas acondicionadas con temperaturas y humedad controlada. Además estas plantas se mantienen escrupulosamente limpias y libres de toda contaminación;

b) los nuevos operarios y los inspectores realizan antes de su participación real en la producción unos cursos de entrenamiento;

c) también se les enseña la necesidad de cumplir las estrechas reglas y regulaciones del acondicionamiento de aire en la planta de trabajo;

d) se les instruye para inculcarles un gran sentido de la responsabilidad individual y de la importancia de informar de cualquier desviación accidental de las normas establecidas;

e) cuando sea posible, en todos los puntos del proceso de fabricación que puedan afectar a la integridad de los repetidores, se establecerá inspección eléctrica y visual a base del 100 %;

f) los componentes empleados en el ensamble se escogen de plena confianza, es decir, de diseños comprobados históricamente y de suministradores de plena solvencia.

2. Capacidad y programas de entrega

La capacidad de la planta de fabricación antes del contrato Sudáfrica—Portugal, era de 4 repetidores por semana a base de un turno de 5 días de trabajo. Para cumplir con las exigencias del nuevo contrato, se planeó

las facilidades para la entrega continua de 10 repetidores semanales.

Para cumplir con la fecha requerida de puesta en servicio del sistema completo, los repetidores se programaron en las siguientes fechas para cumplir las cinco operaciones de tendido:

Fecha	Repetidores	Igualadores
1er tendido Octubre 1967	168	17
2º tendido Enero 1968	137	11
3er tendido Marzo 1968	100	7
4º tendido Junio 1968	125	10
5º tendido Septiembre 1968	123	12

El trabajo de planificación de ampliación de facilidades en la planta, se inició a principios de 1965 y el cumplimiento de este programa se fijó para Marzo de 1966. Con la previsión de equipo adicional y personal entrenado, se programó una entrega de los primeros repetidores con el ritmo de 2 por semana, aumentando la cantidad hasta llegar a 10 por semana. Los primeros repetidores disponibles para embarque fueron programados para Noviembre de 1966, y los primeros 150 repetidores e igualadores se terminaron en Agosto de 1967. Todo se realizó conforme a las previsiones y los repetidores se produjeron en cantidades tales que se pudieron cumplir las fechas de carga y tendido.

El tiempo empleado para llegar al máximo de la capacidad de producción desde la salida de los primeros repetidores fué de 8 meses.

Las entregas fueron como sigue:

1966 — 15
1967 — 363
1968 — 332.

3. Condiciones de fabricación

La planta del departamento de fabricación totaliza 6000 m² de los cuales 2430 m² tienen aire acondicionado.

El área con aire acondicionado está dividida en dos emplazamientos principales, uno en el que se ensamblan las bobinas y unidades de aparatos, y la otra en la que se ensambla la unidad interior del repetidor y donde se hace la encapsulación final.

Cada local es independiente del otro y dispone de unas habitaciones separadas donde las personas que entran en la zona de aire acondicionado deben vestirse ropas de protección libres de pelusas, así como gorros, guantes y zapatos.

Además cada local dispone de comedor para las interrupciones de comida y del te, puesto que las comidas y bebidas están prohibidas en el área de trabajo.

Las condiciones de temperatura y humedad para las dos áreas se obtienen mediante cuatro sistemas separados con una capacidad de refrigeración de 184 toneladas tratando un volumen aproximado de 10.000 m³.

Por razones técnicas, las condiciones en las áreas acondicionadas difieren. En una de ellas el equipo de

filtrado consiste en un banco de filtros viscosos (inmersión en aceite), seguidos por un banco secundario provisto de una capa gruesa fina de lana de aluminio. Otra etapa del filtrado es el paso del aire a través de pulverizadores secadores de cloruro de litio con eliminadores del sobrante y finalmente, el aire pasa a través de un precipitador electrostático, resultando una filtración hasta partículas del tamaño máximo de 0,2 micras. Esta unidad tiene 10 cambios completos de aire por hora, con una composición del 10% de aire fresco en cada cambio.

En el otro área, el equipo de filtración difiere en la etapa final, en que el precipitador electrostático está reemplazado por un doble banco de filtros de lana de algodón y esta unidad es capaz de filtrar partículas mayores de 6 micras. Esta unidad tiene 11 cambios de aire completos por hora, también con una sustitución de aire fresco del 10%.

Las condiciones de temperatura y humedad son comunes, en las dos áreas acondicionadas de aire, fundamentalmente $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ y menos del 40% de humedad relativa. El control de temperatura se efectúa por medio de termostatos registradores operados por el aire suministrado desde el sistema de aire comprimido seco y limpio. Las características de humedad se controlan por la planta de secado de aire por cloruro de litio utilizando una pulverización de una disolución de una sal del 40—45% de densidad.

Uno de los principales problemas con que se enfrenta este tipo de fabricación es como evitar la contaminación del elemento humano. Con respecto a esto, la ropa de los empleados se considera como el mayor generador de contaminación y por esta razón cada operario emplea monos de nylon especial libre de pelusas, guantes de rayón, gorras de nylon y zapatos de piel y también se usa para todas las personas que entran en la planta acondicionada. Los operarios tienen armarios cerrados en los vestuarios para sus ropas de calle y efectos personales. Los monos y gorras se cambian regularmente una vez por semana y más frecuentemente si surge la necesidad, y los guantes diariamente.

Sólo materiales y componentes aprobados pueden entrar en las zonas limpias especiales y la entrada se hace a través de una sala de depuración donde se comprueba la disposición para el acceso, por un inspector, después de efectuada la operación de limpieza.

4. Producción y facilidades en las plantas con aire acondicionado

La planta "A" de aire acondicionado está subdividida en área de producción, pruebas y almacenaje y se fabrican en ella bobinas, subensambles y unidades (amplificadores, filtros direccionales, etc.).

Todas las piezas que se admiten como aceptables en estas áreas se almacenan en forma convencional, pero los conjuntos y juegos de piezas para el ensamble de bobinas, subensambles y unidades se hacen sobre la base de una a una y no se suministra a granel ninguna pieza incluyendo también en ello los tornillos, tuercas y arandelas.

Todos los juegos de piezas para un ensamble se comprueban con una lista por el operador e inspector antes

de empezar el ensamble y una hoja de fabricación acompaña a cada partida o componente en la que se registra su historia completa. Todas las etapas indicadas en la hoja de fabricación se firman por el operario y el inspector que actúan, y éstos indican en la hoja todas las pequeñas desviaciones accidentales de la rutina normal que puedan afectar a la fiabilidad con el concepto que de ésta han adquirido desde su entrada en la unidad de fabricación.

Debido a las exigentes características técnicas necesarias, la mayoría de las bobinas se devanan a mano y por razones de mayor delicadeza en el manejo cuidadoso de hilos finos y de la destreza en manipular ensambles complejos y complicados, se utiliza preferentemente el personal femenino. Para la producción de los ensambles de unidades se prefieren cableadores masculinos y es necesario un período de enseñanza y de reentrenamiento de 6 meses antes de que un operario se considere competente para la producción de los ensambles más complicados. Además de las pruebas eléctricas exhaustivas, todos los ensambles son inspeccionados visualmente por inspectores que examinan los componentes, la fijación y el cableado con mucha atención ayudándose con lentes de aumento y espejos dentales para las partes que no pueden ser visibles directamente.

Después de su terminación, las unidades se seleccionan en juegos para cada repetidor y se colocan en cajas cerradas herméticamente que se transfieren al área "B" de aire acondicionado.

En esta área, que está subdividida del mismo modo que la anterior en zonas de producción, se hace el ensamble de la cápsula del repetidor, el encapsulado y la prueba.

En la figura 1 se muestra una unidad interna de repetidor ensamblado, dispuesto en un soporte para el ensamble antes de desmontarlo para llevarlo al soporte de prueba para las primeras mediciones eléctricas. Al terminar éstas, la unidad interna del repetidor se introduce en un manguito de politeno y después en una cubierta de latón que se precinta después de someterla a un flujo de nitrógeno durante 24 horas.

La unidad interna del repetidor está entonces preparada para la operación de encapsulado que se realiza en dispositivos de manipulación giratorios preparados especialmente.

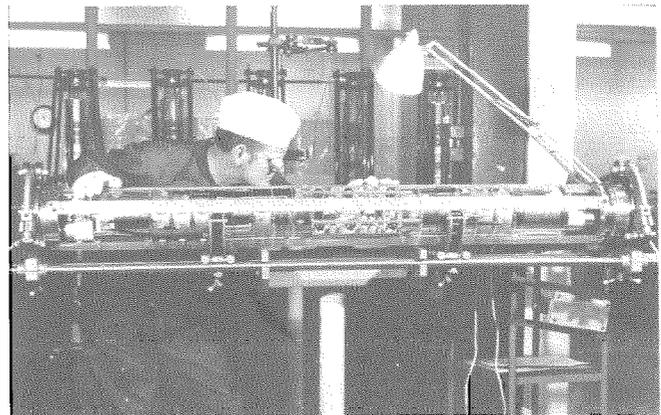


Fig. 1 Unidad interna de repetidor ensamblada montada en el soporte para ensamble.

La figura 2 muestra un manipulador en posición vertical con la unidad interior descendiendo dentro de la cubierta para alta presión. Después de asegurar la unidad interna en la cubierta submarina, el soporte gira en posición horizontal para facilitar la colocación de las mamparas (es decir los dispositivos de cierre).

Antes de montarse en la caja, la tapa se prepara en una envoltura de polietileno y pasa al área de pruebas colocada en la zona "B".

Para impedir el ingreso de vapor de agua en el cable a través del centro de la tapa, se moldea una junta de polietileno sobre una corona muy pulida y reforzada que sobresale en la cara de alta presión de la tapa y a través de la cual entra el cable en el repetidor. Esta junta se examina con rayos X en 6 posiciones y la película resultante examinada para descubrir inclusiones, huecos, faltas de unión y excentricidad del conductor del núcleo central. Finalmente la tapa se fija en un dispositivo de pruebas y se somete a una presión de 5 toneladas por pulgada cuadrada (800 kg por cm²) durante 28 días con comprobaciones diarias de la presión y humedad como

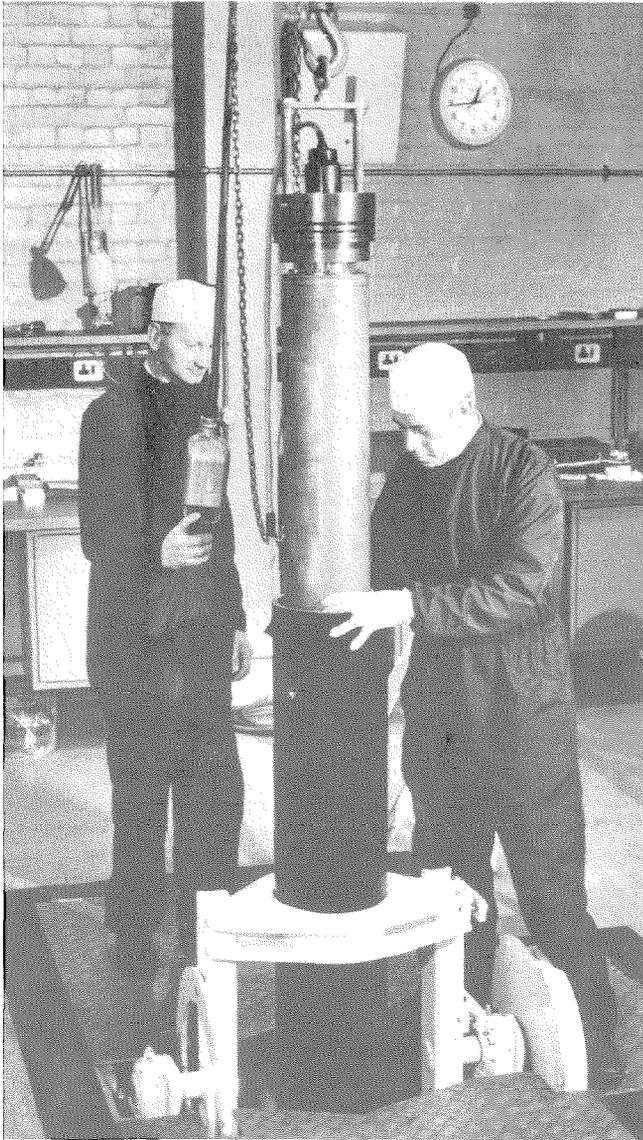


Fig. 2 Manipulador en una posición vertical con la unidad interna descendiendo en la envoltura para alta presión.

una indicación de la filtración de vapor de agua. Cada tapa se somete posteriormente a una prueba de alto voltaje y de cada doce se prueba una hasta el final de rigidez para asegurar la continuidad del margen de seguridad.

4.1 Prueba con baja temperatura

Cuando se termina la operación de encapsulado, se saca el repetidor de la planta de aire acondicionado y se coloca en un tanque de pruebas refrigerado. Aquí se mantiene durante 28 días al ambiente de 2 °C de la profundidad del mar con unos ciclos suaves de temperatura. Se aplica fuerza al repetidor y se hacen mediciones eléctricas con intervalos regulares. Cuando terminan satisfactoriamente estas pruebas el repetidor se lleva a bastidores de almacenaje para esperar el embarque en el barco cablero.

5. Tipos y cantidades de componentes y aparatos

En la tabla 1 se muestra la cantidad y valores de los componentes empleados.

6. Control de calidad

El objetivo de la confiabilidad para proporcionar unos 700 repetidores e igualadores, libres de faltas durante 20 años, exigía que se hiciera lo más posible en la fiabilidad de componentes. La gran cantidad de repetidores sumergidos fabricados en North Woolwich y en servicio en todo el mundo, en condiciones ambientales semejantes, proporciona los datos de fiabilidad más importantes. Por ello se siguió estrictamente la filosofía adquirida con la fiabilidad experimentada en el fondo del océano. Los únicos cambios introducidos en materiales, procesos y componentes fueron tubos, condensadores de alto voltaje, resistencias de precisión para alta frecuencia devanadas con hilo coaxial, inductancias ajustables para su igualación a bordo, resistencias de óxido de estaño y semiconductores para servicios de supervisión. Todos los componentes con excepción de los semiconductores se diseñaron y fabricaron por organizaciones que habían suministrado componentes para los sistemas anteriores, así que los nuevos diseños incorporaban las técnicas comprobadas en lo que era posible con las nuevas necesidades. En todos los nuevos materiales, procesos y componentes se emplearon nuevos diseños de prueba y se renovaron los procesos de operación, teniendo cuidado de comprobar que se seguían exactamente las normas dadas, que se controlaban exactamente las condiciones de prueba y que se median todos los parámetros. En esta etapa era esencial responder de cualquier resultado inesperado para asegurarse de que se habían comprendido perfectamente los problemas de tal modo que no fuera posible su reaparición durante la fabricación. Este programa se hizo en el menor tiempo posible para obtener la mayor confianza en el plazo disponible.

La función del departamento de control de calidad era asegurar la fiabilidad del equipo a medida que se fabricaba. El trabajo se dividió en prevención de defectos (que tomaba todas las medidas para hacer que el equipo estuviera libre de defectos) y la detección de defectos

Tabla 1 - Componentes utilizados en los repetidores

Componentes	Cantidad de códigos distintos	Nº de unidades	Margen de los valores	Limites de exactitud
Condensadores:				
papel	7	35	0,01—0,25 μ F	$\pm 8 \%$
mica	60	95	10—10.000 pF	$\pm 0,5 \%$
otros (1)	2	8	2,5—18 pF	—
Resistencias:				
precisión de hilo devanado	17	29	3—560 ohms	$\pm 0,5—3 \%$
óxido de estaño (2)	43	70	10—50.000 ohms	$\pm 1—5 \%$
devanados vitrificados esmaltados (3)	3	4	10—20 ohms	$\pm 4 \%$
Inductancias	64	64	0,391 μ H—1,95 mH	$\pm 0,5—3 \%$
Transformadores	10	10	—	—
Diodos de gas (4)	2	6	—	—
Semiconductores	2	9	—	—
Tubos de vacío	1	6	—	—
Cristales de cuarzo	1	2	2720 kHz	—
Detalles mecánicos	225	882	—	$\pm 0,012$ á 6,3 mm
DAP - Detalles (5)	43	173	—	$\pm 0,05$ á 0,5 mm
Detalles de perspex	17	90	—	$\pm 0,025$ á 0,038 mm
Materiales distintos	51	—	—	$\pm 0,025$ á 1,25 mm
Secadores "Silica Gel"	2	2	—	—

Notas - (1) Trimers de aire fabricados por Oxley Development Co. Ltd.
 (2) Resistencias de película de óxido de estaño fabricadas por Welwyn Electric Ltd.
 (3) Fabricados por Berco Ltd.
 (4) Fabricados por Ferranti Ltd.
 (5) Diallyl phthalate (carga de vidrio).

(que tomaba las medidas para eliminar los errores que se habían cometido en la fabricación).

La prevención de defectos comprende:

- participación en la elaboración de especificaciones para materiales, piezas sueltas, componentes y procesos;
- participación en la selección de suministradores basada en un estudio de la experiencia, aptitud y potencial de producción;
- participación en la planificación de los programas de inspección y pruebas;
- diseño de los sistemas de informes de inspección y pruebas.

La detección de defectos se realizó por un departamento de inspección ampliado, según especificaciones y procedimientos detallados en todas las etapas de la fabricación desde la inspección de entrada a la prueba final.

Durante la fabricación se supervisó la calidad del producto de cada suministrador y el análisis resultante se enviaba a éstos con objeto de que actuaran sobre la mejora en la calidad.

Aunque los subcontratistas inspeccionaron rigurosamente según las especificaciones para repetidores sumergidos, todos los materiales se inspeccionaron en la recepción y se probaban muestras para ver las propiedades mecánicas, físicas, químicas y eléctricas y también se reinspeccionaron los materiales, piezas sueltas, y componentes con respecto al acabado, dimensiones y en algunos casos características en un 100%.

Se pidió la inspección visual, mecánica y eléctrica durante el proceso en las pautas de fabricación en cada etapa de producción con el principio de que se detec-

taran los errores y se reportaran inmediatamente. Se realizaron pruebas destructivas de control de calidad a base de muestras en los productos moldeados de polietileno, los cierres "0" y otras piezas similares.

Se empleó un sistema de información a base semanal para resumir y analizar todos los defectos en materias primas, productos comprados y de toda la planta de fabricación. En este informe se contenía la tendencia de los defectos en las áreas importantes y una relación de las partidas "A" (de acción inmediata para mejora de calidad) que se distribuía ampliamente en todos los departamentos que así estaban enterados del nivel de calidad. Había una tendencia instintiva para continuamente elevar este nivel y disminuir el porcentaje de defectos.

Un proyecto de esta magnitud exigía la consideración de muchas filosofías y una de ellas era la relacionada con las pruebas eléctricas. Se desarrollaron equipos de prueba mejorados, herramientas para prueba y pautas racionalizadas.

Los resultados de las pruebas pasaron por análisis estadísticos y aprobación de resultados. Debido al aumento de cuidado puesto en toda la producción y la pauta racional de pruebas, una mayor cantidad de datos estadísticos contribuyó pronto a la confianza necesaria para este proyecto. Por ejemplo, el examen de histogramas relacionados con los límites especificados, características del cambio de proceso y diagramas de dispersión relativos a los resultados de varias pruebas, contribuyeron a proporcionar una imagen completa de la situación y una comprobación útil de los resultados.

La buena ejecución de los 400 primeros repetidores está ilustrada en las figuras 3, 4 y 5. La figura 3 muestra

Fabricación de repetidores

la separación de la ganancia media de cada grupo de 10 repetidores del valor fijado para cada una de las frecuencias extremas. Las mayores desviaciones que aparecen en 2964, 1848 y 1428 kHz son el resultado de las resistencias seleccionadas por prueba que se utilizan para proporcionar un ajuste de pendiente de ganancia de 0,2 y 0,4 dB. En la figura 4 la separación de la ganancia media desde la diseñada y la desviación normal se registran en función de la frecuencia para 12 valores de ésta. Para las frecuencias bajas la ganancia media excede de la diseñada hasta valores de 0,1 dB mientras que la desviación normal varía entre 0,03 y 0,07 dB. En

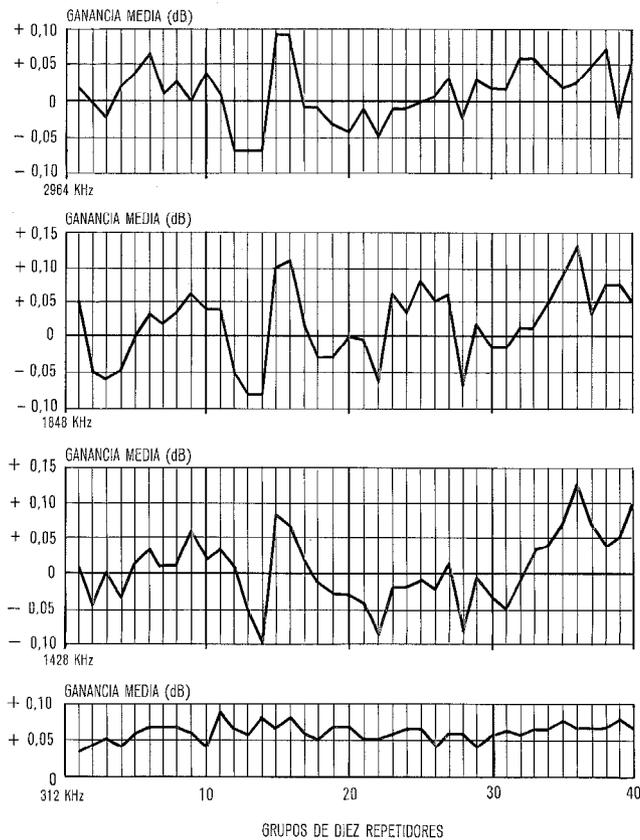


Fig. 3 Ganancia media en grupos de 10 repetidores para los 400 primeros repetidores a las 4 frecuencias extremas.

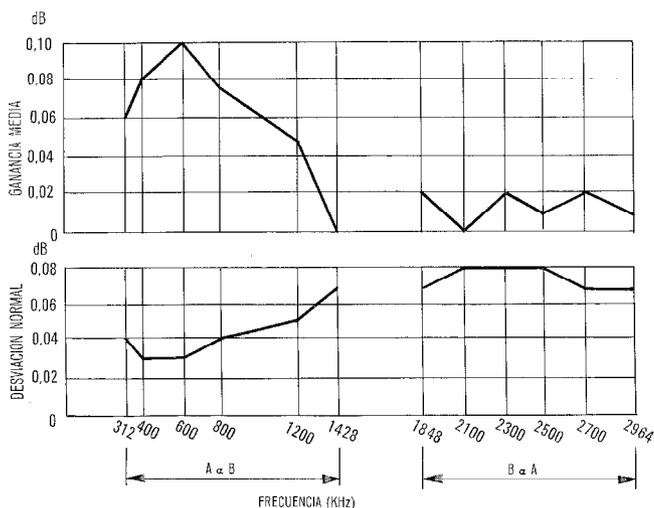


Fig. 4 Desviación normal y ganancia media para 12 frecuencias.

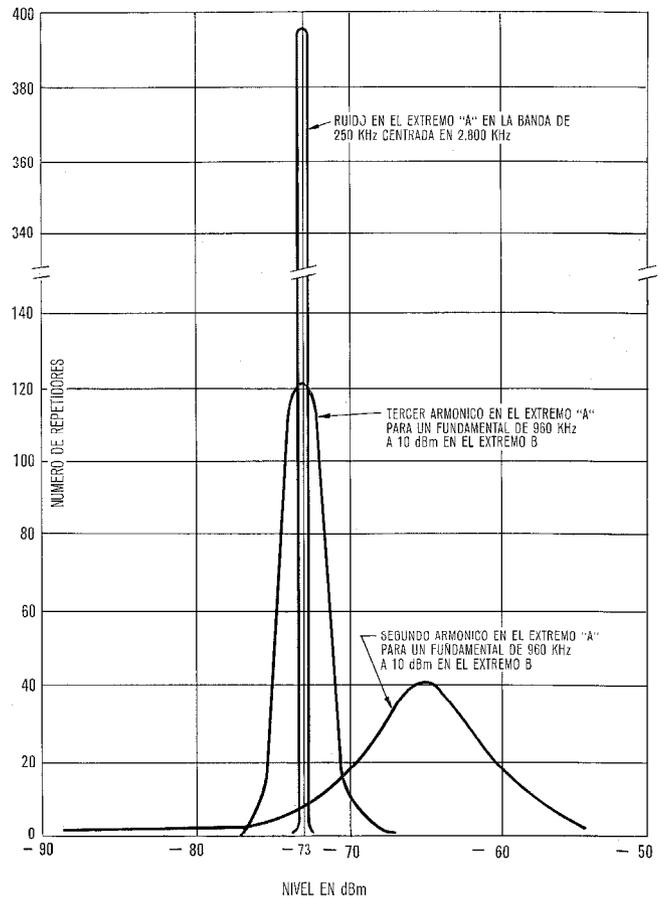


Fig. 5 Distribución del 2º y 3er armónico para 400 repetidores.

la banda de alta frecuencia excede de la diseñada en valores entre 0 y 0,02 dB con una desviación normal entre 0,07 y 0,08 dB. La figura 5 muestra gráficamente la distribución de la distorsión de armónicos y productos de ruido. La distribución del ruido y productos de distorsión del tercer armónico se aproxima a las distribuciones normales con muy distintas desviaciones. La distribución de la distorsión del 2º armónico está desviada a causa de que la distorsión resulta de dos causas dentro de los tubos del paso de salida.

Las exigencias de exactitud para las medidas principales eran:

- transmisión en la banda de paso: se registró a 0,01 dB, un cambio de 0,04 dB fué causa de investigación;
- atenuación en la banda de supresión hasta 100 dB con una distorsión de armónicos inferior a -80 dBm; se ha obtenido exactitud absoluta ± 2 dB, los cambios que han excedido de 3 dB han motivado investigación;
- realimentación del repetidor: $\pm 0,5$ dB y ± 3 grados;
- ruido: exactitud absoluta ± 1 dB y repetitiva $\pm 0,5$ dB;
- resistencia en corriente continua: en general $\pm 0,1\%$.

La exactitud en las medidas eléctricas se mantuvo con controles regulares apoyados por una sala de patrones con aire acondicionado. En ésta hay disponibles con paneles de control, aparatos de medida patrones, potenciómetro "vernier" y patrones de resistencias, aparatos

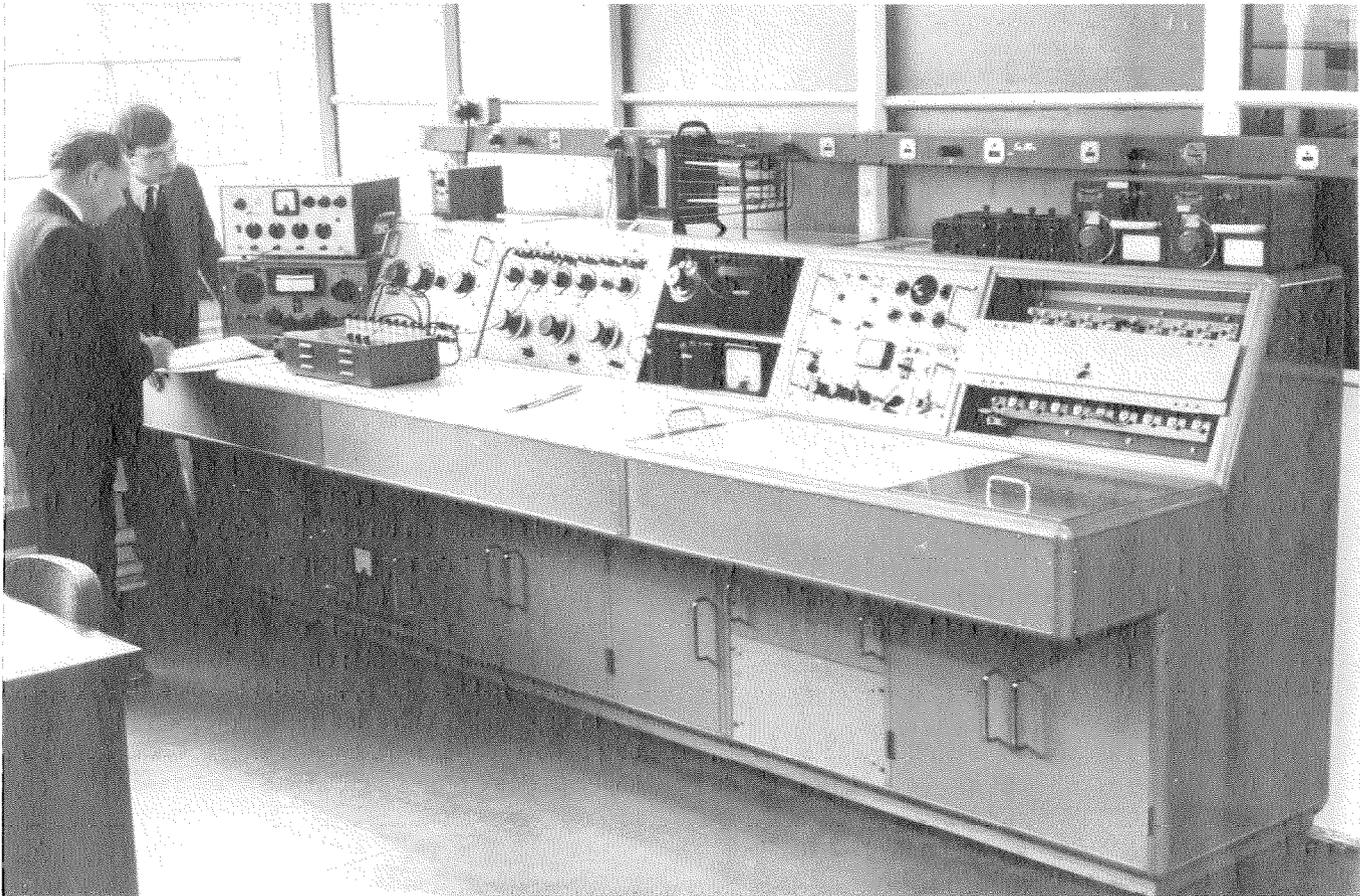


Fig. 6 Sala de patrones mostrando la posición de pruebas.

para comprobar voltajes hasta 1500 voltios y corrientes hasta 30 amperios de corriente continua, voltajes hasta 600 voltios a 50, 60, 400 y 1000 Hz y corriente hasta 15 amperios a 50 Hz.

La sala de patrones está también equipada para medidas de precisión de resistencias y atenuación (Fig. 6).

Al avanzar la fabricación de los repetidores en sus operaciones de fabricación se registraban en unos impresos que les acompañaban los números de serie de los componentes, unidades de aparatos y todas las operaciones de inspección y pruebas. Después de la aceptación final todos estos datos se transferían a un microfilm donde dos registros referentes a un repetidor ocupaban más de 30 m de película que se almacenará durante toda la vida del repetidor.

W. J. Archibald nació en Escocia en 1920 obteniendo un grado B. Sc. en la Heriot Watt University en 1941. Después del servicio en el ejército durante la guerra se unió en 1946 a la división de transmisión de Standard Telephones and Cables en North Woolwich. Desde entonces su trabajo ha estado relacionado con los sistemas de repetidores sumergidos en el diseño eléctrico y en 1965 fué nombrado director de control de calidad de la división citada. Mr. Archibald es miembro del Institute of Electrical Engineers.

A. W. Batchelder nació en Inglaterra en 1918 y se unió en 1932 a Standard Telephones and Cables en North Woolwich. Después de tener un período de aprendizaje en la Compañía estuvo asociado con las operaciones de producción y planificación en fabricación de transmisión y microondas hasta Mayo de 1961 en que fué transferido a la división de sistemas de repetidores sumergidos. Llegó a ser director de fabricación de esta división en Enero de 1962. Mr. Batchelder es miembro de la Institution of Mechanical Engineers.

Equipo de supervisión de repetidores

R. D. WEBB
R. K. MORRIS

1. Introducción

En los sistemas de repetidores sumergidos es necesario tener facilidades de supervisión para observar la ganancia, ruido y distorsión a la salida de cada repetidor.

Algunos sistemas primitivos adoptaban el repetidor tipo N [1] que emplea el procedimiento de medida de tono continuo.

Este método emplea distinta combinación de frecuencias en cada repetidor. Su principal inconveniente consiste en no ser adecuado para gran número de repetidores, ya que las frecuencias de prueba ocupan un espacio valioso en el espectro de frecuencias del sistema. De otra forma este espacio podría utilizarse en canales de tráfico. Otra desventaja del método de pruebas de tono continuo es el tener todos sus repetidores distintos. (A cada repetidor del sistema corresponde una combinación particular de frecuencias). Existe así la dificultad de proveer repetidores de reserva.

El sistema actual utiliza repetidores tipo P con las mismas unidades de supervisión en cada repetidor. Requiere utilizar la técnica de impulsos haciendo la identificación de cada uno de los repetidores mediante una base de tiempo.

En la figura 1 se puede explicar mejor el funcionamiento de la sección de supervisión del repetidor.

Para medir la ganancia en bucle del sistema se envía desde el terminal "B" impulsos de la portadora f_c (3000 kHz), junto con un tono continuo, f_a (2720 kHz).

Estas frecuencias se han elegido de forma que resulte:

$$f_c - f_a = f_b$$

f_b (280 kHz) está en la zona más baja de frecuencia de transmisión del sistema, y así vuelve al terminal "B".

Los filtros f_a y f_c del repetidor están diseñados para la extracción de la frecuencia, f_c (3000 kHz) portadora del impulso, y la frecuencia, f_a (2720 kHz), del tono. Estas frecuencias están en el extremo superior de la banda de transmisión para que produzcan la mínima interferencia en los canales cercanos de tráfico.

El impulso de portadora se amplifica e inyecta en el modulador. El tono, f_a , se aplica también al modulador

que produce un impulso de frecuencia, f_b , de 280 kHz a la salida. Este impulso se envía al terminal "B" a través del amplificador principal y filtros direccionales. El procedimiento se repite en el circuito de supervisión de todos los repetidores del sistema. De este modo se recibe en el terminal "B" un impulso por cada repetidor. El tren de impulsos devueltos entra en un receptor selectivo de alta ganancia en el equipo de supervisión de repetidores sumergidos. Este circuito receptor se ha diseñado para utilizarlo junto con otro circuito de tiempo ajustable para medir el nivel de cualquier impulso de retorno. (También pueden hacerse las medidas automáticamente supervisando secuencialmente todos los repetidores del sistema en un solo barrido).

La velocidad de repetición de los impulsos de la portadora f_c , depende de la longitud del sistema, y se escoge para que llegue al terminal "B" el impulso de retorno f_b , desde el terminal distante; antes de transmitir el siguiente impulso de f_c . El ancho óptimo del impulso de f_c depende de la separación entre los repetidores en el sistema, y se puede escoger para impedir la superposición de dos impulsos de retorno recibidos desde los repetidores adyacentes.

Si se supone que los repetidores están separados a distancias aproximadas de 10 millas náuticas, y que el sistema tiene una longitud de 3000 millas náuticas, el impulso transmitido desde el terminal "B" tardará aproximadamente 60 ms en viajar hasta el terminal "A" y volver. El tiempo de propagación desde un repetidor al siguiente será de 200 μ s aproximadamente. (La velocidad de propagación en polietileno es de 105.000 millas náuticas por segundo aproximadamente).

Por estas razones, puede aconsejarse un ancho de impulso de la portadora de 50 μ s con un tiempo de repetición de 60 ms, aproximadamente.

Con objeto de disminuir las interferencias con los canales de tráfico adyacentes, el ancho de banda del impulso de la portadora se limita a 30 kHz. En realidad se convierte el impulso rectangular de 3000 kHz en un impulso sinusoidal de 3000 kHz (Fig. 2).

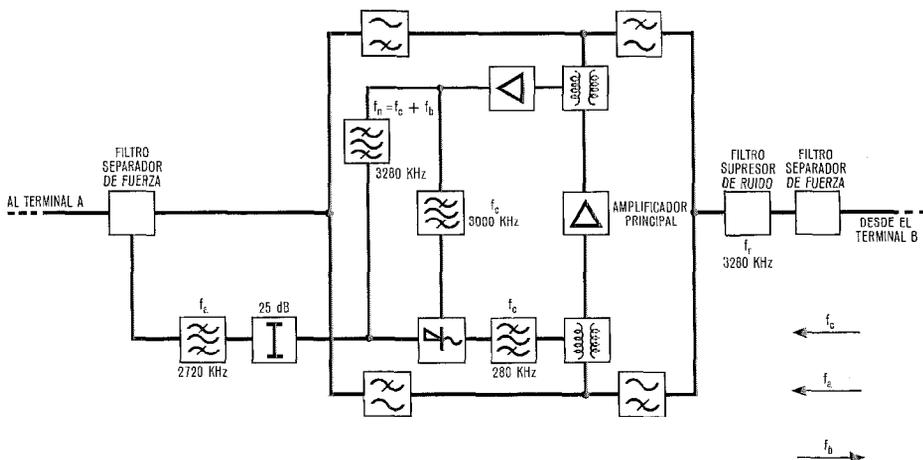


Fig. 1 Esquemático simplificado del repetidor tipo "P".

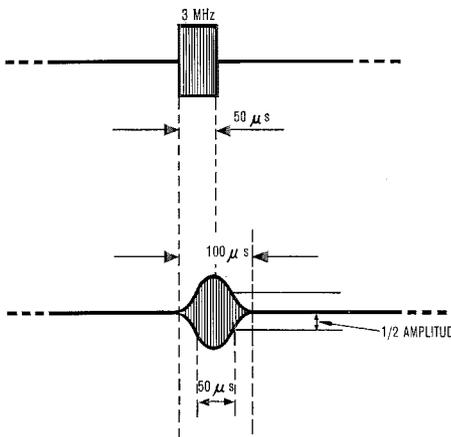


Fig. 2 Generación de impulso sinusoidal.

Es evidente que el impulso se deforma "estirando" sus extremos. El impulso resultante tiene un ancho de $50 \mu s$ entre los puntos de amplitud-media y de $100 \mu s$ en su base.

Puesto que ciertos fallos del sistema pudieran producir un aumento de ruido en un repetidor, deberá supervisarse la salida de ruido de cada repetidor y localizarse la posición del que produce un exceso.

Se elige la banda de ruido para que esté lo más próxima posible a la banda nominal de transmisión.

En cada repetidor se selecciona mediante un filtro la banda $f_n = f_c + f_b$, y se aplica al modulador, junto con el impulso de portadora.

A medida que el modulador recibe los impulsos de f_c , proporciona un tren de impulsos de frecuencia, f_b , en el extremo inferior de la banda de transmisión que se retransmiten al terminal "B".

Un filtro supresor de banda de ruido en la entrada de cada repetidor (a la frecuencia $f_n = f_c + f_b$) evita que el ruido generado en el repetidor anterior se sume a la medida del ruido del repetidor en cuestión.

Así se asegura que la medida de ruido en el terminal "B" corresponda a un solo repetidor. Deberá notarse que para medir el ruido no se envía el tono f_w , desde el terminal "B".

También hay que considerar algún otro factor en las medidas de ruido. Cuando no hay tono, f_w , la salida de ruido del filtro f_a en el circuito de supervisión del repetidor es proporcional al ruido total del sistema y contribuirá a la señal de ruido que se retransmite desde cualquier repetidor. Insertando un atenuador entre el filtro f_a y el modulador, únicamente se apreciará en el terminal "B" la medida de ruido obtenida en la banda f_n . Este atenuador evita también que se produzca interacción entre los filtros f_a y f_n , y reduce cualquier efecto que pueda tener la impedancia del modulador sobre el filtro f_a . Esto es importante ya que el filtro f_n es de paso de banda estrecha.

Por el filtro f_c pasan las frecuencias $f_c \pm 15 \text{ kHz}$, y para obtener la máxima señal de ruido, el ancho de banda del filtro f_n deberá ser lo suficientemente amplio para que el ruido pueda modularse con todas las componentes de $f_c \pm 15 \text{ kHz}$; pasando luego por el filtro de retorno del circuito de supervisión, f_b , que tiene también

un ancho de banda de 30 kHz. Por ello el filtro f_n tiene un ancho de banda de 60 kHz.

Se pueden hacer también medidas de distorsión de intermodulación de segundo y tercer orden.

Para las medidas de intermodulación de segundo orden se envían desde los terminales "A" y "B" las frecuencias f_1 (1306 kHz) y f_2 (1970 kHz). Estas frecuencias se eligen de forma que su suma esté comprendida en la banda de paso de ruido f_n , esto es:

$$f_1 + f_2 = f_n$$

La frecuencia portadora de impulsos también se transmite; la distorsión producida en cada repetidor se modula en la unidad de supervisión y se envía al terminal "B" mediante la frecuencia f_b .

El terminal "B" recibe así un tren de impulsos correspondiente a cada uno de los repetidores.

El filtro supresor de ruido en la entrada de cada repetidor evita que se sumen los productos de intermodulación de los repetidores anteriores a la distorsión del repetidor que se mide.

Las medidas de intermodulación de tercer orden se hacen de igual forma, excepto que las frecuencias f_3 (2625 kHz) y f_2 (1970 kHz) se transmiten al mismo tiempo desde el terminal "B". Se han escogido para que:

$$2f_3 - f_2 = f_n$$

y

$$f_n = f_c + f_b$$

Desde el terminal "A" se hacen las comprobaciones de linealidad del sistema (con la condición de fuera de servicio).

Para medir los armónicos de segundo orden, se transmiten desde "A", con alto nivel de salida, impulsos de frecuencia f_4 (1200 kHz); cualquier armónico obtenido de segundo orden retorna hacia "A" a la frecuencia $2f_4$ (2400 kHz).

Las medidas de armónicos de tercer orden se hacen transmitiendo desde "A" impulsos de frecuencia f_5 (800 kHz). Los armónicos producidos de frecuencias $3f_5$ (2400 kHz) retornan al terminal "A" de la misma forma.

$$2f_4 = 3f_5 = 2400 \text{ kHz.}$$

El equipo supervisor de los repetidores está colocado en los terminales "A" y "B" de cada uno de los enlaces del sistema.

El sistema comienza en Portugal con un terminal "A", después del primer enlace, en las islas Canarias tiene 2 terminales "B", en las islas de Ascensión después del segundo enlace, tienen 2 terminales "A" y al final en África del Sur otro terminal "B".

Como se ha dicho antes, las comprobaciones de ganancia en bucle, ruido e intermodulación se hacen con el S. R. M. E.* en el terminal "B", mientras que las comprobaciones de armónicos se obtienen con el S. R. M. E. en el terminal "A".

Los dos S. R. M. E.'s de los terminales "A" y "B" utilizan el mismo método de selección para supervisar el impulso de retorno desde cualquier repetidor particular del sistema. Las únicas diferencias esenciales entre el S. R. M. E. del terminal "A" y "B" consisten en las frecuencias generadas y las recibidas.

* System Repeater Monitoring Equipment.

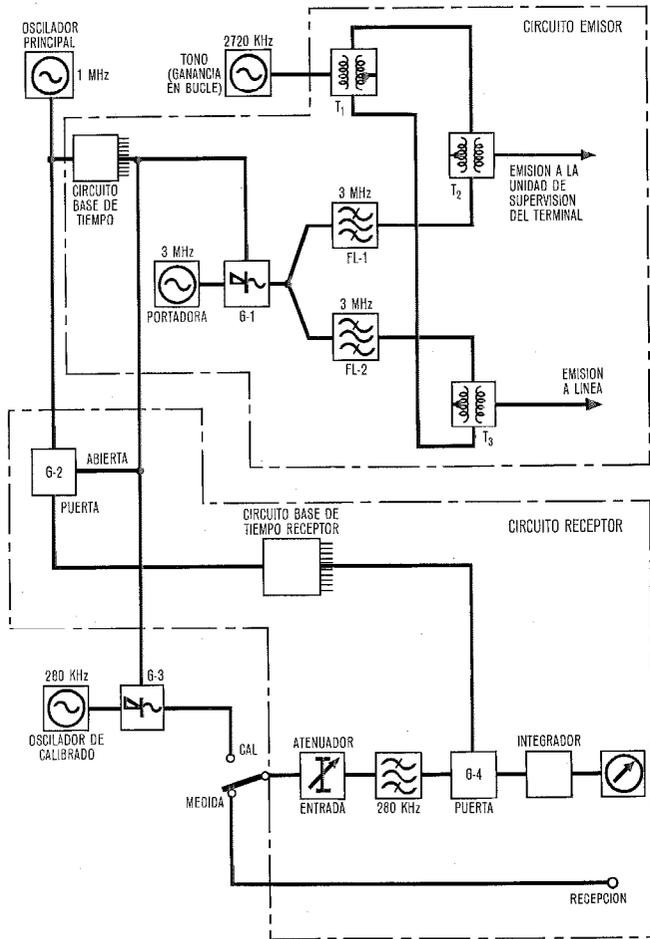


Fig. 3 Diagrama simplificado de bloque del S. R. M. E. del terminal "B".

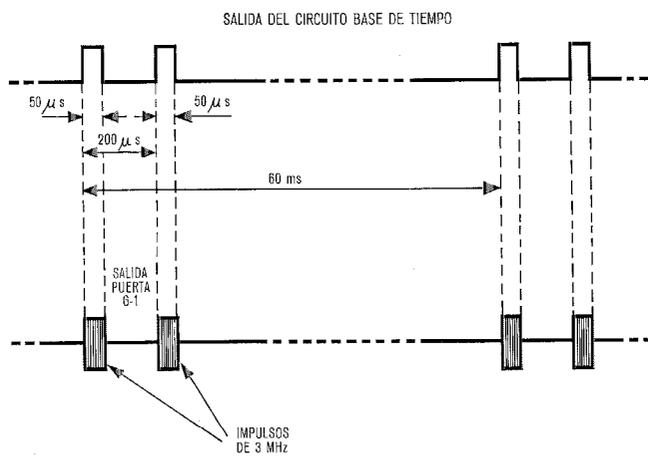


Fig. 4 Generación de impulsos para "terminal" y "línea".

Los S.R.M.E. están totalmente transistorizados, con muchos de los circuitos digitales. Se utilizan tarjetas de circuitos impreso, y cada S.R.M.E. se monta en un bastidor de 2,70 m de altura construido con la práctica de equipos tipo 62.

El S.R.M.E. del terminal "B"

En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques simplificado de este equipo (preparado para medir la ganancia en bucle).

El oscilador maestro de 1 MHz es de tipo de cristal controlado en horno, diseñado para obtener un alto grado de estabilidad de frecuencia de larga duración. (Esto es muy importante, ya que el oscilador maestro controla ambos circuitos base de tiempo, generador y receptor; como estos dos circuitos son digitales, cualquier cambio en la frecuencia del oscilador maestro afectaría a la base de tiempos de todo el equipo).

Circuito de emisión

En cada terminal del sistema, se ha dispuesto un circuito de supervisión local (igual al de los repetidores), que permite obtener comprobaciones en bucle del equipo terminal. El S. R. M. E. envía un impulso al terminal local previamente, y separado del impulso que manda a línea.

La salida del oscilador maestro de 1 MHz se inyecta en el circuito base de tiempo que produce dos impulsos de salida. Estos impulsos están separados por 200 μs* (nominalmente) y por el tiempo de repetición preajustado de 60 ms. Cada impulso tiene una duración de 50 μs aproximadamente. Estos impulsos se inyectan en el circuito puerta G-1 que interrumpe la salida del oscilador de portadora de 3 MHz. Se producen dos impulsos de 3 MHz que se inyectan alternativamente en la unidad de supervisión del terminal y en línea a través de los filtros FL-1 y FL-2 respectivamente (Fig. 3) y (Fig. 4). El impulso que se manda a la unidad de supervisión del terminal está siempre 200 μs adelantada respecto al impulso que se manda a línea.

El transformador híbrido T1 desvía el tono de 2700 kHz a dos circuitos. El primero está formado por el transformador T2, que combina la portadora de 3 MHz con la frecuencia de 2720 kHz antes de transmitir las a la unidad de supervisión del terminal. El segundo envía la portadora de 3 MHz junto con la frecuencia de 2720 kHz a línea, mediante el transformador T3.

Circuito de recepción

El circuito generador de base de tiempo envía un impulso al circuito para G3 al mismo tiempo que se inicia el primer impulso de 3 MHz. De esta forma hace arrancar al circuito base de tiempo receptor.

Si, por ejemplo, se trata de registrar el repetidor número 12 del sistema, el circuito base de tiempo-receptor se prepara para dar una salida cuando se reciba el impulso de retorno de este repetidor. De esta forma el circuito base de tiempo-receptor da un impulso a la salida con la misma frecuencia de repetición pero desplazado respecto al del circuito generador.

El impulso a la salida del circuito base de tiempo receptor abre la puerta G4 en el instante preciso para que el impulso número doce de línea, (en el ejemplo mencionado) pase al circuito integrador.

Por cada impulso enviado a línea, el impulso de retorno desde el repetidor número 12 es el único que pasa al circuito integrador. Este convierte el impulso en corriente continua constante de valor igual a la amplitud máxima

* Este tiempo se ajusta para compensar la última sección posiblemente corta del cable. El ajuste se realiza de forma que los tiempos de retardo entre la unidad de supervisión del terminal y primer repetidor, y entre repetidores adyacentes sean iguales.

del impulso. La corriente continua pasa al circuito de medida mediante un amplificador.

Debe observarse que, para medidas de ruido, se suprime el tono de 2720 kHz, y solo se envía la portadora de impulso de 3 MHz. En las medidas de intermodulación de segundo y tercer orden, el tono de 2720 kHz se sustituye por el oscilador u osciladores apropiados.

Los equipos S. R. M. E. en terminal "A" ó "B" se pueden autocontrolar completamente, y no requieren equipo auxiliar de pruebas (durante su calibrado o medida).

Cada equipo incluye un contador fabricado para medir frecuencias hasta 3 MHz con precisión de ± 1 Hz. Este contador puede también medir anchura del impulso (con precisión de $\pm 1 \mu s$). Esto es extraordinariamente útil para calibrar el equipo.

El contador puede medir también el tiempo de retardo (en μs) entre la transmisión a línea de un impulso y la apertura de la puerta en el circuito receptor. Esta medida en microsegundos da, en realidad, la posición del repetidor que se está registrando.

Para poder medir niveles de transmisión muy exactos se ha montado en cada S. R. M. E. un aparato de medida con termoelemento que se calibra en función del valor de una pila patrón Weston.

También se hizo un equipo de supervisión de repetidor para utilizarlo en el buque cablero durante las ope-

raciones de carga y de tendido del cable submarino. El equipo puede hacer comprobaciones del sistema como terminal "A" o "B", y como tal es muy importante como equipo de prueba durante las operaciones de tendido del cable.

Referencia

[1] F. Scowan y P. H. Poole, Anglo-Canadian Transatlantic Telephone Cable (CANTAT) Repeater Fault Location Equipment, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, volumen 110, nº 7, Julio 1963, págs. 1140—1142.

R. D. Webb nació en Newport, Monmouthshire, en 1940. Estudió en el Newport Technical College.

En 1961 obtuvo el H. N. C. (Higher National Certificate) de ingeniería eléctrica en el Newport & Monmouthshire College.

Comenzó su trabajo en la compañía como técnico auxiliar de laboratorio en 1956. En 1961 pasó a la oficina de ingeniería cuando terminó sus estudios.

Desde 1964 ha trabajado en el diseño y desarrollo de equipo de prueba para los sistemas de cable submarino.

R. K. Morris nació en Caerleon en Monmouthshire en 1944. Estudió en St. Julians High School.

Desde 1962 á 1966 estudió en el Welsh College de tecnología avanzada y obtuvo el grado B. Eng. (Tech).

Comenzó sus trabajos en la compañía en 1960 como estudiante en practicas, y se unió a la oficina de ingeniería en 1966. Desde entonces ha trabajado en el desarrollo de equipo de supervisión de repetidores sumergidos para los sistemas de cables submarinos.

Distinción

Ernst Kramar condecorado

En reconocimiento de sus "poco comunes realizaciones creadoras", el Prof. Dr. Ing. Ernst Kramar, Director de Standard Elektrik Lorenz AG (SEL), fué condecorado con la "Gran Cruz" de la orden del mérito nacional de la República Federal Alemana el 6 de Febrero de 1969.

Ernst Kramar nació el 15 de Junio de 1902 en Kladno, cerca de Praga, en Checoslovaquia. Entre 1920 y 1925 estudió ingeniería eléctrica en Praga en la "Deutsche Technische Hochschule" y en 1926 recibió el grado de Doctor Ingeniero del Barkhausen Institute de la Universidad técnica de Dresden.

Ingresó en C. Lorenz AG, en Berlín, la compañía predecesora de SEL, en 1927 y se ocupó inicialmente de la resolución de problemas de radio. Logró una expectación internacional en 1932 cuando "observado excepcionalmente por los expertos" empleó por primera vez frecuencias VHF en la historia tecnológica de los sistemas de radio navegación. Este último fué conocido en todo el mundo como "Lorenz Landing System". El Instrument Landing Systems (ILS) ahora instalado en casi todos los aeropuertos del mundo es un resultado directo de este trabajo de desarrollo, así como también las balizas VOR que proporcionan a los pilotos una información exacta de la ruta. También Ernst

Kramar desarrolló otros sistemas de dirección y de navegación para fines civiles y militares. Durante la guerra estuvo encargado del departamento de radar de SEL, y más tarde fué el jefe de desarrollo de sistemas radio en Pforzheim y Stuttgart. Desde 1959 ha tenido gran actividad como consultor científico de la dirección de SEL.

Las propuestas, inventos y desarrollos del profesor Kramar, que condujeron a 90 patentes aproximadamente, han encontrado el mérito público desde sus primeros trabajos. En 1937 fué premiado con la Lilienthal Medal, y en 1962 con la medalla de oro, de la "Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation" (asociación alemana para la dirección y navegación). Esto fué seguido de otros altos honores internacionales como el "Pioneer Award" del American Institute of Electrical and Electronics Engineers en 1964, y el "Thurlow Award" del Institute of Navigation.

El profesor Kramar tiene aún actividad como presidente y miembro de comités científicos internacionales. Es un profesor asociado de las universidades de Karlsruhe y Stuttgart donde da conferencias sobre ingeniería de radio, transfiriendo sus conocimientos y experiencia a las nuevas generaciones de técnicos.

Barco cablero - Carga - Tendido - Igualación

B. T. KNIGHT

1. Introducción

Después de estudiar numerosas alternativas se decidió que la cantidad de cable afectado podía tenderse mejor en cinco operaciones de tendido efectuadas por uno de los dos principales barcos cableros británicos, HMTS "Monarch" y CS "Mercury", propiedad del British Post Office y de Cable & Wireless, respectivamente. Finalmente, el CS "Mercury" fué fletado para los tendidos 1 y 2, que enlazan Ciudad del Cabo y Ascensión, y el HMTS "Monarch" para los tendidos 3, 4 y 5, que unen Ascensión a Sal, Santa Cruz y Lisboa. El CS "John W. Mackay", CCCo. (Marine) Ltd., fué fletado asimismo para instalar los extremos de costa y las placas de tierra y para colocar boyas e intervenir como buque piloto en los tendidos 1, 2 y 3, y para colocar boyas únicamente en el tendido 4 durante su regreso al Reino Unido.

A causa de la corta longitud de las secciones de cable, 9,8 millas náuticas, los dos barcos cableros principales se vieron obligados a llevar doble número de repetidores y de igualadores que en cualquier viaje anterior a plena carga. Además, la nueva técnica de los igualadores exigía que los dos extremos del igualador estuviesen conectados al cable durante la carga. Se emprendieron modificaciones considerables en ambos barcos en los estantes de repetidores, en las instalaciones de la sala de igualadores y en el enrejado de estiba.

Se les dotó también de nuevos equipos de alimentación para disponer de mayores voltaje y corriente de línea para el sistema.

2. Carga

2.1 Estiba del cable

La instalación de la cubierta de faena del "Monarch", por ejemplo, dispone de 4 estantes de repetidores, cada uno con una capacidad de 40 repetidores en cinco capas de 8 unidades; los estantes están inmediatamente delante de las bocas de salida de los tanques para cables (en los barcos cableros las bodegas son circulares con un cono central y se llaman tanques). Las secciones de cables se suben a bordo en orden inverso al del tendido y cada una se conecta a la siguiente mediante un cabo de enlace y un acoplador especial. El primer extremo que se embarca se lleva al equipo de alimentación de energía y se conecta allí, mientras que el cable se introduce formando espiras en el tanque correspondiente. El extremo fijo (al equipo de fuerza) se ata a los soportes de las espiras, bajando por un lado del tanque y el extremo libre se enrolla en capas planas acercándose y alejándose del costado del tanque al completarse cada capa. Cuando sube a bordo la unión de dos secciones, el extremo de la que acaba de cargarse (extremo superior) se deja fuera del tanque y se coloca el empalme de las dos secciones en el estante de repetidores que está detrás del tanque del cable. La sección siguiente se introduce en el tanque que hay a popa del estante de repetidores, sujetándose el extremo del empalme (extremo inferior) a los soportes de las espiras y bajando por el costado del tanque. El cable va metiéndose ahora en el segundo tan-

que. Después de introducir en el tanque último de popa una sección de cable, el extremo superior se vuelve a lo largo de la torre central de la cubierta de proa, (operación llamada transferencia hacia atrás), hasta el primer estante de repetidores y la sección siguiente se lleva al tanque precedente, y así sucesivamente hasta que se llega a una sección con igualador. Los igualadores se colocan en un estante especial contiguo a la sala de igualadores y el cable se dispone en este estante de forma que el igualador puede levantarse, incluso con el cable empalmado en sus extremos, hasta el dispositivo extractor de la sala de igualadores. Fué necesario tener un cuidado especial con las espiras con igualadores, ya que durante la carga los igualadores se trasladaban del estante a la sala de igualadores y al colocar posteriores espiras con igualadores era posible que se produjeran en el cable cruces o nudos.

A pesar del enorme número de espiras estibadas en el limitado espacio disponible en la cubierta de faena, la velocidad media de carga de cable que se consiguió fué de aproximadamente 75 millas náuticas cada 24 horas, cerca de 10 millas diarias mayor que la prevista, y el almacenamiento en los tanques fué lo bastante bueno para reducir el volumen necesario por milla náutica de los 2,04 m³ esperados a, entre 1,99 y 2,01 m³, según el tamaño del tanque. La figura 1 muestra la complejidad de una disposición de estiba de espiras casi terminada y el cuidado que hay que tener para evitar que se haga un verdadero "nudo gordiano".

2.2 Empalme

Cada vez que se coloca un par de extremos de cable en su estante de repetidores correspondiente, se tienen 2 empalmes más. Empleando cuatro equipos de empalme y trabajando en dos turnos de doce horas, el personal que empalmaba los repetidores al cable siguió el ritmo de carga del cable, consiguiendo una media de 17,5 empalmes cada 24 horas. Se hicieron radiografías de cada empalme desde tres ángulos y se le sometió a una prueba de ionización a 40 kV y a un examen visual riguroso.

2.3 Pruebas eléctricas

Todos los repetidores e igualadores fueron sometidos, una vez a bordo, a pruebas eléctricas de sus características de transmisión, resistencia en corriente continua, capacidad y resistencia de aislamiento. Se comprobó la resistencia en corriente continua y de aislamiento y la capacidad de las secciones de cable, en las que también se hicieron pruebas de eco con impulsos. Una vez empalmado un tramo entero de cable y repetidores, se comprobaron sus características de transmisión. El siguiente tramo se añadió al primero y se probó entre los hilos de prueba de los igualadores. También se probó el comportamiento de los dispositivos de supervisión de cada tramo y en algunos igualadores se ajustó durante la carga una red regulable con la ayuda de un dispositivo gráfico con barrido de frecuencia.

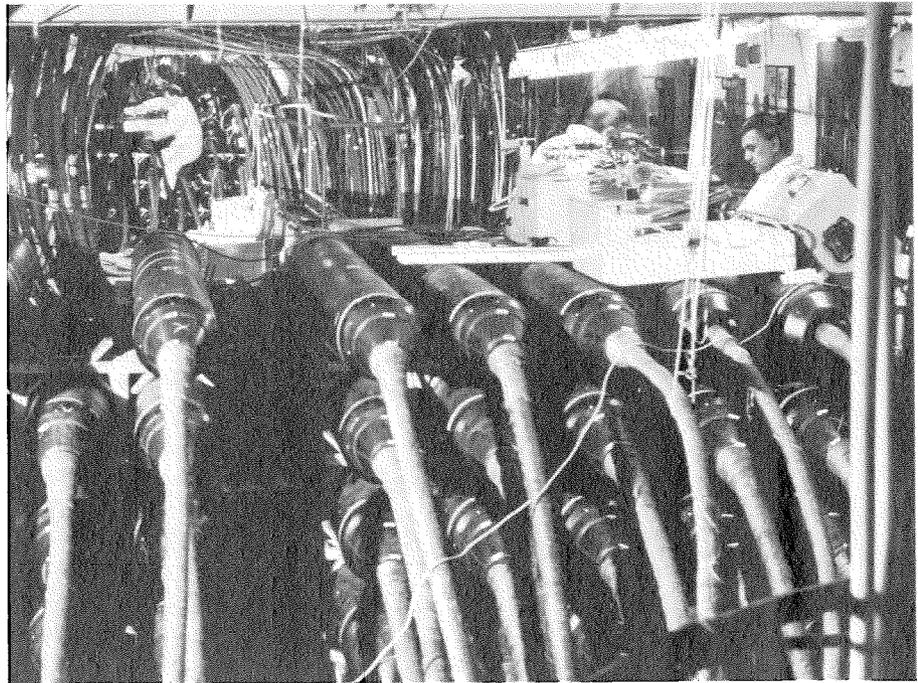


Fig. 1 Estiba de espiras o bucles de cable en el HMTS (Her Majesty's Telegraph Ship) Monarch.

2.4 Comentarios a la carga de sistemas de banda ancha

A causa del esfuerzo necesario para conseguir el mínimo tiempo de carga, que implica la coordinación de las velocidades de carga de cable, empalme y prueba de unidades, la manipulación de las muy numerosas y largas espiras de cable y el cumplimiento de las normas precisas de limpieza y estiba, se puso muy pronto en evidencia que una carga de esta magnitud es ahora para el personal que interviene de Standard Telephones and Cables mucho más árdua que el tendido, todo lo contrario de lo que ocurría anteriormente.

De hecho, el esfuerzo preciso se mantuvo durante todo el año y estas cargas han establecido nuevas normas en el tiempo de utilización de los barcos.

3. Tendido

3.1 El C. S. "John W. Mackay"

El Mackay colocó un total de 14 extremos de costa y placas de tierra durante los once meses que pasó lejos del Reino Unido con este proyecto. Colocó y recuperó unas 50 boyas de navegación y actuó como buque piloto en los dos tendidos que partieron de Ciudad del Cabo y Ascensión. Además realizó dos reparaciones muy difíciles, una en aguas profundas y otra cerca de la costa, en Ciudad del Cabo, en la que el buque "Somerset" de la armada sudafricana fué fletado y parcialmente tripulado por personal del Mackay.

3.2 Tendidos principales

El personal del barco se encargó de la navegación, de la colocación de repetidores, manipulación del cable y de las boyas, etc. El personal de STC a bordo, dirigido por el ingeniero encargado del proyecto, se dividió en tres grupos.

En primer lugar, dos ingenieros de la división de cables submarinos, responsables de la inspección, asistieron al tendido para asegurarse que el barco cumplía las exigencias de navegación y holguras establecidas en el planeamiento del sistema y también para inspeccionar todos los empalmes del cable que hiciera el barco. Al elegir el valor de la holgura, lo más importante es asegurarse de que se tiende suficiente longitud de cable para que éste se adapte al perfil del fondo del mar sin quedar suspendido en ningún punto, ya que un cable suspendido está bajo tensión y más expuesto a las averías por desgaste o flexión debido al movimiento de las aguas marinas. La holgura precisa, debe variarse según las pendientes del lecho marino y la dirección del tendido del cable, siendo necesario largar más cable, al recorrer una pendiente descendente que una ascendente. Este control, sin embargo, se hace más difícil cuando se tiende un cable ligero en profundidades de hasta 3 millas, porque puede no tocar el fondo hasta unas 20 millas a popa del barco cablero.

En segundo lugar, un grupo de prueba de transmisión compuesto por un supervisor de la sala de pruebas y tres turnos de dos ingenieros se encargó de las pruebas continuas de transmisión, con la costa, durante el tendido.

El equipo de igualadores formaba el tercer grupo, que comprendía dos proyectistas de igualadores y tres mecánicos encargados de cablear los circuitos y de abrir y cerrar la cubierta submarina de los igualadores.

La velocidad de tendido se fijó en 4,75 nudos, de modo que cada 24 horas se colocara un tramo con 12 repetidores y un igualador, ajustándose para el primer tramo de forma que el igualador se colocara a las 20:00 horas. Esta técnica tenía la considerable ventaja de que se estableció una rutina diaria y fué más fácil determinar el progreso de la instalación de igualadores. Solamente se

interrumpió una vez el avance de los tendidos principales, cuando faltando 300 millas para llegar a Ascensión y con 2.300 millas de cable a popa un pesquero de rastreo cortó el cable a 80 millas de Ciudad del Cabo y el "Mercury" tuvo que regresar a Ciudad del Cabo para hacer la reparación, lo que aumentó la duración del tendido en 16 días.

En el tendido final de Santa Cruz a Sesimbra el "Monarch" se encontró con un temporal de grado ocho con sobrevientos de hasta grado nueve. El tendido prosiguió con este tiempo durante tres días y medio sin desviación alguna del rumbo ni deterioro del trabajo de transmisión requerido, salvo considerables molestias para algunos miembros del equipo.

4. Igualación

4.1 Procedimiento básico (Fig. 2)

Se ajustó la pérdida de los igualadores por el método que se describe a continuación de forma que el nivel de entrada al repetidor siguiente al igualador fuera igual al nivel de entrada al primer repetidor a partir de la costa.

4.2 Medida

La pérdida de transmisión del sistema se midió entre el terminal y el punto de prueba del igualador en el extremo que estaba a bordo del tramo marino que se tendía. El punto de prueba del igualador tenía acceso a la línea a través de una red en triángulo que se separaba del igualador después de insertar las unidades variables. Durante todo el tendido se realizaba cada dos horas una medida M de la pérdida de transmisión a 80 frecuencias, normalmente después de haber colocado cada repetidor.

4.3 Cálculo de la EV (pérdida variable) necesaria en redes con igualadores regulables

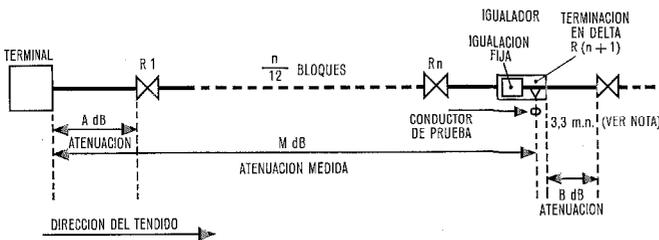
Siendo la medida M la pérdida de transmisión en dB entre el terminal y el punto de prueba del igualador (Fig. 2), la pérdida adicional EV necesaria entre la entrada de R_1 y las entradas de $R_{(n+1)}$ está dada por:

$$EV = -(M - A + B) - \Delta M - \Delta G + 6.0$$

donde

a) ΔM es la variación de la pérdida del cable durante el tendido, entre el momento en que se hace la medida y el momento en que $R_{(n+1)}$ entra en el agua. Esta variación se debe al cambio de temperatura y presión en el cable a medida que sale del barco y afecta a todo el cable por tender antes de $R_{(n+1)}$;

b) ΔG es la variación de ganancia debida al coeficiente de temperatura de los repetidores;



NOTA. —
m. n. = MILLAS NAUTICAS

Fig. 2 Procedimiento básico de igualación.

c) los 6.0 dB se deben a la eliminación del atenuador en triángulo;

d) EV es la pérdida necesaria que da el igualador variable;

e) n es un múltiplo de 12, es decir que $R_{(n+1)}$ es el primer repetidor que sigue a un igualador.

La igualación de cada tramo tiene en cuenta los errores residuales de los tramos anteriores que aparecen como parte de la medida en curso. A pesar de esto, no se permitió ningún incremento acumulativo del límite del error de igualación a medida que avanzaba el tendido.

4.4 Programa del procesador (Fig. 3)

Se empleó en el barco un pequeño procesador (equipo digital PDP 8) para deducir de la medida la EV necesaria del igualador variable. La característica de pérdida/frecuencia del cable fué bien determinada antes de comenzar el tendido y se introdujo en el programa en tres fórmulas para cada tipo de cable (25 mm y 11 mm). Cada fórmula era válida para una parte del espectro de frecuencia del sistema y se obtuvo para las condiciones de 10 °C y presión nula en cable. También se introdujeron en el programa fórmulas para calcular la atenuación B de la sección de 3,3 millas náuticas entre el igualador y $R_{(n+1)}$ y para compensar las pequeñas variaciones de atenuación del atenuador en triángulo, ya que éste resultó tener una característica de frecuencia. Como los coeficientes de pérdida/temperatura y pérdida/presión del cable son constantes con la frecuencia, el cálculo de la pérdida de una cierta longitud de cable a la temperatura

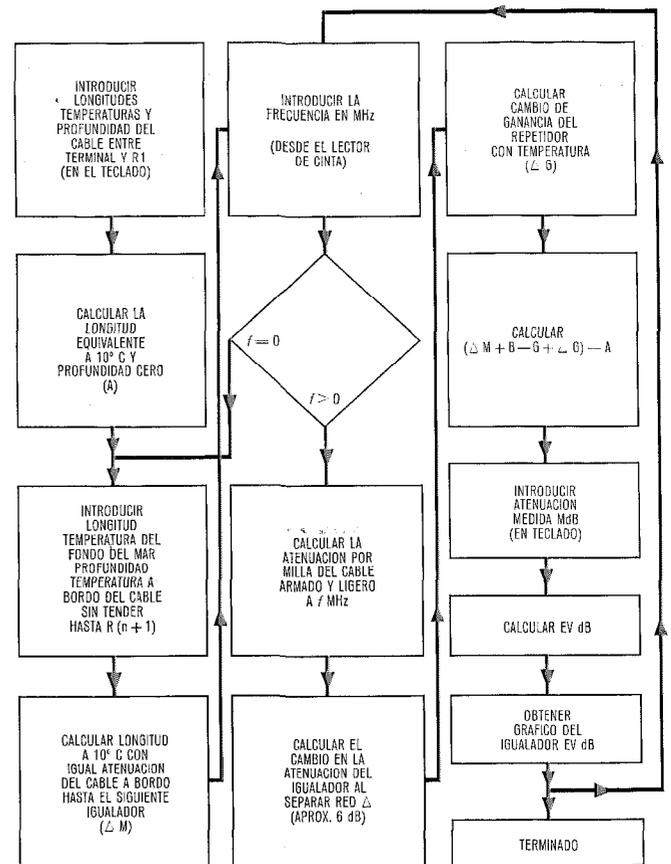


Fig. 3 Diagrama simplificado de secuencias del procesador.

y presión del fondo del mar se hizo calculando la longitud que daba la misma atenuación a 10 °C y profundidad nula. Esto evitó que figurasen los coeficientes de temperatura y presión en las fórmulas de la pérdida del cable en función de la frecuencia y simplificó el programa.

4.5 Resultados de los cálculos del procesador

Cuando se obtenía en la sala de pruebas cada medida de pérdida de transmisión se llevaba al procesador. La pérdida requerida del igualador que se obtenía de cada medida se comparaba con otras del mismo tramo. La estrecha correlación resultante estableció la precisión de los parámetros eléctricos empleados y del programa. El trabajo de determinación de la igualación pudo emprenderse a mitad de colocación de un tramo en la confianza plena de que no habría una variación significativa antes de que el tramo estuviese completamente tendido.

4.6 Obtención de redes de igualación variable

Se empleó un juego de componentes consistentes en 43 condensadores, 4 juegos de resistencias con 8 valores y 3 juegos de inductancias con 14 valores, que permitían un mínimo de seis redes bipolares con una pérdida de atenuación de 1 á 4 dB, más una o dos redes en T cuando se consideró necesario un perfeccionamiento de la impedancia.

Se había calculado previamente el comportamiento característico de 4 tipos de redes bipolares teniendo en cuenta el Q de las bobinas empleadas. Estos cálculos se hicieron a 0,30, 1,50 y 3,00 MHz y los resultados se representaron en hojas transparentes con una escala logarítmica de la frecuencia. En cada transparente se indicó la fórmula necesaria para el cálculo de los valores requeridos de los componentes.

En papel cuadrículado con las mismas escalas vertical y horizontal que los transparentes, se representó la característica de igualación considerada en la mitad del tramo que se estaba tendiendo.

Superponiendo los transparentes a este gráfico sobre un tablero luminoso se pudo seleccionar los circuitos adecuados para obtener la pérdida requerida. Se precisaba cierta habilidad para casar los gráficos, pero se adquirió pronto. Se entregaban los esquemas de los circuitos a los cableadores, elegían los componentes y hacían las conexiones de las cajas. Después de montar los anillos de las bobinas para obtener las resonancias correctas, se hacía una prueba de terminación de cada caja, se le ponía la tapa y se probaba de nuevo.

Una vez acabadas todas las cajas, se introducían en el igualador sin quitar el hilo de prueba y se medía y elaboraba por el procesador la característica de transmisión hasta el terminal. El resultado mostraba el valor residual después de la igualación y, si ésta estaba dentro de los límites fijados, se quitaba el hilo de prueba, se trasladaba el punto de medición al siguiente igualador de la línea y se cerraba y sellaba la cubierta submarina del igualador, que quedaba listo para su colocación.

La operación completa desde el principio del diseño hasta el precintado de la cubierta submarina llevaba unas 14 horas.

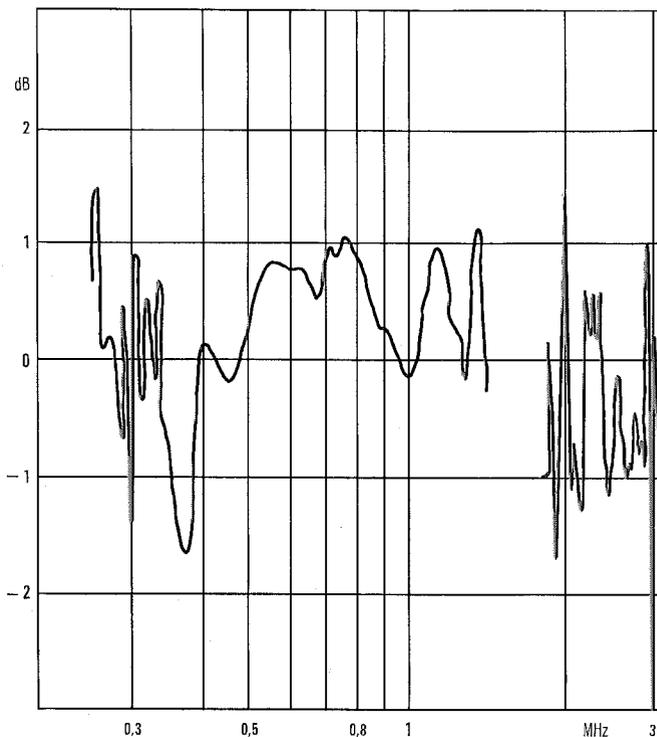


Fig. 4 Error de alineación en la igualación al final del segundo tendido.

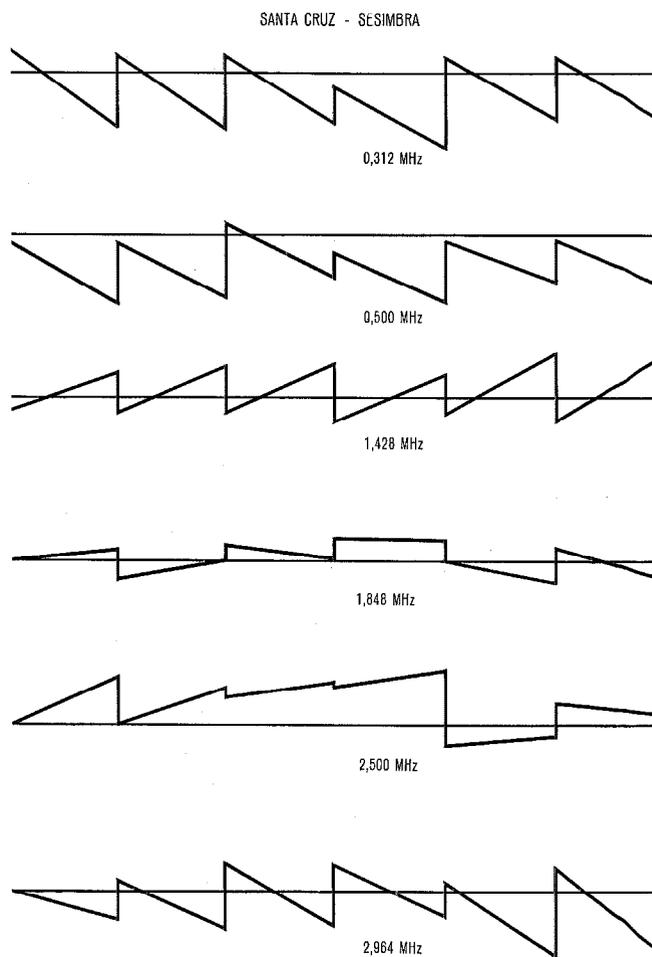


Fig. 5 Error de alineación de un tramo antes y después de la igualación.

4.7 Resultados

La tolerancia de alineación de los igualadores establecida por los laboratorios de diseño de repetidores sumergidos, era tal que el nivel después de la igualación al extremo de cada tramo no debía diferir en más de ± 4 dB del valor nominal, previéndose que algunas frecuencias se desviarían en ± 5 dB al final del enlace.

La figura 4 muestra el error del nivel de entrada a R_{265} después del igualador final del enlace Ciudad del Cabo—Ascensión. Todas las frecuencias de las bandas de tráfico, 312—1428 y 1848—2964 kHz, están dentro de $+1,45$ á $-1,65$ dB, mientras que las frecuencias de las bandas de supervisión, 265—295 kHz y 2985—3015 kHz, están dentro de $-1,0$ á $-3,0$ dB del valor nominal.

La figura 5 muestra la desviación del valor nominal de tres frecuencias en cada dirección de transmisión antes y después de cada igualador en el enlace Santa Cruz—Sesimbra.

Las dos figuras demuestran la capacidad de la nueva técnica de los igualadores para conservar el error de alineación del sistema dentro de $\pm 2,0$ dB para las frecuencias de tráfico en un sistema de 3 MHz con múltiples igualadores, resultado que contribuyó a la excelente característica de ruido del sistema.

B. T. Knight nació en 1935. Se graduó en ciencias generales en la Universidad de Londres en 1956.

Después de prestar servicio como instructor en la Royal Air Force ingresó en 1958 en STC y trabajó en los laboratorios de la división de sistemas de repetidores sumergidos en el diseño y desarrollo de repetidores e igualadores sumergibles.

Durante este período se vió también estrechamente implicado en la carga y el tendido de sistemas de repetidores sumergidos. En 1967 se convirtió en ingeniero de proyectos "senior" y ha intervenido directamente en la carga y el tendido de todos los más importantes sistemas submarinos de STC a partir de ese momento.

Premios

Michael C. Poylo, director técnico para normalización de las oficinas centrales de ITT, ha recibido una placa de la American Management Association. La placa grabada dice:

"Ofrecida a Michael C. Poylo en reconocimiento y apreciación de la extraordinaria y continuada contribución de sus servicios a AMA y a la filosofía de la educación, para la dirección y por la dirección, para lo que se ha fundado AMA. — Firmado, Alexander B. Trowbridge. — Presidente.

Le Matériel Téléphonique premiado en la persona de Philippe Lizon

El 12 de Febrero de 1969 se ha visto premiada la sociedad Le Matériel Téléphonique (LMT) con el diploma "Idée France" por haber realizado la fabricación de material de alta calidad distribuido por todo el mundo. El diploma fué entregado a Mr. Philippe Lizon por Mr. Yves Guéna, ministro de los PTT, quien puso de relieve la posición y realizaciones técnicas de la sociedad ante una numerosa asamblea de altas personalidades.

Entre otras importantes funciones, Mr. Philippe Lizon ocupa las de Presidente de LMT y desde 1º de Enero de 1968 es "Senior Officer" encargado de la coordinación de las compañías francesas de ITT, donde ha sido sucesor de Mr. Paul Quéfféléant.

Paul Y. Quéfféléant condecorado

El 18 de Marzo de 1969, el Ministro francés de PTT, Yves Guéna, concedió a Mr. Paul Y. Quéfféléant la orden del mérito nacional de Francia en su grado de comendador.

Paul Quéfféléant que entró como ingeniero en Le Matériel Téléphonique en 1927, tomó rápidamente más responsabilidades dentro de las compañías francesas del sistema ITT, empezando con la de adjunto al Director General de Le Matériel Téléphonique y del Laboratoire Central de Télécommunication. Sucesivamente fué presidente de la Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques (1962); Compagnie Générale de Métrologie — Métrix (1966), y Le Matériel Technique Industriel (1969).

Desde 1963 á 1968 hasta su retiro, ocupó la función de "Senior Officer" en Francia para la coordinación de actividades del grupo de ITT.

Durante su ocupación ha tenido posiciones destacadas incluyendo la de Presidente de varias asociaciones profesionales.

Paul Quéfféléant es capitán de la reserva del Ejército francés, oficial de la Legión de Honor, oficial de la orden de "Palme Académiques" y de la orden del Mérito Postal.

Equipo terminal

A. J. BENNETT
A. A. BAKER

1. Introducción

Se ha proporcionado equipo terminal de tierra para el cable submarino de Sudáfrica a Portugal en Melkbostrand, Isla de Ascensión, Sal, Santa Cruz y Sesimbra. El contrato incluye todo el equipo múltiplex necesario para la operación del sistema, además del equipo terminal especial asociado con el cable submarino. El equipo terminal suministra los medios para la utilización de la banda de frecuencias del cable submarino; la distribución de frecuencias para el tráfico y las facilidades de conservación se dan en otro artículo [1].

Podrá apreciarse que la disposición de supergrupos y grupos en la banda base del sistema se ha diseñado de tal modo que permite la utilización de los equipos normales de traslación de grupo y supergrupo con sus suministros de portadora asociados, proporcionando la posibilidad de interconexión con las redes interiores y otros sistemas submarinos en frecuencias de grupo, y en algunos casos en frecuencia de supergrupo. Esta posibilidad no puede aprovecharse completamente, si la red de tierra

no es adecuada para la transmisión de canales espaciados a 3 kHz como se emplean en los enlaces submarinos.

El equipo múltiplex, con excepción del de canales, y control automático de ganancia, es del diseño normalizado que se emplea en los cables coaxiales en tierra [2] y en este artículo se menciona únicamente su suministro. Se describe con más detalle el equipo de transmisión del terminal submarino que forma parte de cada enlace de cable.

2. Equipo terminal de la estación

Como ejemplo del equipo necesario en la estación terminal del cable submarino, se muestra en la figura 1 un esquema simplificado de la disposición en la isla de Ascensión. En éste puede verse la relación entre el cable submarino, equipo de alimentación de repetidores sumergidos [3], equipo de transmisión terminal y múltiplex.

A causa de los altos voltajes y de los dispositivos de protección que son necesarios, se incorporan en el equi-

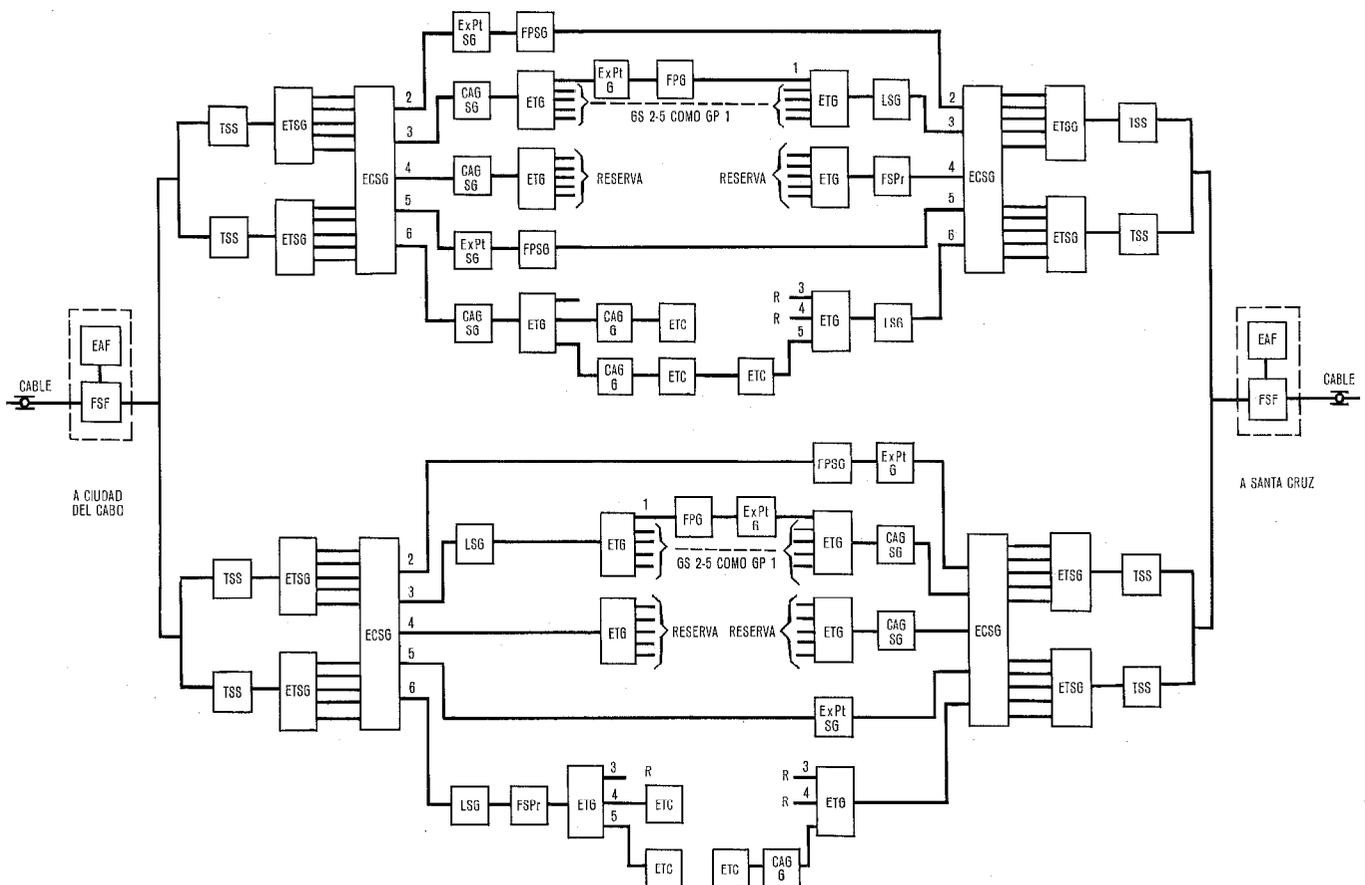


Fig. 1 Disposición de transmisión en isla Ascensión en la fecha de inauguración del sistema.

CAGG	Control automático de ganancia de grupo	ExPtSG	Extracción y observación de piloto de supergrupo
CAGSG	Control automático de ganancia de supergrupo	FPG	Filtro de paso de grupo
EAF	Equipo de alimentación de fuerza	FPSG	Filtro de paso de supergrupo
ECSG	Equipo de conmutación de supergrupo	FSF	Filtro de separación de fuerza
ETC	Equipo de traslación de canales de 3 kHz	FSPr	Filtro de supresión de portadora
ETG	Equipo de traslación de grupo	LSG	Limitador de supergrupo
ETSG	Equipo de traslación de supergrupo	R	Reserva
ExPtG	Extracción y observación de piloto de grupo	TSS	Terminal del sistema submarino

Equipo terminal

po de fuerza, la terminación física del cable submarino y los filtros de separación de fuerza que separan la alimentación de corriente continua del camino de transmisión principal.

2.1 Equipo terminal del sistema submarino

El equipo terminal del sistema submarino comprende todos los elementos de transmisión que forman parte del sistema submarino propiamente dicho, incluyendo los igualadores terminales, amplificadores y filtros, modulador y demodulador del sistema, junto con el siguiente equipo que se proporciona para ayudar al mantenimiento:

a) equipo piloto del sistema y del cable que permite una comprobación continua de los niveles e igualación del sistema;

b) equipo de canales entre supergrupos, que proporciona un medio de comunicación por telefonía y telegrafía entre el personal de mantenimiento de todas las estaciones de la ruta. En cada enlace están dispuestos cuatro canales de 2 kHz, uno de los cuales puede usarse para observar una banda de ruido de 2 kHz que permite una indicación inmediata de cualquier cambio en el comportamiento al ruido del enlace;

c) equipo piloto de comparación de frecuencias que permite el sincronismo de los osciladores principales en todas las estaciones;

d) equipo de observación de repetidores sumergidos [4] que facilita que sea comprobada la condición de operación de los repetidores individuales desde los terminales A y B. Se emplea una técnica de impulsos tal que no es necesaria una diferencia entre los repetidores, aparte de su posición.

Para proporcionar una gran fiabilidad comparable con la de los repetidores, sin recurrir a métodos especiales de fabricación, se duplica el equipo terminal de transmisión. Para asegurar una pérdida del tiempo de transmisión mínima, en el caso de una avería, los caminos tanto de transmisión como de recepción duplicados, incluyendo el equipo de traslación de supergrupo, tienen medios de cambio automático bajo el control de una frecuencia piloto.

Los circuitos de cambio automático de transmisión y recepción operan independientemente uno de otro.

La conmutación automática tiene lugar cuando el nivel del piloto en la vía que trabaja, observado a la salida del amplificador final de transmisión o del amplificador final de recepción, se desvía más de ± 3 dB, supuesto que el nivel de la vía de reserva está aún dentro de estos límites. No es practicable incluir todo el equipo terminal submarino dentro de la vía conmutada automáticamente, y los filtros direccionales, equipo piloto del sistema y canales entre supergrupos, que también están duplicados, se cambian manualmente por medio de conexiones en U.

2.2 Equipo múltiple

Para obtener un mejor uso de la anchura de banda de un cable submarino se ha aceptado la práctica de utilizar canales con separación de 3 kHz en lugar de la normal de 4 kHz, permitiendo un aumento del 33 % en la cantidad de canales en el cable. Infortunadamente, en muchos casos, las redes de tierra que se conectan a los cables

submarinos no son apropiadas para canales de 3 kHz, siendo entonces necesario llevar todos los canales a frecuencias audio en los terminales del sistema submarino. En otro artículo [5] se describe el equipo de canales de 3 kHz.

Para proporcionar la estabilidad necesaria, particularmente en el caso de circuitos en tandem sobre varios enlaces, se instala equipo de control automático de ganancia de supergrupo en el paso de recepción de cada supergrupo de la estación donde se demodula el supergrupo. Del mismo modo, en cada estación donde se demodula un grupo se utiliza control automático de ganancia de grupo. El equipo es similar al que se usa en las redes en tierra [1, 6] con excepción de la frecuencia piloto de referencia que es 444 kHz en cada supergrupo y 84 kHz en cada grupo.

El cambio de frecuencia es necesario por el uso de canales con separación de 3 kHz. El margen de control es mayor que ± 3 dB y la relación de control es mejor que 10:1 que es adecuada para compensar las variaciones debidas a los cambios en niveles de suministro de portadora, temperatura ambiente del terminal, voltajes de suministro, y temperatura del cable, supuesto que los efectos a largo plazo de la última, sean contrarrestados por igualadores de temperatura ajustables manualmente en el equipo terminal submarino.

Cuando un supergrupo o grupo está conectado a otro enlace a través de filtros de grupo o supergrupo, el piloto de referencia es solo para observación; esto facilita que cuando ocurre una anomalía en el nivel del grupo o supergrupo pueda atribuirse con facilidad a un enlace en particular.

Los filtros de paso de supergrupo son de diseño normal [1, 6], pero los filtros de paso de grupo están especialmente diseñados para ser empleados con canales de 3 kHz, con una banda de paso de 60,1 a 107,9 kHz. En las estaciones donde los supergrupos originan el paso de transmisión del supergrupo básico, se incluye un circuito limitador, cuyo propósito es asegurar que el nivel de pico de cualquier banda de supergrupo introducida, está dentro de los límites de carga del sistema como un conjunto, y para prevenir contra la posibilidad de que un tono de alto nivel aplicado inadvertidamente al supergrupo produzca interferencia y quizá interrupción del tráfico restante del sistema.

La generación de frecuencias del equipo que proporciona las portadoras de supergrupo, grupo y subgrupo, es del tipo que tiene un oscilador principal con frecuencia de 2,48 MHz [1, 6], con una estabilidad de frecuencia mejor que 3 partes en 10^8 por mes.

Puesto que los equipos de traslación de grupo y supergrupo son del diseño normal desarrollado originalmente para canales espaciados 4 kHz, tienen que considerarse algunos problemas que surgen de la separación de 3 kHz para los canales.

Con los canales separados 4 kHz, las fugas de portadora de grupo y supergrupo que son múltiplos de 4 kHz, caen fuera de las bandas de frecuencia individuales de los canales, pero con los canales espaciados 3 kHz alguna de estas portadoras caen dentro de la banda de frecuencias de un canal, apareciendo como tono audible.

El nivel de estas fugas de portadora es normalmente de unos -50 dBm0. Las fugas de portadora en esta categoría son 564 kHz y 612 kHz en las portadoras de grupo y 1116 kHz y 1364 kHz en las portadoras de supergrupo.

Puesto que las fugas de portadora de grupo están fuera de la banda del supergrupo básico de 312 a 552 kHz, pueden suprimirse por medio de filtros en el lado de salida de transmisión del equipo de traslación de grupo antes de que la combinación con los otros supergrupos tenga lugar. Se disponen entonces filtros, como se muestra en la figura 1, para asegurar que el nivel de estas fugas de portadoras está por debajo de -70 dBm0.

Las fugas de portadora de supergrupo no pueden eliminarse por filtrado, pero se espera que el nivel de estos tonos que pueden presentarse en solo dos de los 360 canales del sistema, esté por debajo de -55 dBm0, si es necesario por selección de diodos.

Esta disposición se ha hecho ahora normal para los grupos y supergrupos internacionales.

2.3 Formas generales del equipo

Todo el equipo terminal de transmisión es transistorizado, y las unidades individuales operan desde un suministro de c. c. de -20 V estabilizado. El suministro se obtiene de paneles montados en los bastidores del equipo, que están alimentados desde un suministro de c. a. monofásico de 220 voltios y 50 Hz, o bien desde un suministro de c. c. de 24 voltios. Estas unidades de fuerza proporcionan también -24 V c. c. sin estabilizar para operación de relés y lámparas de alarma.

Cuando el fallo de una unidad de fuerza produjera pérdida de circuitos, se dispone de unidades de reserva que están conectadas en paralelo con una, dos o tres unidades de trabajo. La puesta en paralelo se hace a través de diodos y el voltaje de salida de la unidad de reserva se ajusta de tal modo que normalmente entrega

menos corriente que la unidad de trabajo, pero es capaz de soportar la carga total de esta unidad en caso de avería.

El equipo de múltiplex está realizado en la modalidad de equipos Mark 6 con bastidores de doble profundidad [6]. El equipo terminal del sistema submarino está dispuesto en bastidores de simple profundidad que se montan adosados espalda contra espalda.

3. Equipo de transmisión del terminal submarino

Los párrafos anteriores dan una descripción general de un equipo terminal submarino completo, cubriendo la relación entre las distintas partes componentes. En el resto de este artículo se describe con mayor detalle el equipo de transmisión que forma parte del propio sistema submarino y que se nombra con frecuencia como equipo terminal definido.

3.1 Camino de transmisión principal

La figura 2 muestra con mayor detalle el camino de transmisión principal entre las entradas y las salidas de supergrupo del sistema submarino y el equipo de terminación del cable, en un terminal B, que transmite la banda de alta frecuencia (1848—2964 kHz) y recibe la banda de baja frecuencia (312—1428 kHz). El esquemático simplificado para un terminal A es similar, excepto en que no se suministra modulador del sistema en la vía de transmisión pero se pone un demodulador en la vía de recepción.

Todo el equipo de los caminos principales de transmisión entre el equipo de traslación de supergrupo y el equipo terminal de cable, en ambas direcciones de transmisión y recepción, está montado en un solo bastidor de simple profundidad y 2750 mm de altura que se conoce como bastidor terminal del sistema.

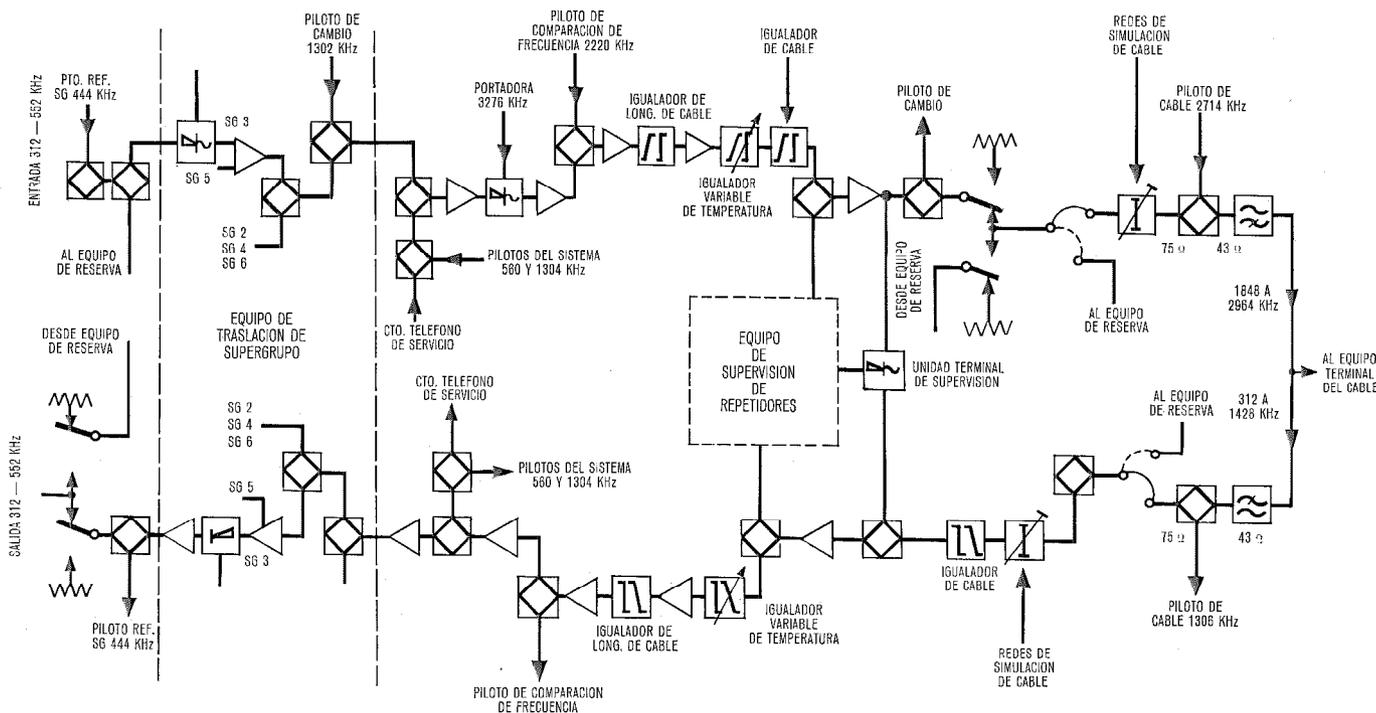


Fig. 2 Esquema simplificado del circuito de transmisión principal del terminal B.

Equipo terminal

Un bastidor terminal del sistema está dispuesto en cada extremo de cada tramo de enlace submarino y contiene los filtros direccionales que combinan las vías de transmisión y recepción en una sola vía a dos hilos, igualadores y amplificadores, el equipo de traslación especial de frecuencia necesario para pasar a o desde las frecuencias transmitidas sobre el cable, transformadores para acoplar la impedancia de 75 ohmios del equipo terminal a la de 43 ohmios del cable, y puntos de inyección y extracción de los distintos pilotos y frecuencias de prueba.

La figura 2 muestra la posición de estas unidades en el esquemático simplificado de transmisión. En este esquemático no se muestran los atenuadores de ajuste de nivel y los puntos de prueba.

3.1.1 Igualación

En las vías de transmisión y recepción de cada terminal se dispone igualación fija y variable.

La igualación fija está diseñada en la hipótesis de que la atenuación del cable entre el terminal y el repetidor sumergido más próximo es igual a las tres cuartas partes de la atenuación del cable entre dos repetidores adyacentes. Cuando la atenuación actual de la sección final es menor que los tres cuartos, se obtiene esta cantidad por medio de redes de simulación de cable en ambas vías de transmisión y de recepción. Una sección final de tres cuartos es la mayor posible a cada extremo del sistema.

Esta restricción de la sección final a los tres cuartos impide bajos niveles de recepción, reduciendo por ello el peligro de interferencias de radio. También tiene la ventaja de impedir altos niveles de transmisión, reduciendo las necesidades de linealidad y sobrecarga del amplificador transmisor, así como las exigencias de linealidad de los filtros direccionales, pero la realización actualmente conseguida deja algún margen para reparaciones en la sección terminal.

El esquema de igualación tiene en cuenta el hecho de que en la dirección de transmisión de alta frecuencia es necesario un preénfasis de 6 dB aproximadamente a la salida del amplificador del repetidor sumergido. Esto exige que se dispongan en el terminal de transmisión algunas redes de igualación del cable.

En la práctica la igualación planeada necesita modificarse por los errores acumulados en la igualación del sistema sumergido. Con este propósito se diseñan igualadores residuales y se construyen en cada sitio durante las pruebas del sistema. La igualación residual se divide adecuadamente entre los terminales de transmisión y los de recepción con objeto de obtener niveles en los repetidores sumergidos tan aproximados como sea posible a los niveles planeados, después de dejar alguna tolerancia para los defectos de alineación del sistema, basándose en las medidas de sobrecarga y ruidos del sistema sumergido.

Además de la igualación fija, se disponen igualadores variables manualmente en las vías de transmisión y recepción de cada terminal para facilitar que puedan hacerse ajustes que compensen los efectos de cambios de temperatura en la atenuación del cable. El efecto del

cambio de temperatura es aproximadamente equivalente a un cambio en la longitud del cable, y el igualador variable agrega o quita una igualación equivalente a una cantidad de cable. Puede variarse en pasos que corresponden a una longitud de cable que tiene una atenuación de $\frac{1}{2}$ dB a 2964 kHz sobre un margen total de ± 7 dB, pero en la práctica, será necesario solamente el empleo de una pequeña parte de este margen.

3.1.2 Amplificador terminal

Un solo tipo de amplificador se utiliza a través de la vía principal de transmisión. La ganancia del amplificador es aproximadamente 25 dB, pero una bobina híbrida para pruebas está dispuesta a la salida de cada amplificador para facilitar que las medidas de terminación se hagan sin abrir la vía principal, reduciendo así la ganancia efectiva a 22 dB.

El nivel de salida normal necesario desde el amplificador transmisor en el terminal B es -19 dB a 2964 kHz. Puesto que el sistema está diseñado para 360 circuitos telefónicos con un nivel medio final de -10 dBm0 por canal, la carga media en el ancho de banda es $+13,1$ dBm0, permitiendo 2,5 dB de reducción debido al preénfasis, y dando una potencia de salida en el amplificador de $-5,9$ dBm. La potencia sinusoidal eficaz equivalente del pico múltiplex es, por consiguiente, $+4,1$ dBm. Puesto que el nivel sinusoidal de sobrecarga del amplificador es $+21$ dBm, hay un amplio margen para variaciones de temperatura y reparaciones en la sección final.

El nivel de entrada normal al primer amplificador de recepción en el terminal A es -49 dBm. El amplificador tiene un factor de ruido de aproximadamente 7 dB relativos a -139 dBm por 3 kHz, así que la contribución del ruido térmico del amplificador al ruido ponderado en un canal de 3 kHz es aproximadamente -85 dBm0. Por consiguiente si el nivel de recepción cayera en 10 dB debido a los efectos combinados de la temperatura y reparaciones del cable en la sección final, la contribución al ruido térmico del primer amplificador de recepción sería todavía despreciable comparado con el ruido total del sistema.

3.1.3 Traslación de frecuencia

En los puntos de interconexión entre el equipo de traslación de supergrupo y el bastidor terminal del sistema, la banda de frecuencias ocupada por el tráfico telefónico es de 312 á 1428 kHz, correspondiente a los supergrupos 2 á 5 con la mitad del supergrupo 6.

En la dirección A á B esta banda se transmite sobre el cable, pero en la dirección B á A se traslada a la banda 1848 á 2964 kHz. La traslación se efectúa por un modulador en la vía de transmisión del terminal B y un demodulador en el camino de recepción del terminal A, empleando cada uno una frecuencia portadora de 3276 kHz.

El modulador y el demodulador son básicamente del tipo equilibrado en anillo, con una mejora en el circuito que asegura una función de conmutación más eficaz de los diodos que con el circuito convencional. El resultado de esto es mejorar el comportamiento desde el punto de vista de intermodulación.

3.2 Equipo especial de generación de portadora

La frecuencia portadora no normal de 3276 kHz necesaria por el modulador y demodulador del sistema se genera dentro del equipo terminal del sistema submarino, a partir de dos entradas de 12 kHz procedentes del oscilador principal de la estación.

Se utiliza una cadena de multiplicadores de frecuencia de los que se obtienen sucesivamente 36 kHz, después 468 kHz y finalmente 3276 kHz. Un amplificador final lleva el nivel de los 3276 kHz a + 24 dBm.

Los multiplicadores y amplificadores de salida están dispuestos por duplicado en cada estación terminal, con conmutación automática a la cadena de reserva en el caso de una avería en el circuito principal.

La salida de la cadena de trabajo está conectada a la unidad de distribución que consta de siete bobinas híbridas simétricas dispuestas para el suministro de 8 salidas de 3276 kHz al nivel necesario de + 13,5 dBm.

El número máximo de salidas empleadas en una estación es de cuatro, en un terminal doble, de modo que quedan disponibles algunas salidas de reserva.

Para detectar cualquier fallo en el nivel de salida de cada amplificador de 3276 kHz, un circuito amplificador/detector de alta impedancia está en derivación a la salida del amplificador. La salida de corriente continua del detector controla la operación del circuito de conmutación que es idéntico al utilizado para la conmutación del camino principal de transmisión.

La conmutación desde el circuito de trabajo al de reserva se realiza automáticamente si el nivel del primero cae en 3 dB aproximadamente, suponiendo que el de reserva esté normal.

3.3 Canales entre supergrupos

Para suministrar facilidades de comunicación entre las cuatro estaciones terminales de la ruta, se han provisto dentro del espectro de frecuencias del sistema cuatro canales adicionales.

Estos se han dispuesto en la banda de 8 kHz que está entre los supergrupos 3 y 4 y cada canal tiene un ancho de banda nominal de 2 kHz. Los canales se emplean para conversación o bien como portadores de circuitos telegráficos con modulación de frecuencia en la banda audible.

La utilización de los espacios entre supergrupos para los circuitos de conversación entre los operadores asegura el uso más eficaz de la anchura de banda del sistema y la obtención de circuitos con poco ruido. La penalidad que hay que pagar por estas ventajas es que los supergrupos adyacentes no pueden conectarse en tránsito en una estación terminal a través de filtros de paso de supergrupo. Es necesario llevar estos circuitos a las frecuencias básicas de grupo (60—108 kHz) para utilizar la mayor discriminación de los filtros de paso de grupo impidiendo la diafonía entre los circuitos de operador de los enlaces consecutivos del sistema.

La traslación de frecuencias desde audio a las frecuencias de línea que se produce en el equipo de canales de supergrupo se representa en la figura 3. La máxima banda de frecuencia de los canales es de 300—2200 Hz,

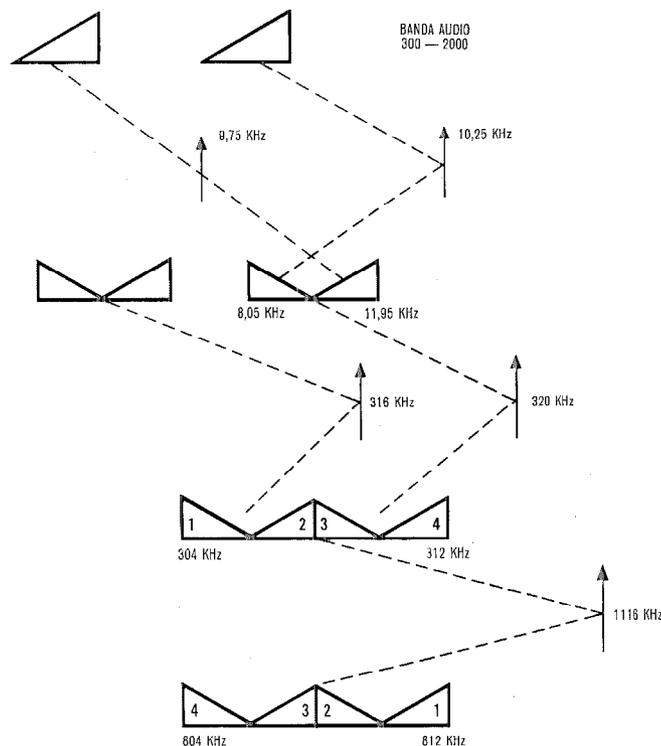


Fig. 3 Traslación de canales entre supergrupos.

pero se restringe la frecuencia superior de los dos canales exteriores hasta 1900 ó 1780 Hz por medio de filtros adicionales en frecuencia audio que pueden pondearse en el circuito cuando sea necesario. El filtrado adicional de estos canales es esencial cuando los supergrupos adyacentes tienen canales espaciados 4 kHz. Aunque este ancho de banda es menor que el considerado conveniente en un canal de conversación, la palabra es todavía inteligible y el ancho de banda es adecuada para 11 ó 12 canales telegráficos con modulación de frecuencia en lugar de los 15 que se obtienen en un canal sin restricciones.

El uso de tres etapas de traslación de frecuencia entre las frecuencias audio y de línea es necesario por la poca separación entre los canales haciendo necesario un filtro muy agudo. La anchura de banda normal de 300—2200 Hz se define por los filtros de audio en los paneles de canal. La característica necesaria para el corte se obtiene por medio de bobinas con núcleo de ferrita.

Se ha conseguido un grado elevado de supresión de salida de fuga de portadora (-70 dBm) de los moduladores a las frecuencias de 9,75 kHz, 10,25 kHz, 316 kHz, 320 kHz y 1116 kHz. Esto es necesario a causa de que cada una de estas frecuencias cae en un canal de conversación entre supergrupos o en un canal de tráfico cuando se emplean canales de 3 kHz. La portadora de 1116 kHz se obtiene del equipo de generación de portadoras de la estación, pero las portadoras de canal (9,75 kHz y 10,25 kHz) y de subgrupo (316 y 320 kHz) no pueden obtenerse como frecuencias normales y se obtienen de osciladores independientes controlados por cristal. La estabilidad de frecuencia necesaria para asegurarse de que el desfase de frecuencia en los extre-

mos es menor que 2 Hz se consigue operando los cristales en hornos con temperatura controlada.

Un aparato de observación de ruidos montado en el bastidor se suministra como parte del equipo terminal. Este puede conectarse a la salida de recepción de un canal intersupergrupo, cuando este último no es necesario con fines de la comunicación, para obtener una medida del ruido para el enlace en una anchura de banda típica de 2 kHz dentro del espectro de frecuencias del sistema.

3.4 Equipo de conmutación

Para asegurarse que el tiempo perdido debido a una falta en el equipo terminal se conserva en un mínimo, las vías de transmisión y recepción están duplicadas con facilidades de cambio automático entre el equipo de trabajo y el de reserva. La figura 2 muestra la posición de los relés conmutadores de alta velocidad, de las híbridas de combinación y de los puntos de conexión del equipo de reserva.

La conmutación está controlada por un piloto de 1302 kHz que se inyecta en cada vía de transmisión a la salida del equipo de traslación de supergrupo a un nivel de -20 dBm0. Puesto que el piloto está dentro de la banda base del sistema, pasa por el cable, y se utiliza en el terminal distante como un piloto de conmutación para la vía de recepción. Se impide que pase al siguiente enlace del cable por medio de un filtro de eliminación de banda de 310 kHz a la salida de recepción del supergrupo 5.

En la vía de transmisión el piloto es extraído tanto en el equipo de trabajo como en el de reserva a la salida del amplificador final de transmisión. En la vía de recepción se extrae a la salida del equipo de traslación de supergrupo.

El nivel del piloto se observa continuamente y se registra en estos puntos, y el piloto se alimenta también, después de una amplificación considerable, a los aparatos de control de conmutación que la efectúan cuando es necesaria. La señal piloto se convierte en un voltaje de corriente continua que se compara con un voltaje de referencia. Cuando el nivel piloto se desvía más que el límite previamente establecido en aproximadamente ± 3 dB, se opera un circuito de disparo por la diferencia de potencial desarrollada. La operación del circuito de disparo produce la de los relés conmutadores de alta velocidad. El panel de control de conmutación incluye un circuito de guarda que impide que se realice la conmutación si el nivel del piloto de conmutación del equipo de reserva está también fuera de límites.

La conmutación de la vía principal de transmisión se realiza por relés "reed" polarizados magnéticamente. El diseño de estos relés es tal que un par de contactos está siempre actuado hasta que la bobina de operación de los otros contactos se excita, produciendo la conmutación.

En el equipo se han dispuesto facilidades para que pueda hacerse la conmutación mediante la operación manual de una llave estable. La conmutación manual es necesaria en el caso de una avería en el equipo de tras-

lación de supergrupo (lo que se indica por una alarma, debido a la desviación del piloto de referencia de supergrupo de 444 kHz) que está incluido en el camino seleccionado por los relés de conmutación de alta velocidad pero no está vigilado por el piloto de conmutación. Esta disposición evita la complejidad de tener más de un piloto de conmutación, y tiene en cuenta el hecho de que una falta en el equipo de traslación de supergrupo es improbable que afecte a más de un supergrupo.

La especificación de equipo exige que la interrupción en la transmisión debida al cambio automático no debe exceder de 10 milisegundos y que la debida a la conmutación manual no debe exceder de 1 milisegundo. Los valores que se obtienen actualmente son muy aproximados a la mitad de los citados anteriormente. Casi toda la demora en la operación automática es debida a los filtros de extracción del piloto de conmutación.

3.5 Pilotos

3.5.1 Piloto de comparación de frecuencias

Para asegurar que el sistema cumple los límites dados por el CCITT para sincronismo de frecuencias en cada canal audio, principalmente que el error de frecuencia de cada canal producido en cualquier enlace no exceda de 2 Hz después de todas las etapas de modulación y demodulación, todas las frecuencias portadoras dentro de cada estación terminal se derivan de un oscilador principal, con una estabilidad de frecuencia mejor que 3 partes en 10^8 por mes, que está equipado en el terminal.

Para asegurar que los osciladores principales sean colocados inicialmente con el mínimo error de frecuencia, así como con el fin de que pueda efectuarse a intervalos regulares la comprobación y ajuste, se transmiten continuamente sobre el sistema frecuencias piloto de comparación.

En Lisboa y también en Ciudad del Cabo se dispone de una frecuencia de referencia y cualquiera de ellas o ambas pueden transmitirse sobre el sistema. La frecuencia de referencia en ambas estaciones es 60 kHz, y debe convertirse a una frecuencia apropiada para transmisión sobre el cable submarino, sin ayuda de moduladores, que podrían introducir errores debidos a otros generadores de frecuencia.

La frecuencia de línea del piloto de comparación en la dirección B-A de transmisión es 2220 kHz obtenido por medio de un multiplicador de frecuencia en el terminal B. El multiplicador genera una onda cuadrada de 60 kHz partiendo de la onda sinusoidal de salida que tiene un grado muy elevado de simetría para asegurar el contenido máximo de armónicos impares. El armónico 37 (2220 kHz), se extrae por medio de un filtro de cristal de banda estrecha, y se amplifica. El piloto se transmite sobre el sistema a un nivel de -20 dBm0.

En el terminal "A" los 2220 kHz se extraen de la vía de recepción por medio de un filtro de cristal de banda estrecha, y se alimentan a un divisor de frecuencia. El divisor utiliza principios digitales y consiste básicamente en una cadena de seis divisores binarios de modo que la relación natural de división es 64. Sin embargo, mediante la aplicación de bucles de realimentación entre ciertas

etapas, la relación actual de división se reduce a 37. El divisor no tiene paso libre en ausencia de una señal de entrada de modo que no hay posibilidad de una frecuencia de salida incorrecta.

En la dirección A-B la frecuencia de línea del piloto de comparación es 308 kHz. Esta se obtiene de los 60 kHz de referencia en el terminal A por medio de un convertidor de 60 a 303 kHz.

Este comprende dos circuitos divisores digitales, similares en principio al descrito anteriormente, con formas de salida rectangulares de la cual pueden seleccionarse los armónicos necesarios por medio de un filtro de paso de banda estrecha. El primer divisor tiene una frecuencia de salida fundamental de 20 kHz de la cual se selecciona el armónico 11 de 220 kHz y se alimenta a un segundo divisor que tiene una salida fundamental de 44 kHz de la cual se selecciona el séptimo armónico de 308 kHz.

En el terminal B los 308 kHz se sacan de la vía de recepción y se convierten a 60 kHz. El convertidor contiene un divisor con una relación de división de 11, seguida por otro con una relación de 7, con una forma de onda de salida rectangular de 4 kHz, de la cual se deriva el 15 armónico con ayuda de un filtro de paso de banda.

3.5.2 Pilotos del sistema y del cable

En los largos sistemas de cable submarino se ha llegado a la práctica normal de transmitir tres pilotos de mantenimiento en cada dirección de transmisión, dos asociados con el sistema como un conjunto y otro asociado con el cable. Los pilotos se transmiten sobre el sistema, cada uno con un nivel de -20 dBm0. Los dos pilotos del sistema están en puntos separados en el espectro de frecuencias y se utilizan para proporcionar una comprobación continua de la igualación del sistema de banda-base a banda-base. Las frecuencias en la banda-base son 560 kHz y 1304 kHz, y se convierten en 2716 kHz y 1972 kHz por el modulador del sistema en la dirección B-A.

El piloto del cable en cada dirección de transmisión se inyecta y extrae en puntos tan cercanos como es posible a la cabeza de cable, de modo que el nivel de recepción no está afectado por cualquier ajuste de nivel o igualación hechos en los terminales durante la vida del sistema, proporcionando un registro continuo de la atenuación del cable, mostrando los cambios debidos a la temperatura y revelando cualquier efecto de envejecimiento.

Las frecuencias piloto del cable son 2714 kHz en la dirección B-A y 1306 kHz en la dirección A-B.

Cada frecuencia del sistema y del piloto del cable se genera por medio de un oscilador independiente con gran estabilidad de frecuencia y de nivel. El nivel de salida de cada oscilador está vigilado y registrado continuamente. En los terminales de recepción los niveles del piloto se observan continuamente por medio de receptores selectivos y se registran.

Los niveles piloto pueden observarse en aparatos de medida con escalas abiertas con un margen entre -3 dB a +3 dB. En la alineación inicial del sistema, los circuitos de entrada de los receptores piloto se habrán ajustado

para dar lecturas tan cercanas como sea posible a 0 dB cuando el sistema está igualado correctamente. En cada receptor un relé marginal produce una alarma urgente si el nivel del piloto se desvía más de ± 2 dB del valor en la alineación.

4. Características del equipo terminal

La contribución al ruido de un terminal B más un terminal A, incluyendo cada uno el equipo correspondiente al mostrado en la figura 3, es menor que 100 picovatios ponderados sobre un canal de 3 kHz en un punto de nivel relativo cero, bajo condiciones normales de operación. Es así aproximadamente equivalente a la contribución al ruido de cinco repetidores.

Los niveles de trabajo de los amplificadores terminales se disponen de modo que además de cumplir las condiciones de ruido, el equipo terminal tenga un punto de sobrecarga ligeramente superior al de la línea. Esto permite, que si por cualquier razón durante la vida del sistema se hace necesario aumentar los niveles de transmisión, ello sea posible sin que el equipo terminal sea una limitación.

La respuesta atenuación frecuencia del sistema completo se conserva, por medio de los igualadores terminales, incluyendo los igualadores de terminación, dentro de 2 dB entre el máximo y mínimo sobre la banda de frecuencias de 312 a 1428 kHz.

5. Agradecimiento

Los autores desean agradecer la ayuda y la información suministrada por sus colegas en la división de sistemas de repetidores sumergidos de Standard Telephones and Cables Limited.

Referencias

- [1] A. H. Roche: Planificación y diseño para el sistema; en este número.
- [2] M. E. Collier, H. Lehnich, L. C. Deschuytere: Transistor Carrier Multiplex Equipments — Part I — Broad Design and Salient Features, Electrical Communication, Vol. 40, N° 1, págs. 34—37, 1965.
- [3] P. S. Kelly: Equipo de suministro de energía; en este número.
- [4] R. D. Webb, R. K. Morris: Equipo de supervisión de repetidores; en este número.
- [5] L. A. Tanner: Equipo de traslación de canales con separación de 3 kHz; en este número.
- [6] M. E. Collier: Transistor Carrier Multiplex Equipments — Part 2 — Deep-rack Construction (Mark 6 Multiplex).

A. J. Bennett nació en Londres el 2 de Abril de 1929. Recibió el grado B.Sc. en ingeniería eléctrica en el Queen Mary College, Londres, en 1950.

En 1953 ingresó en Standard Telephones and Cables y en 1954 se unió a un grupo de ingenieros que trabajaban en el desarrollo de sistemas de cable submarino.

Actualmente es responsable de la ingeniería del equipo terminal de la división de sistemas de repetidores sumergidos en North Woolwich.

Mr. Bennett es miembro de la Institution of Electrical Engineers.

A. A. Baker nació en Londres en Febrero de 1928. Después de dos años con el Royal Corps of Signal, se unió a la división de transmisión de Standard Telephones and Cables en North Woolwich y en 1958 empezó a trabajar en sistemas de cable submarino.

Es ahora jefe de un grupo de diseño de equipo terminal para sistemas de repetidores sumergidos.

Equipo de traslación de canales con separación de 3 kHz

L. A. TANNER

1. Introducción

El coste del equipo terminal múltiplex de división de frecuencia representa solamente una pequeña fracción del total para un sistema telefónico por cable submarino. Un incremento en esta pequeña fracción y cualquier complejidad que se agregue en el equipo terminal estaría justificada convenientemente si el sistema pudiera conducir mayor cantidad de canales telefónicos.

Es posible una mayor densidad de canales telefónicos para un espectro de frecuencias en línea, a expensas de una ligera reducción en la calidad de la palabra, reduciendo el ancho de banda del canal y haciendo más estrecha la separación entre canales que los 4 kHz hasta ahora especificados en los sistemas en tierra.

El equipo de traslación de canales con separación de 3 kHz que se describe en este artículo proporcionará esta economía de anchura de banda y puesto que es completamente transistorizado, ofrece una norma de fiabilidad comparable a la del sistema principal de cable submarino.

La economía en el esquema de ancho de banda del sistema fué formulada por el British Post Office [1] de acuerdo con otras administraciones que operaban con sistemas en cable internacionales, y basados en esto se han hecho unas recomendaciones provisionales por el CCITT [2]. Puede utilizarse para operación con el sistema TASI de interpolación de palabra [3] que exige que se cumplan ciertas condiciones de atenuación de la banda de paso del canal y límites del retardo. El empleo de un proceso de modulación en dos etapas y técnicas modernas de filtro LC, facilitan que se emplee el 95% de la banda de 3 kHz comparado con el 77,5% en los sistemas normales de banda de 4 kHz de modo que la reducción de la banda actual de palabra es solo del 9%. De este modo pueden disponerse 16 canales de conversación por traslación en la banda de grupo básico de 60 a 108 kHz.

2. Distribución básica del equipo

El equipo se ha dispuesto en bastidores de doble profundidad tipo STC Mark 6 (práctica de equipos del British Post Office tipo 62), descrito completamente en artículos anteriores [4]. Las figuras 1 y 2 muestran la distribución típica del bastidor principal y del dependiente. Una instalación completamente equipada consistiría de un bastidor principal y dos dependientes de 2,7 m de altura en el que se montan 14 grupos de canales. Sin embargo la distribución del equipo es flexible y cuando se necesita un número limitado de grupos, sólo es necesario equipar la cantidad de bandejas correspondiente. Posteriormente pueden agregarse con facilidad grupos de canales suplementarios.

3. Proceso de modulación

El proceso de modulación en dos etapas, por el cual se disponen 16 canales de audio en 4 subgrupos de 4 canales, se muestra en la figura 3 y un esquema simplificado total en la figura 4. Los problemas de diseño

de filtro de selección de canal y suministro de portadoras hacen obvia la elección de la doble modulación. Solo son necesarios 8 tipos de filtros y 8 frecuencias portadoras comparadas con las 16 de cada una si se emplease la simple modulación. La discriminación contra los canales adyacentes se realiza ahora por filtros de selección de canal de banda estrecha con unas características bien definidas de atenuación en la banda supre-

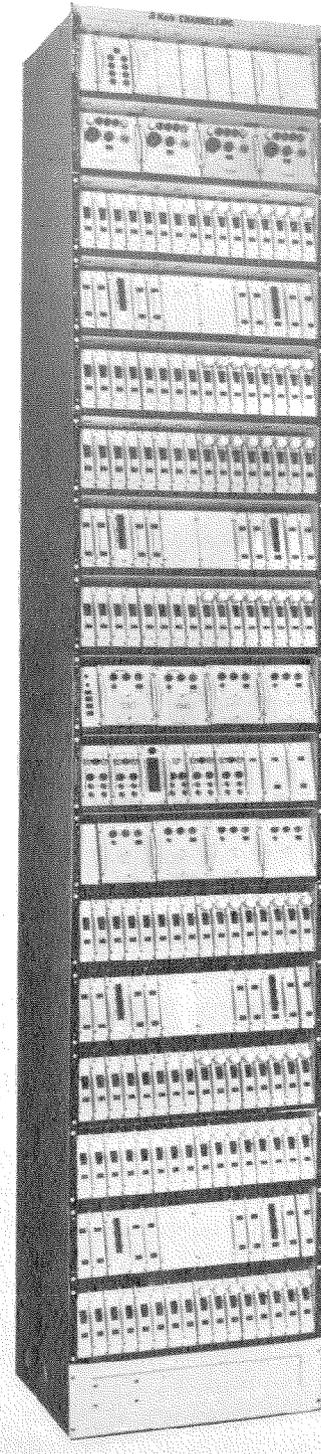


Fig. 1 Bastidor completamente equipado con 4 grupos de canales más los subensambles de distribución de piloto y portadoras.

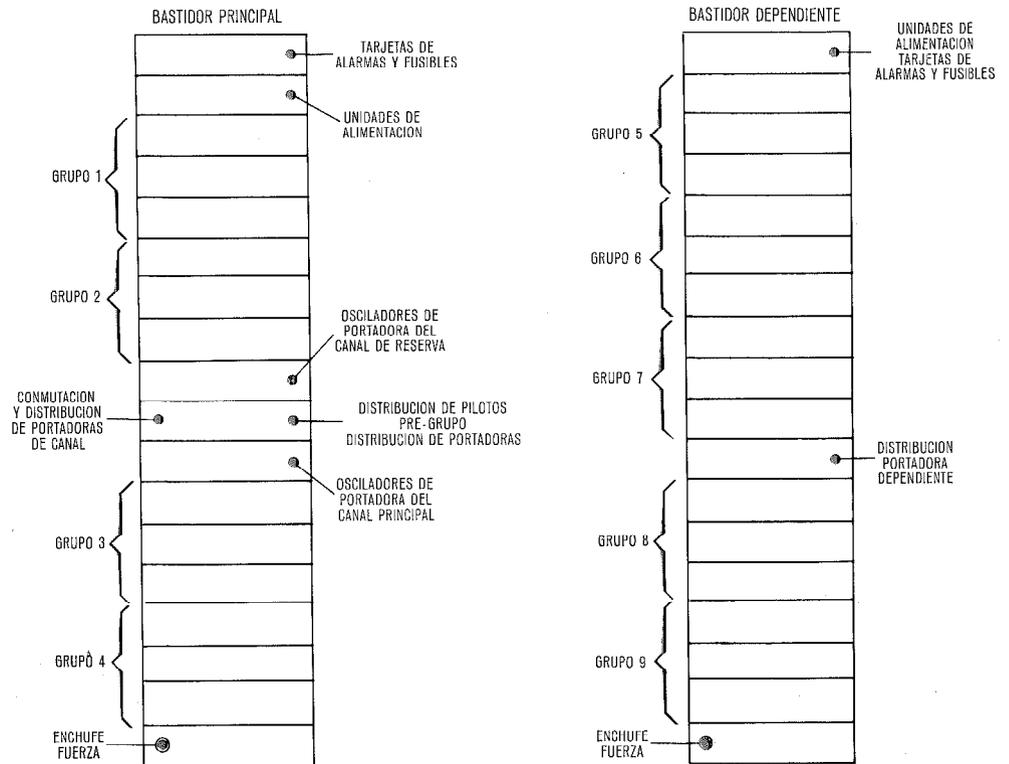


Fig. 2 Disposición típica del equipo para bastidor principal y dependiente de 2,7 m de altura.

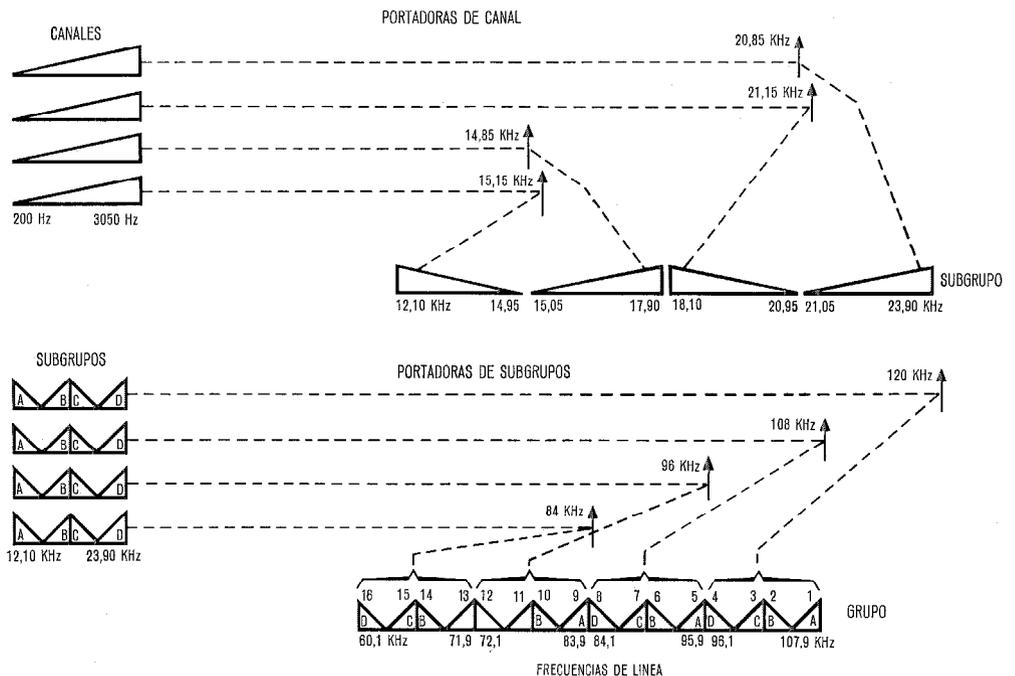


Fig. 3 Proceso de modulación en dos etapas.

sora para limitar la distorsión de retardo de grupo. El problema de cumplir estas dos condiciones que se contradicen y mantener el rizado de la banda de paso dentro de estrechos límites se facilita empleando la selección del canal principal a frecuencias de subgrupo relativamente bajas respaldadas por filtros de audio de paso alto y paso bajo en cada canal. Los diseños actuales de filtro son excelentes, pero los diseños con ayuda de computadores han ayudado a conseguir la realización

óptima con el mínimo número de componentes. La figura 5 muestra las características totales del filtro de canal típico con las líneas límite del CCITT superpuestas en la respuesta en la banda de paso.

Con la inversión alternada de la banda de canal todas las degradaciones producidas por los bordes de los filtros de supresión de piloto y de paso de grupo están confinadas al extremo de alta frecuencia de los canales y están disminuidas subjetivamente. Las fugas de porta-

Equipo de canales de 3 kHz

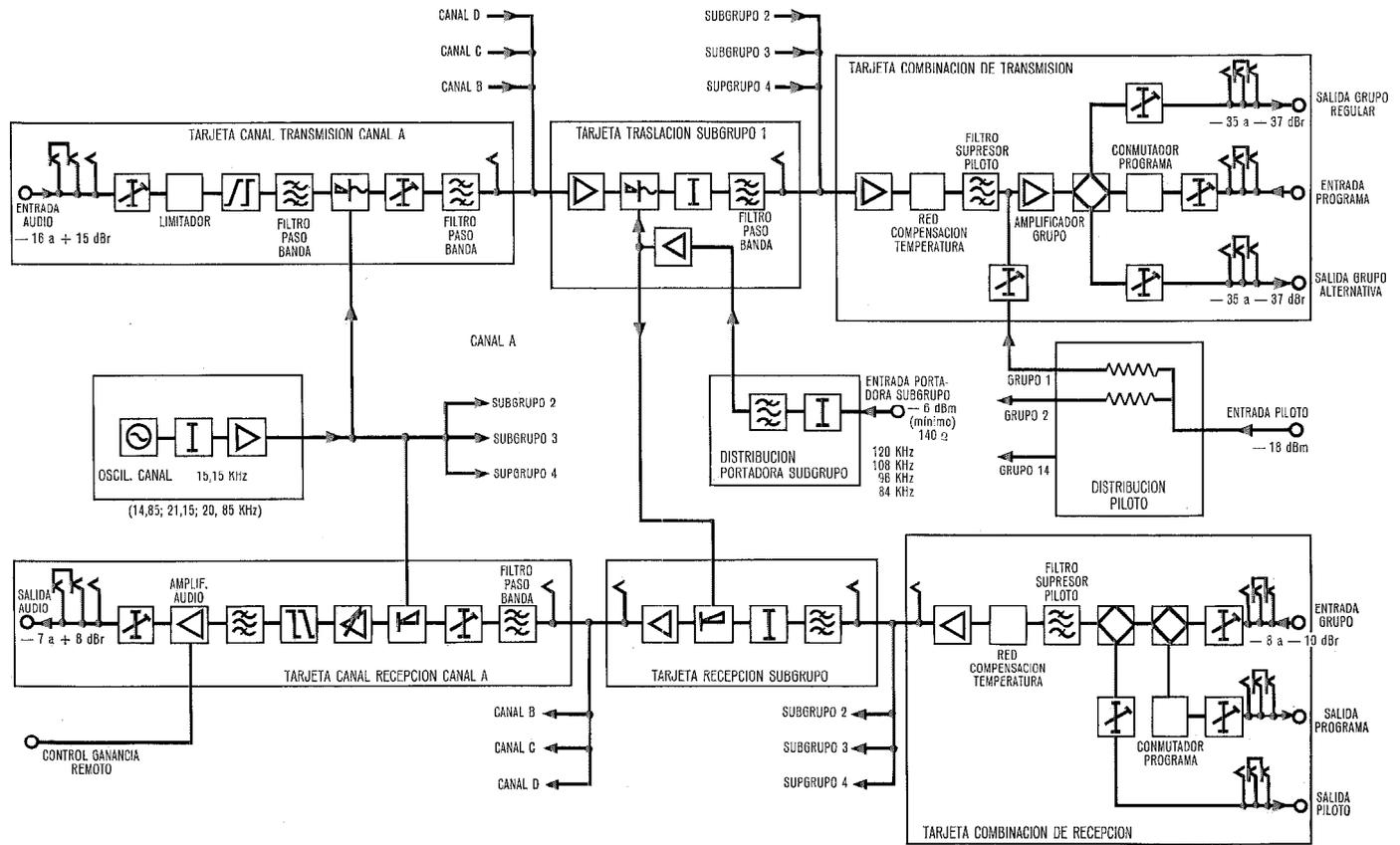


Fig. 4 Esquemático simplificado del equipo de traslación de canales de 3 kHz.

doras de canal requieren ahora una supresión muy rigurosa porque aparecen con la frecuencia de 300 Hz en otros canales.

Las frecuencias portadoras de canal, no están relacionadas armónicamente y necesitan generación independiente. Las necesidades de estabilidad de frecuencia se facilitan en proporción con las relativamente bajas frecuencias que son necesarias. Las frecuencias portadoras de subgrupo escogidas (84, 96, 108 y 120 kHz) existen normalmente en las estaciones telefónicas terminales aunque se aplica una depuración adicional para evitar que los productos indeseados espaciados 4 kHz caigan ahora en la banda de paso de otros canales.

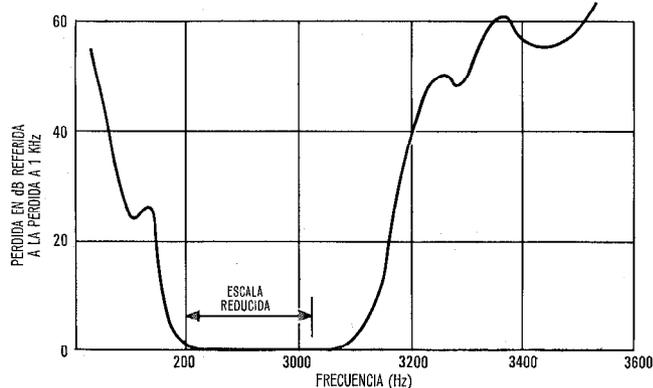
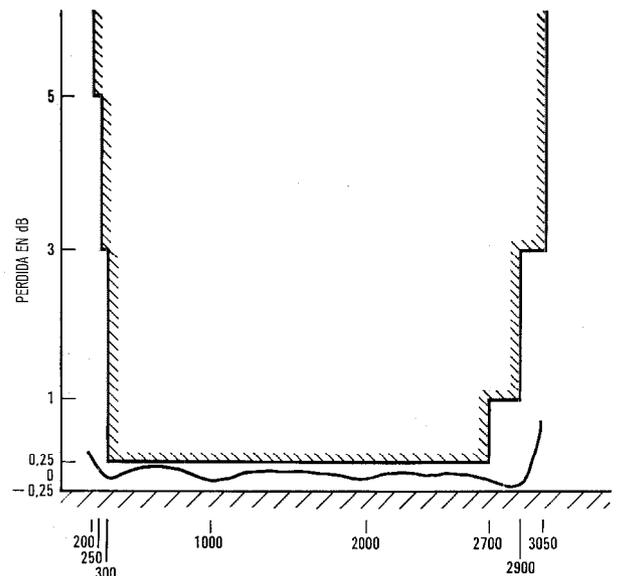


Fig. 5 Curvas de respuesta de un filtro típico de selección de canal en la banda de supresión y en la banda de paso con los límites del CCITT superpuestos.

4. Características del diseño eléctrico

4.1 Circuitos de traslación

Después de la forma inicial del canal para definir la banda de paso de 200 a 3050 Hz, cada uno de los cuatro canales de palabra A, B, C y D que forman un subgrupo, se modula con las portadoras específicas de canal en la banda de 12 a 24 kHz con una selección alternada de banda lateral superior y banda lateral inferior. Las bandas laterales inferiores se seleccionan desde la modula-



ción siguiente con portadoras de subgrupo especiadas 12 kHz y se combinan para formar la banda de grupo básica de 16 canales desde 60 á 108 kHz. Las necesidades de los filtros para supresión de la portadora de canal se simplifican por la utilización de moduladores, doblemente equilibrados de tipo serie con transistores simétricos que proporcionan consistentemente bajo nivel de fuga de portadora sin que sea necesario un ajuste del equilibrio y dan una gran estabilidad en el nivel de salida de la banda lateral con cualquier variación del nivel de portadora. Los canales y los subgrupos se combinan por medio de redes activas, que presentan un grado muy elevado de aislamiento eléctrico de las otras ramas, de modo que los canales individuales, e incluso los subgrupos completos, pueden sacarse del tráfico para el servicio con un efecto despreciable en los restantes canales.

En la dirección de recepción, la traslación del grupo entrante en 16 canales audio individuales se realiza por un proceso correspondiente en orden inverso. Un control de ganancia del amplificador audio da un ajuste del nivel de recepción dentro de un margen de ± 3 dB, que puede extenderse todavía $\pm 1,5$ dB por un potenciómetro de control remoto, montado por ejemplo, en un cuadro de pruebas centralizado.

4.2 Facilidades de programa

Si es necesario, un canal de programas de radiodifusión con ancho de banda de 5, 8 ó 12 kHz puede introducirse y extraerse por medio de una unidad combinadora con bobinas híbridas. Con esta finalidad bandas de frecuencia normalmente ocupadas por un grupo de 2, 3 ó 4 canales pueden seleccionarse de los canales números 5 á 12, que se hacen entonces inoperativos para telefonía desconectando las portadoras correspondientes de canal por una conmutación a distancia. Existe la posibilidad de aplicar también esta facilidad para transmisión de datos de gran velocidad, puesto que las interferencias

de fugas de portadora presentes en la banda son despreciables.

4.3 Pilotos de referencia de grupo

En cada bastidor está montada una unidad de distribución de piloto alimentada por un suministro exterior, que permite la inyección del piloto de grupo a un nivel nominal de -18 dBm en 75 ohmios. La frecuencia piloto normal elegida para estos sistemas es de 84 kHz, situada entre los canales 8 y 9; se han dispuesto filtros de supresión de piloto, que están centrados a esta frecuencia, en los puntos de inyección y extracción del piloto en la parte de los canales, para suprimir la interferencia mutua entre el piloto y los canales.

4.4 Generadores de portadora

Los osciladores de cristal locales de suministro de portadoras de canal (Fig. 6) se mantienen dentro de $\pm 0,1$ Hz en un margen de temperatura ambiente de 10 á 40 grados centígrados por medio de un horno de termostato. Las frecuencias portadoras pueden ajustarse con un margen de $\pm 0,02$ Hz de la frecuencia nominal, en el período de vida que se espera del equipo. Cualquier avería en la salida de portadora o en el horno produce una alarma con una conmutación a los generadores de reserva. Estos pueden suprimirse en instalaciones pequeñas, cuando el número de canales que se pierde al fallar la portadora es pequeño. Las unidades de alarma y conmutación pueden eliminarse para el servicio en tráfico, con conectores en U montados en un panel de distribución de portadoras. En esta condición, una conexión de alarma de portadoras realiza una función de vigilancia.

4.5 Suministros de fuerza

Se han dispuesto los suministros de fuerza de tal modo que una avería de una unidad de alimentación no produce fallo en ningún canal, pues la carga adicional se transmite inmediatamente a una unidad de alimentación de reserva. Una unidad de alarma de fusibles indica el

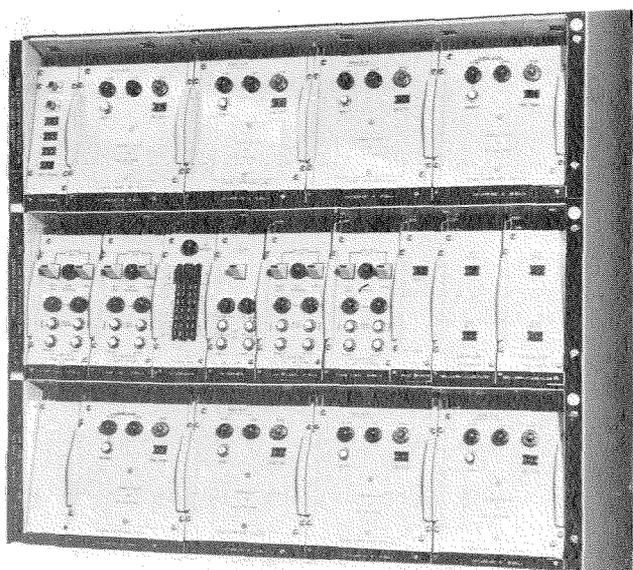


Fig. 6 Generadores de portadoras principal y de reserva con la vigilancia de portadoras en el centro y paneles de distribución.

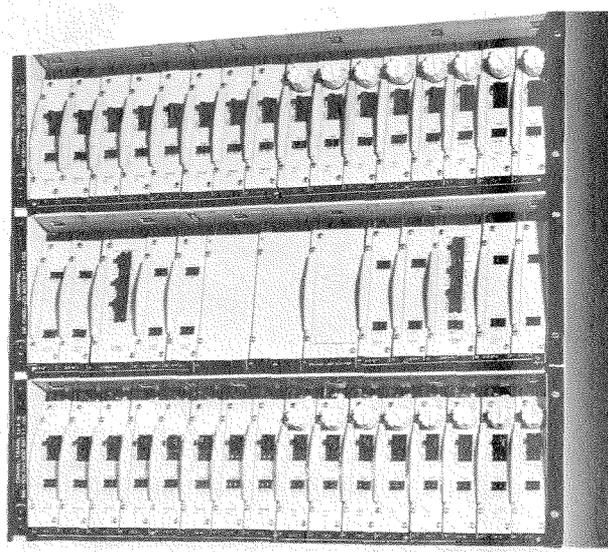


Fig. 7 Tres subsambles que forman un grupo de 16 canales.

generador de fuerza en avería. Si las líneas de suministro de portadora están afectadas, se verifica inmediatamente una acción de conmutación de modo que los circuitos no se interrumpen por un plazo mayor de 100 milisegundos.

5. Disposición del equipo

Se ha tenido mucho cuidado en disponer el equipo de cada placa de canal y el subarmazón del grupo de canales de tal modo que disminuya todos los caminos posibles de acoplamiento que causen diafonía, interferencia de tonos de portadora o de otras frecuencias extrañas. La figura 7 muestra que las tarjetas de transmisión y recepción de los subgrupos de canales y unidades combinadas están dispuestas en los lados opuestos del centro del subarmazón, de modo que el alambrado de transmisión y el de recepción esté separado tanto en los subarmazones como en el grupo principal. Los bajos niveles de diafonía de transmisión a recepción, entre canales y entre grupos que se han conseguido en este equipo (normalmente por debajo de -90 dBm0) han justificado completamente esta disposición.

6. Conclusión

El principal objetivo en el diseño fué introducir un equipo de traslación de canales de 3 kHz de gran fiabilidad, muy flexible en operación y fácil de instalar y mantener. También se ha incorporado en el diseño una gran estabilidad de ganancia contra la temperatura, humedad y envejecimiento de los componentes, utilizando reali-

mentación negativa y técnicas de modulación y combinación de canales de gran estabilidad. Así se ha reducido el número de ajustes de nivel del sistema en servicio y se ha conseguido un grado muy elevado de uniformidad en las características de comportamiento.

El empleo de estos sistemas de canales no está necesariamente limitado a los enlaces por cable submarino. Pueden también aplicarse económicamente a grandes enlaces intercontinentales compuestos, por ejemplo, de enlaces troposféricos o largas rutas terrestres o en resumen, a cualquier otro sistema en el que el medio de transmisión sea muy costoso.

Referencias

- [1] H. B. Law, J. Reynolds y W. G. Simpson: Channel Equipment Design for Economy of Bandwidth, Post Office Electrical Engineers Journal, Vol. 53, Nº 2, Julio 1960.
- [2] CCITT Third Plenary Assembly (Ginebra 1964), Blue Book, Vol. 3, Recommendation G 235 for 16-channel terminal equipment.
- [3] K. Bullington y J. M. Fraser: Engineering Aspects of TASI, Bell System Technical Journal, Vol. 38, pág. 353, Marzo 1959.
- [4] M. E. Collier: Transistor Carrier Multiplex Equipments Part 2 — Deep Rack Construction (mark 6 Multiplex), Electrical Communication, Vol. 40, Nº 1, 1965.

L. A. Tanner nació en Newport, Monmouthshire, en 1925. Recibió un B. Sc. (Londres) del Cardiff Technical College en 1948. El mismo año se incorporó a Standard Telephones and Cables y trabajó en las fábricas de Newport y de Woolwich en el diseño de equipo de pruebas de transmisión especial para televisión. En 1968 fué transferido a ingeniería de sistemas y es responsable actualmente del desarrollo de sistemas especiales en Newport. Mr. Tanner es miembro asociado del Institute of Electronic and Radio Engineers.

Nuevos libros

La era del sistema

Gerald Rabow, un científico significado en la división de comunicaciones de defensa de ITT, ha escrito este libro para mostrar tanto a los científicos como a los demás, el como y por qué de la aproximación por los sistemas, que es la clave de los avances científicos de hoy, puede emplearse para resolver los problemas sociales de los hombres. Los títulos de sus doce capítulos son los siguientes:

1. Introducción
2. Método científico
3. La dispersión de la ciencia
4. Aplicación de la ciencia
5. Horizontes en ciencia social
6. La sociedad del futuro
7. Métodos de sistemas: incentivos
8. Métodos de sistemas: análisis, modificación de estructuras
9. El logro de la paz
10. Planificación de población
11. Empleo
12. Tu y el sistema

El libro es de 21×14 cm y contiene 153 páginas en las que se incluyen 3 de referencia y un corto índice. Está publicado por Philosophical Library Inc., 15 East 40 Street, Nueva York, Nueva York 10016. El precio es de 4,50 dólares.

Fotografía electro-óptica con bajos niveles de iluminación

El autor de este libro es Harold V. Soule de ITT Aerospace/Optical Division. Este libro está dividido en 15 capítulos como sigue:

1. Análisis de la formación electro-óptica de imágenes
2. Iluminación nocturna
3. Características del intensificador de imagen
4. Sistemas de lentes de bajo nivel de luz
5. Electronografía del intensificador de imagen
6. Televisión con bajo nivel de luz
7. Registro fotográfico de pantallas fosforescentes
8. Técnicas de registro de televisión
9. Materiales de registro de imagen
10. Aparatos para bajo nivel de luz y sus aplicaciones
11. Física de los componentes electro-ópticos de bajo nivel de luz
12. Comparación de los sensores de imagen
13. Análisis matemático de la electronografía
14. Evaluación de imagen de bajo nivel de luz
15. Utilidad militar de la formación de imágenes pasivas en la noche.

Este libro mide 15×23 cm con 392 páginas con una bibliografía de 22 páginas y un breve índice. Se ha publicado por John Wiley & Sons, 605 Third Avenue, Nueva York, Nueva York 10016 al precio de 15,95 dólares por ejemplar.

Control del proyecto

P. W. ATTERSLEY
J. E. GAYLER

1. Introducción

El aumento de la actividad de control de proyectos en la división de sistemas de repetidores sumergidos de STC ha sido el resultado directo de un cambio en la actitud de los clientes respecto a la realización de nuevos sistemas submarinos.

Hasta los primeros años de la década 1960—1970 ocurría que las administraciones efectuaban su propio proyecto del sistema completo y abrían concursos con tales detalles técnicos que un contratista debía suministrar únicamente en elementos separados, cables, repetidores, equipo terminal, etc., que entran en la constitución del sistema completo; en la práctica, no era raro que el suministro se repartiese entre dos o más contratistas.

Sin embargo, la creciente necesidad posterior de comunicaciones internacionales convenció a las administraciones de que ya no podían tomar una parte tan detallada en la construcción de nuevos enlaces de comunicación y el cliente se ha acostumbrado ahora a establecer solamente las condiciones básicas del sistema, además de la fecha de puesta en servicio necesaria, para que un solo contratista pueda cumplirlas totalmente.

Como Standard Telephones and Cables, en conjunto, está bien preparada para enfrentarse con cualquier tipo de proyecto de telecomunicación sobre la base "llave en mano", solo ha sido necesario a la división de sistemas de repetidores sumergidos de North Woolwich la determinación de los procedimientos de control del proyecto adecuados para satisfacer las múltiples exigencias de un sistema internacional.

Es interesante ver con más detalle las condiciones del desarrollo de la actividad de control de proyectos.

En 1963—1964 STC se hizo cargo de la fabricación e instalación para el British Post Office de cuatro sistemas de cables submarinos en el Mar del Norte, entre el Reino Unido y el continente; en estos proyectos el cliente jugó un papel importante en la planificación de todo el trabajo, construyó las estaciones terminales, facilitó los buques cableros necesarios y, después de la alineación del sistema de banda ancha, se encargó de todas las operaciones de puesta en servicio.

En 1965 STC concluyó un contrato que cubría un enlace entre la España peninsular y las islas Canarias, que era en aquel momento el sistema de aguas profundas más largo y de más ancha banda del mundo; en 1966 STC instaló un sistema de cables que enlazaba varias estaciones de seguimiento de las fuerzas aéreas en el este de los Estados Unidos. Aunque en estos casos había ya, accidentalmente, edificios terminales, STC fué responsable de la planificación del proyecto y de todo el sistema; se empleó el barco cablero "John W. Mackay" de ITT/STC para las operaciones de tendido y STC realizó toda la instalación y la alineación de canales.

Con la aparición en 1967—1968 del proyecto de cable submarino entre Portugal y Africa del Sur, la actividad de control de proyectos de STC debió ampliarse para

satisfacer las exigencias de un proyecto "llave en mano". Se incorporaron servicios de coordinación para supervisar la construcción de las estaciones terminales en cuatro países diferentes, en lugares separados hasta 9600 km y a una distancia máxima de unos 11.200 km de la sede central en el Reino Unido. Esto representa naturalmente sólo un aspecto del contrato total, aunque muy importante; el resto de este artículo pretende tratar el problema en conjunto.

2. Estudio detallado del alcance del proyecto

La denominación sistema de cable submarino llama la atención inmediatamente sobre el equipo sumergido; el pedido completo requería la fabricación de 656 repetidores sumergibles, 57 igualadores y bastante más de 6000 millas náuticas de cable submarino. El tiempo transcurrido desde la adjudicación del contrato hasta la puesta en servicio del sistema completo dependía totalmente del programa de tendido del barco y del suministro de equipos sumergibles; debido al largo tiempo necesario para arrancar la producción y para el envejecimiento de los componentes; la fabricación de repetidores marca siempre el camino crítico.

No obstante, la fabricación de cable, igualadores y repetidores sumergibles, aunque implica la obtención de la más alta calidad posible, sólo precisa para su coordinación el empleo de los procedimientos normales de control aplicables a la producción de un tipo uniforme de productos; asimismo, como la fabricación de repetidores e igualadores tiene lugar en North Woolwich, que era en este caso el centro de todas las actividades de control del proyecto, fué más fácil seguir de cerca cualquier irregularidad o desfasaje en la producción.

Examinemos con más detalle otras actividades que implican una mayor diversificación de productos, exigiendo así un control más preciso.

2.1 Construcción de edificios terminales

Una de las primeras y más importantes acciones del grupo de control fué el establecimiento de un departamento independiente para ocuparse exclusivamente de la coordinación de las actividades de edificación. El coordinador de los edificios era responsable de la elección definitiva de los emplazamientos, de la compra o el alquiler de terrenos, contratación de arquitectos y constructores, redacción de las especificaciones de construcción y de otros muchos trabajos; esta particular actividad se describe en detalle en otro artículo de este número.

2.2 Fabricación del equipo de fuerza primario

Cada estación terminal del sistema cuenta con su propia planta de suministro ininterrumpido de energía; exceptuando el caso de Sesimbra (Lisboa) estos equipos fueron diseñados y fabricados por la Electric Construction Company (ECC), según las especificaciones de ingeniería de STC:

Control del proyecto

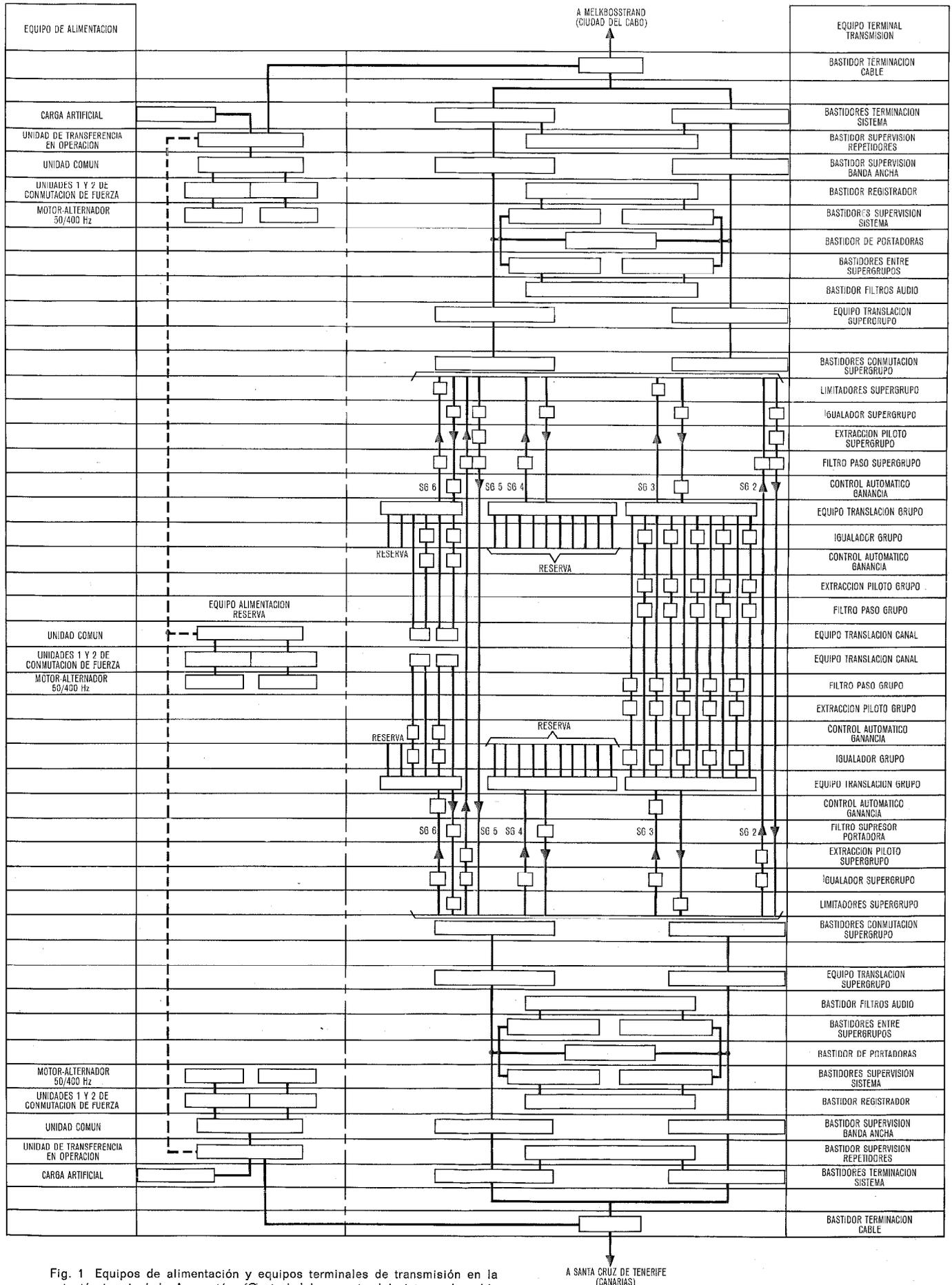


Fig. 1 Equipos de alimentación y equipos terminales de transmisión en la estación terminal de Ascensión. (Control del proyecto del sistema de cable submarino Portugal—Africa del Sur.)

A fin de cumplir el deseo del cliente de aumentar al máximo el porcentaje de material fabricado en Africa del Sur, se acordó que la factoria de ECC en Vereeniging, Africa del Sur, se encargaría del ensamble y las pruebas de los equipos de energía de cada estación, algunas partidas de máquinas rotatorias que no podían fabricarse prácticamente en Africa del Sur fueron importadas de la compañía matriz del Reino Unido.

Esto dió al equipo de fuerza, considerado en sí, la categoría de un proyecto autónomo de menor importancia. Fué preciso hacer un análisis detallado de las actividades de la compañía matriz ECC y de sus subcontratistas en Gran Bretaña. Se coordinó la inspección y las pruebas de conjunto en el Reino Unido para garantizar el más alto grado de eficacia de las operaciones conjuntas en dos países y se planearon las actividades marítimas entre Gran Bretaña y Africa del Sur y eventualmente las estaciones para cumplir las fechas previstas.

2.3 Fabricación de los equipos terminales de transmisión y de alimentación

La fabricación de equipo terminal de sistemas submarinos tiene lugar en diferentes fábricas de STC en el Reino Unido; el equipo de alimentación procede de North Woolwich, en Londres; los equipos terminales definidos y de pruebas, de Newport en Monmouthshire; y los equipos múltiple de Basildon en Essex. La coordinación normal de la fabricación en estos diversos lugares es parte de los métodos corrientes de control de proyectos.

También para aumentar la cantidad de material fabricado en Africa del Sur, se acordó que la compañía subsidiaria de STC en Boksburg (Africa del Sur) fabricase todo el equipo que pudiera para el sistema a partir de Ascensión (Norte) hacia Santa Cruz y Sesimbra (Lisboa). El cumplimiento del programa establecido no permitía que STC de Boksburg fabricase los equipos necesarios para el primer enlace de Melkbosstrand (Ciudad del Cabo) a Ascensión. Las fábricas de Newport y Basildon se encargaron de suministrar no solo todos los equipos correspondientes al enlace inicial, con un programa muy apretado de tiempo, sino también juegos de componentes y piezas mecánicas para STC (Boksburg), para su ensamble, pruebas y envío a las estaciones terminales Intermedias. La coordinación general necesaria para cubrir los aspectos de estas actividades alcanzó proporciones considerables.

La figura 1 muestra los equipos principales de esta clase instalados en el terminal de Ascensión.

2.4 Programa de instalación y tendido

Como se ha indicado anteriormente, el programa del tendido, junto con el suministro del equipo sumergible, determinó el camino crítico del proyecto. El "Mercury" y el "Monarch", dos de los mayores barcos cableros del mundo, realizaron todo el programa en 5 tendidos; el "Mercury" instaló la primera parte del sistema, entre Melkbosstrand (Ciudad del Cabo) y la isla de Ascensión, en dos tendidos; El "Monarch" instaló la última parte, desde Ascensión a Sesimbra (Lisboa) pasando por Sal y Santa Cruz, en tres tendidos. Al mismo tiempo, el

barco cablero "John W. Mackay", de STC, efectuó las funciones, menos lucidas pero igualmente esenciales, de instalar los cables terminales de costa y sus boyas, colocar boyas en alta mar, vitales para orientar a los barcos cableros principales, y durante las operaciones de tendido actuar como barco piloto para seguir con mayor exactitud la ruta geográfica precisa del cable; la absoluta precisión de la navegación puede presentar aún serias dificultades a los barcos en pleno océano. Al "John W. Mackay" se le asignó también la misión, que más tarde resultó ser esencial, de efectuar todos las reparaciones necesarias durante la instalación.

El South African Post Office (SAPO) contribuyó sustancialmente en Melkbosstrand al tendido de los cables terminales de costa y a todas las actividades de instalación de la estación terminal. También prestaron su colaboración más adelante la administración portuguesa, CPRM, en Sal y Sesimbra, y la Compañía Telefónica Nacional de España, CTNE, en Santa Cruz.

Las actividades de carga y tendido se describen en otro artículo de este número.

3. Realización práctica del control del proyecto

El diagrama PERT de la figura 2 proporciona la información básica para el control de todo el proyecto. La más larga de las fases de instalación representadas sobre el gráfico resulta del tiempo necesario para el cumplimiento de todos los elementos técnicos del sistema, petición de materiales, almacenamiento de los repetidores, equipos y cables antes de que puedan comenzar las operaciones de carga y tendido. Para garantizar la continuidad de la instalación se fabricaron unos 270 repetidores, 30 igualadores y 1300 millas náuticas de cable antes de la primera operación de carga en el barco.

La ruta se ha dividido en tres secciones distintas, cada una de las cuales termina con la alineación de los tres enlaces independientemente:

Melkbosstrand (Ciudad del Cabo) — Ascensión	Tendidos 1 y 2
Ascensión — Santa Cruz (via Sal)	Tendidos 3, 4 y parte del 5
Santa Cruz — Sesimbra (Lisboa)	2ª parte del tendido 5

De todo el sistema desde Ciudad del Cabo a Lisboa, la única sección que no estuvo a cargo de STC fué el enlace local de Sesimbra a Lisboa, que fué realizado por la administración portuguesa.

En STC se efectuó el control del proyecto de la siguiente manera:

a) se celebraron reuniones de coordinación del proyecto entre la dirección y representaciones de los ingenieros responsables de las distintas divisiones y fábricas de la compañía; tenían por objeto asegurar la cooperación y el acuerdo absolutos entre todos los grupos, que normalmente vivían y trabajaban a cientos de kilómetros de distancia;

b) a nivel de división se organizaron reuniones de revisión del proyecto para conciliar los intereses de la dirección, la producción y la ingeniería a fin de valorar

Control del proyecto

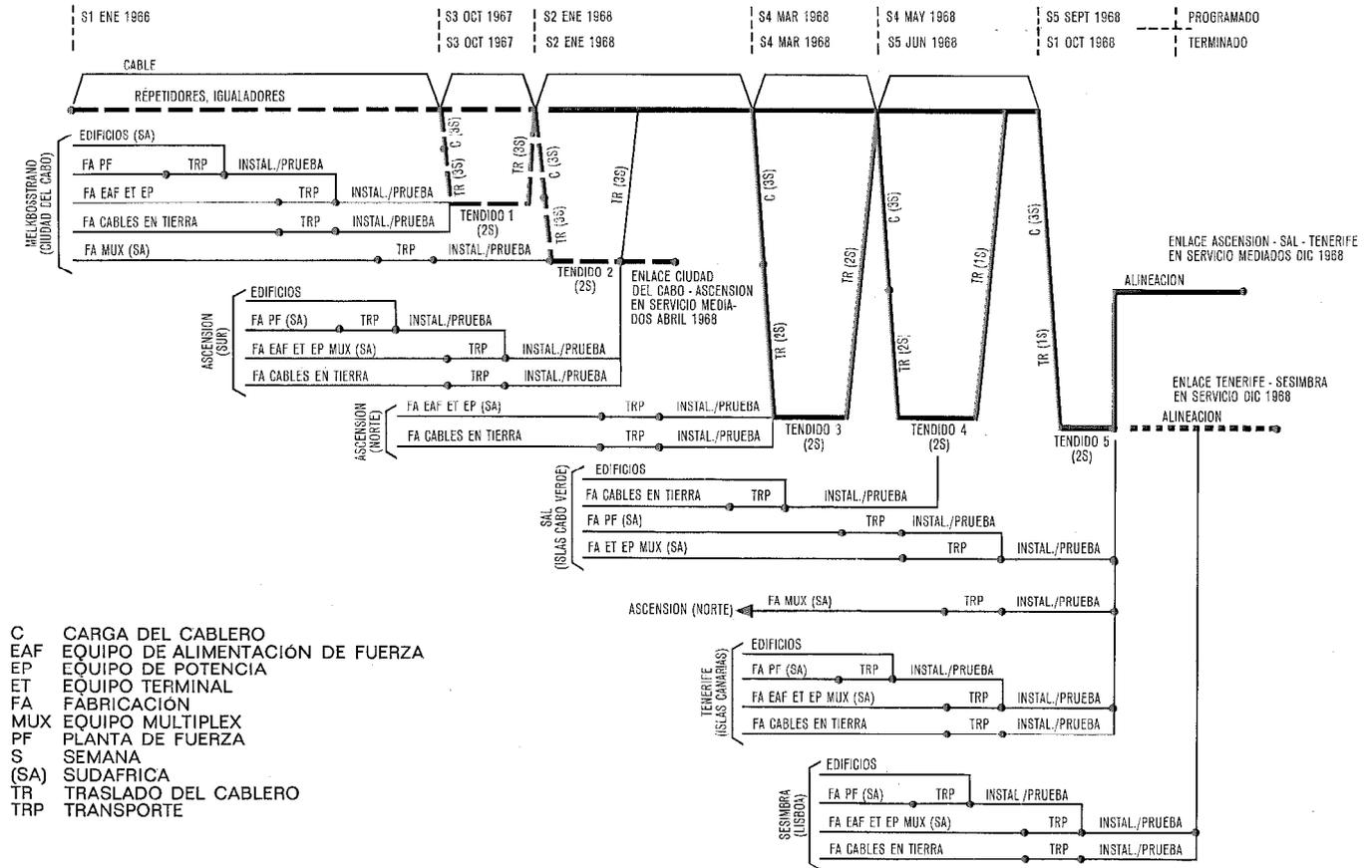


Fig. 2 Diagrama PERT general.

los problemas existentes y tratar de evitar otros futuros mediante una planificación coordinada;

c) se hicieron reuniones de revisión de equipos, principalmente dentro de cada división; su misión principal era analizar el estado de la producción hasta el momento, y la adopción de acciones especiales para resolver los problemas.

Aparte de estas reuniones, circulaba continuamente información entre las personas, entre las fábricas de STC y, en el caso de las instalaciones de energía, entre el personal de ingeniería y proyectos de STC y ECC. Toda esta información se registraba y revisaba como se ha visto anteriormente.

Una de las contribuciones más importantes a señalar fué la de STC (Boksburg). La dirección de Boksburg creó un equipo inapreciable dedicado expresamente a este proyecto y, además de su asistencia en la fabricación, consiguieron que todas las contribuciones al proyecto por parte de Africa del Sur se desarrollaran eficazmente.

4. Estimación de los resultados de conjunto

El enlace con cable submarino de Melkbosstrand (Ciudad del Cabo) a Sesimbra (Lisboa) se completó a principios de Enero de 1969 y entró en servicio para las comunicaciones entre Africa del Sur y el Reino Unido el 1 de Febrero de 1969.

En la parte superior de la figura 2 se hace una comparación de las fechas programadas y las logradas a lo largo del camino crítico, apreciándose la estrecha correspondencia existente. La mayor diferencia, de 5 semanas, se presentó al comienzo de la carga nº 4. Diversos contratiempos afectaron el programa de tendido y especialmente dos roturas del cable cerca de Ciudad del Cabo, en Febrero de 1968 a causa de las actividades de pesca de rastreo y en Mayo de 1968 por daños en el cable terminal, que exigieron una nueva programación de todo el trabajo pendiente de los barcos cableros. Hubo que abreviar las actividades de piloto del "John W. Mackay" y se retrasó considerablemente el tendido de los cables terminales de costa situados más al norte. El efecto total de las averías del cable entre Melkbosstrand y Ascensión fué retrasar la fecha de puesta en servicio de este enlace parcial hasta Septiembre de 1968 y, por consiguiente, demorar el comienzo de la carga 4 del HMTS "Monarch", ya que por razones económicas no se podía empezar con un fletamento determinado mientras no se supiera definitivamente cuando estarían instalados los cables de costa imprescindibles.

Además de los equipos sumergibles ya indicados y de la central de suministro ininterrumpido de energía de cada estación, se suministró a las diversas estaciones terminales un total de unos 40 bastidores de equipo de fuerza, 80 bastidores de equipos terminales determinados, 140 equipos multiplex y 180 instrumentos de prue-

bas; más de la mitad de estos materiales procedía de la fábrica de STC (Boksburg) en Africa del Sur.

En todas las estaciones principales se entregó, instaló y probó el equipo a tiempo para cumplir la fecha final de puesta en servicio. Sin embargo, durante el transporte del equipo por carretera en Africa del Sur ocurrieron dos graves accidentes que obligaron a un máximo esfuerzo para la redistribución de los equipos a las diferentes estaciones y a la reprogramación de la instalación para mantener la continuidad de toda la operación. Finalmente fué preciso sacrificar la fecha de puesta en servicio de la pequeña estación terminal de Sal, fijándose para Abril-Mayo de 1969.

En conclusión, al programar las actividades de ingeniería, fabricación e instalación de un proyecto de las dimensiones del sistema de cable submarino Portugal—Africa del Sur, se hace patente que no sólo se manejan gráficos y fechas sino principalmente personas y sus posibilidades. Si la programación fuera un proceso puramente matemático podría realizarse mejor exclusivamente con ordenador; en estas condiciones el control físico de un proyecto es superfluo.

Los resultados mencionados anteriormente, aparte del control del proyecto, fueron conseguidos gracias al trabajo y la colaboración de todas las personas de STC relacionadas con el proyecto.

P. W. Attersley nació en Londres en 1925. Después de servir en la Royal Air Force en las instalaciones de radar, obtuvo un certificado superior nacional en ingeniería eléctrica.

Ingresó en STC en 1949 como miembro del laboratorio de transmisión de North Woolwich y trabajó en el diseño y desarrollo de amplificadores con realimentación y filtros para repetidores sumergidos. Desde 1958 trabajó como ingeniero de control de calidad y en 1961 fué nombrado director de calidad, responsable de la calidad y fiabilidad de todos los productos de la división de sistemas de repetidores sumergidos. Durante todo este tiempo desde 1949 intervino considerablemente en las relaciones con los clientes y en la carga y el tendido de sistemas de repetidores sumergidos.

En 1965 fué nombrado director de proyectos de cables submarinos de STC y desde entonces ha tenido toda la responsabilidad de la realización de sistemas submarinos de la compañía.

J. E. Gayler nació en Londres en 1926. Obtuvo un certificado superior nacional en electrónica en 1951.

Entró en STC en 1943 y trabajó, antes y después de servir en los Royal Signals en instalaciones de telecomunicación, en el desarrollo de equipo de señalización y comunicaciones para sistemas de ferrocarriles.

En 1951 pasó al laboratorio de transmisión de North Woolwich e intervino en el desarrollo y la aplicación de equipo de pruebas de transmisión.

En 1963 se incorporó a la división de sistemas de repetidores sumergidos como ingeniero "senior" de proyectos y ha estado relacionado directamente desde entonces con la realización de todos los sistemas submarinos importantes de STC.

El Sr. Gayler es ingeniero colegiado y miembro del Institution of Electrical Engineers.

Nuevos libros

Mathematik für Elektrotechniker — Band 2

(Matemáticas para ingenieros electricistas — Volumen 2)

Este libro por el Dr. phil. Viktor Fetzer de Standard Elektrik Lorenz AG, de Stuttgart, se mencionó en *Electrical Communication*, Vol. 41 (1966), n° 2, pág. 215. El volumen 2, que se ha publicado ahora es un suplemento. Contribuye al propósito del volumen 1, que es servir como libro de referencia y guía técnica para la enseñanza. Sus numerosos problemas y sus soluciones corresponden con la organización del volumen primero. El primer capítulo que trata de los números y aritmética, está precedido por una sección de los métodos de escribir apropiadamente ecuaciones de electrotecnia. El libro termina con una lista detallada de fórmulas de electrotecnia. Hay además otras secciones muy instructivas como: "cálculos gráficos" o "vectores".

El lector podrá apreciar la claridad del texto, la calidad de las figuras y la acertada elección de los problemas.

El libro de 17 × 23 cm, contiene 324 páginas con 139 ilustraciones y varias tablas. Se ha publicado por el Alfred Hüthning Verlag of Heidelberg, Alemania, al precio de 42,50 DM.

W. J. FINN

1. Introducción

El contrato del sistema SAT 1, adjudicado a Standard Telephones and Cables, cubría un proyecto completo "llave en mano", en el que las obras de ingeniería civil comprendían la construcción de cinco estaciones terminales situadas en zonas muy diferentes a lo largo del recorrido del cable.

Los edificios debían satisfacer las exigencias del equipo, la planta de fuerza, el personal y además ajustarse a una parcela de terreno y cumplir las diversas disposiciones legales sobre la construcción que tienen todos los países.

Por estar bajo el mar, el sistema del cable submarino posee un elevado grado de seguridad que lógicamente debe extenderse a los edificios en los que se tomaron todas las precauciones para proteger las zonas del equipo y de energía.

Todas las obras que se describen brevemente en las páginas siguientes fueron inspeccionadas, coordinadas y aprobadas por STC en sus diferentes etapas.

2. Elección de los emplazamientos

La elección de los emplazamientos dependió mucho de su proximidad al punto de salida a tierra del cable. Hubo que tener en consideración diversos lugares donde fué preciso adquirir terrenos y, en los sitios en que se había previsto un enlace con una compañía telefónica nacional, se modificó el emplazamiento para que estuviese a una distancia razonable del edificio terminal correspondiente.

Se utilizó desde el principio a un procurador para que se encargase de la compra de terrenos y especialmente para ocuparse de los problemas relacionados con la estructura a veces larga y compleja de los sistemas estatales y legales extranjeros.

3. Especificación general y terminal típico

Desde el principio hubo que buscar un arquitecto y constructor de reputación, al que pudiera confiarse las obras generales de construcción. Se obtuvo una ayuda considerable de las compañías telefónicas nacionales, que se interesaron profundamente, y estaban en condiciones normalmente de recomendar una empresa que hubiera hecho anteriormente buenos edificios de este tipo.

La especificación de los edificios preparada por STC exigió una cantidad de estudios considerable para combinar las necesidades de los equipos con métodos buenos de edificación y razonables distribuciones de las salas.

La especificación estaba dividida en cuatro secciones principales que se describen brevemente a continuación:

a) La zona de servicios y descanso

Esta zona comprendía la parte habitable para los ingenieros de la estación. Se especificaron unas dimensiones razonables para las oficinas del personal, cocina, lavabos y, en algún caso necesario, dormitorios. Las paredes y

los techos fueron enlucidos con yeso, se emplearon azulejos en la cocina y los lavabos y se recomendaron baldosines vinílicos para los suelos. Se especificó una carga del piso de 244 kg/m^2 y los niveles de iluminación fueron establecidos según las recomendaciones del British Lighting Council.

b) Zona de equipos

Esta zona era la parte más importante de cada edificio y en ella se situaron todos los equipos terminales y múltiples descritos en otros artículos.

Aneja a esta sala se situó una cámara subterránea de cables para permitir la entrada del cable submarino y la salida de los cables de conexión a la red nacional.

Esta zona se declaró de alta seguridad y se la dotó de puertas de acero al exterior. Las paredes eran de hormigón armado sin ventanas. La sala de equipos y su almacén anexo fueron dotados de aire acondicionado con límites de temperatura de $21,1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ y condiciones de humedad del 30% al 50% de humedad relativa. También se especificaron las dimensiones de las salas, así como los acabados de los pisos, paredes y techos. La carga del piso debía ser de 900 kg/m^2 para soportar adecuadamente el peso del equipo; el suelo debía estar nivelado con una tolerancia de $\pm 1,6 \text{ mm}$. El equipo de STC se suministra con su propio alumbrado incorporado y por tanto sólo fué necesario prever en esta zona el alumbrado general.

c) Zona de energía

En un sistema de tan elevado valor comercial se consideró como una prudente economía garantizar que los suministros de energía estuvieran perfectamente a cubierto de averías y bien respaldados por una instalación de generadores de reserva. Todo este importante equipo de fuerza se montó en la zona de energía.

Para garantizar a estas máquinas rotatorias una larga vida, se ha dotado a las salas de ventilación forzada con filtros que impiden el paso del 90% de las partículas con tamaño superior o igual a 5 micras.

Los escapes de los grupos diesel y la salida de los radiadores pasan por una cámara especial antes de salir por tubos de escape en el tejado, por razones de seguridad. Cada máquina va montada sobre una base de hormigón armado apoyada en roca sólida, cuando esto es posible.

Los suministros de energía a cada máquina y armario de control y los de salida de éstos van por conductos en el suelo cubiertos con chapa de cuadrícula, que da un acabado sencillo y limpio que permite una fácil conservación. Una grúa corredera puede moverse a lo largo de una viga sobre todos los equipos para facilitar la conservación y la retirada de máquinas.

El alumbrado está dispuesto de forma que los grupos de trabajo tienen buena iluminación y pueden utilizarse interruptores por grupos, si es conveniente.

En esta misma zona están las salas de transformadores e interruptores y el cuadro principal de energía del edificio.

d) Zona exterior

En la zona exterior fué preciso proyectar e iluminar los caminos de entrada y las calzadas de acceso a los depósitos de combustible. Los depósitos de combustible, de gran capacidad, son característicos de cada estación para que los grupos diesel puedan funcionar durante largo tiempo si se produce un corte prolongado de suministro de la red. Los tanques de alimentación por gravedad de los grupos diesel que se encuentran dentro del edificio reciben el combustible mediante bombas eléctricas, con bombas de mano de reserva.

La zona exterior se encuentra rodeada de una valla de acero de 2,13 metros, completándose la protección del edificio con un sistema de focos.

4. Itinerario del cable de tierra

El camino a seguir desde el punto de salida a tierra hasta el edificio fué estudiado cuidadosamente en cada caso. La decisión de llevar el cable por conductos o por zanja dependió del sitio y de si atravesaba zonas pobladas.

El empleo de conductos siguió normas bien determinadas y generalmente estaba de acuerdo con las exigencias de las compañías telefónicas nacionales.

En el caso de zanjas, éstas tenían 0,91 m. de profundidad y se depositó una capa de arena fina debajo del cable y otra encima. Se colocó hilo de cobre desnudo sobre el cable para protegerlo contra los rayos y a intervalos regulares se situaron postes de referencia bien señalados.

5. Estaciones terminales

5.1 Melkbosstrand (cerca de Ciudad del Cabo)

Situada en la punta sudoccidental de Africa del Sur, cerca de Ciudad del Cabo, Melkbosstrand es un punto de fácil salida del cable a tierra y de buen acceso. Este lugar, a sólo 230 metros de la playa, es una zona abierta susceptible de desarrollo.

a) Itinerario del cable en tierra

Se siguió un camino en línea recta a lo largo de una carretera no construída, sin ninguna dificultad.

b) Edificio terminal

La sala de aparatos está en el centro del edificio y el cable submarino llega a la cámara de cable por debajo del piso del almacén. Desde allí hay conexión directa a la sala de microondas para la comunicación con Ciudad del Cabo.

La sala de aparatos cuenta con instalación de aire acondicionado que mantiene la temperatura y la humedad dentro de estrechos límites.

La zona de descanso está concentrada, quedando aislada de las zonas de trabajo. Una cocina y un comedor bien equipados proporcionan una considerable comodidad al personal de la estación y existe también un dormitorio con ducha para el caso de tener que pasar la noche en el edificio.

Los arquitectos, Stegmann & Barlow, S. A. Ltd., favorecidos por el gran tamaño de la parcela, lograron en

esta ocasión hacer de lo que pudo ser un edificio corriente un conjunto más atractivo y menos uniforme.

c) Dificultades

El problema de este edificio fué el clima. Al empezar la construcción el tiempo era seco y ventoso y fué preciso poner una capa de grava sobre la superficie arenosa del suelo para evitar su desplazamiento y amontonamiento irregular. Al final de la edificación el tiempo era húmedo y frío, retrasándose el secado del edificio y estropeándose muchos acabados.

3.2 Isla de Ascensión

La isla de Ascensión es una posesión británica en el Atlántico Sur, de unos 11 por 14,5 kilómetros.

El suministro de energía procede de la central del Ministry of Public Buildings and Works. La energía producida debe alimentar los transmisores de la BBC, que emiten hacia Africa, y las estaciones americanas de seguimiento que hay en la isla para los lanzamientos espaciales de EE.UU.

La situación de la isla, entre Africa y América, es ideal para todo tipo de comunicaciones.

a) Itinerario del cable terrestre

Aquí el camino que había de seguir el cable de tierra era largo y difícil. La zona habitada, Georgetown, con su abastecimiento de agua, calzadas y proximidad al muelle era el emplazamiento obvio para el edificio, pero está a más de kilómetro y medio del punto de entrada en tierra del cable. El terreno intermedio es muy áspero, con grandes aristas de lava y montículos de ceniza volcánica. Sin embargo, el contratista empleó dinamita y una explanadora de cuarenta toneladas para allanar el camino y el cable en tierra se tendió en unos pocos días.

b) Edificio terminal y viviendas

Fué necesario obtener permiso del Foreign Office para entrar en la isla. La adquisición de los servicios de Cable and Wireless como arquitecto y constructores fué muy conveniente.

El edificio se construyó a base de una estructura metálica rellena con bloques de hormigón fabricados en la isla. Toda la cimentación y los asientos de máquinas se hicieron sobre roca sólida.

Desde el terminal se alimentan también los cables de Africa del Sur y Canarias, por tanto, tiene más equipo y planta de fuerza que el de Melkbosstrand. Se emplea alumbrado fluorescente normalmente para tener buena iluminación con baja carga. Esto permitió que todo el alumbrado fuera proporcionado por el diesel de reserva y evitó la necesidad de tener alumbrado de emergencia independiente.

La iluminación de la sala de energía está dividida en dos grupos con interruptores de contactos; las tomas de corriente están convenientemente distribuidas alrededor de la sala.

El aire acondicionado para la zona del equipo entra por la misma sala de la instalación, mientras que la ventilación forzada se hace desde una segunda sala. El aire de la ventilación forzada se filtra en alto grado con

un filtro saturado de aceite con cambio automático según la diferencia de presión a través del filtro.

No se han previsto dormitorios, ya que los técnicos del terminal y sus familias viven en la isla. Junto al terminal se construyeron para ellos cinco "bungalows" prefabricados.

c) Dificultades

Los problemas fueron los propios del aislamiento. En la isla no hay mano de obra eventual y sólo se venden artículos alimenticios en una tienda. Hubo que llevar por barco todos los artículos hasta clavos y maderas sueltas.

Gracias a Cable & Wireless Ltd., con sus años de experiencia en la isla, se progresó rápidamente y sin retrasos.

5.3 Isla de Sal

Sal es una isla del archipiélago de Cabo Verde, que pertenece a Portugal, un poco al norte del ecuador y tiene la particularidad de ser casi plana y carecer prácticamente de vegetación. Ahora tiene importancia como aeropuerto por ser llana, con buena visibilidad y sin nubes en todo el año. Situada convenientemente como punto de escala entre Europa y África del Sur o América del Sur, es empleada ahora por compañías aéreas. El aeropuerto carece actualmente de servicios, pero se espera que con la construcción de uno nuevo se atraerá a más líneas aéreas y que las islas Cabo Verde serán un centro turístico tan importante como las Canarias o las Bahamas.

a) Itinerario del cable en tierra

El emplazamiento del terminal está lejos de la población a causa del punto de salida del cable a tierra, que es de fácil acceso y está en una playa arenosa llana a sólo unos 90 metros de la estación, el camino que sigue el cable es llano, pero bajo la superficie de polvo volcánico hay roca a sólo 45 centímetros.

b) Edificio terminal

Es con mucho el más pequeño del sistema. Inicialmente esta estación no tiene planta de energía y está desatendida, pero está diseñada de forma que pueda convertirse en el futuro en una estación normal cuando lo precise el servicio.

El sistema llega al terminal a una red de conexión en T equilibrada especial, alojada en una cápsula semejante a la de los repetidores en una cámara grande debajo del edificio. Se dispone de un pequeño equipo terminal especial con multiplex derivado de ese punto y con posibilidad de ampliación posterior. Sin embargo, este equipo tiene también grupos diesel de reserva y una pequeña instalación de aire acondicionado, pero los grupos motor alternador con volante se han reemplazado por baterías.

Como el mantenimiento consistirá en visitas de técnicos a intervalos de pocas semanas, todas las alarmas se transfieren a Lisboa y se utiliza un sistema de control automático de incendios, que consiste en detectores radioactivos sensibles que fabrica Minerva Ltd., que liberan gas CO₂ en todo el edificio después de sonar las alarmas. Desde luego, este sistema pasa a control manual cuando hay operadores en la estación.

c) Dificultades

De todos los edificios éste fué el que presentó menos problemas; la Companhia Portuguesa Radio Marconi se encargó de la construcción. Hubo dificultades en cavar las zanjas y los pozos para los depósitos de combustible, debido a la naturaleza muy rocosa del suelo, pero por esta razón el edificio fué más sólido.

5.4 Santa Cruz de Tenerife

Tenerife es una de las islas más importantes del archipiélago de las Canarias, que forma parte de España.

Es considerablemente sólida y generalmente no tiene buenas playas de arena.

La pequeña playa de Santa Cruz es uno de los pocos puntos buenos para salida de cables a tierra y, como hacía falta enlazar con el edificio de la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE), la elección del emplazamiento del terminal se limitó a los terrenos vecinos. Se encontró una parcela apropiada, aunque pequeña, en una zona semi-industrial.

a) Itinerario del cable de tierra

Fué preciso utilizar conductos que en casi toda su longitud pasaban bajo calles y calzadas. Lógicamente CTNE se encargó de proyectar y construir el camino de conductos, ya que tenía experiencia de este tipo de trabajo en aquellas regiones.

b) Edificio

Se proyectó un edificio de dos pisos, debido al reducido espacio disponible y otras limitaciones impuestas por las ordenanzas locales.

Se ha previsto alojamiento para dormir, así como cocina y un taller.

c) Dificultades

Las limitaciones del emplazamiento y las dificultades en la obtención de permiso de las autoridades locales y gubernamentales provocaron algunos retrasos. Sin embargo, la eficacia de la compañía proyectista y constructora del edificio, permitió recuperar gran parte del tiempo marcado.

5.5 Sesimbra (cerca de Lisboa)

Sesimbra es un pueblo de pescadores al sur de Lisboa, en Portugal, y tiene una buena playa arenosa para la salida del cable a tierra. El terreno se eleva desde la playa en fuerte pendiente y el edificio está bastante alto en la ladera.

a) Itinerario por tierra

El itinerario del cable por tierra, algo dificultoso por la pendiente pronunciada, está en zigzag hasta el edificio terminal siguiendo los caminos existentes.

b) Edificio terminal

Este edificio es el mayor del sistema y será el punto de unión de varios sistemas. Desde este mismo terminal STC tenderá un sistema hasta Goonhilly, en el Reino Unido, para el British Post Office.

La compañía Marconi portuguesa también espera establecer desde aquí conexiones con otros puntos de Euro-

pa. Por consiguiente, el terminal fué planeado y realizado por las tres partes interesadas, con la compañía Marconi como constructora, y el edificio de dos pisos se hizo deliberadamente grande para afrontar las ampliaciones previstas.

c) *Dificultades*

En este terminal se presentaron sólo pequeños problemas administrativos y todo fué bien a pesar de sus grandes dimensiones.

6. Conclusiones

Prescindiendo de la interrupción del enlace por defectos en el cable, el problema de seguridad más importante se presenta en las estaciones terminales. En éstas, los circuitos del cable quedan al descubierto para efectuar la traslación o paso de frecuencias y entonces son sumamente vulnerables a intromisiones maliciosas.

Los edificios terminales fueron construídos de forma que se evitan estas intervenciones extrañas mediante el empleo de estructuras de hormigón armado sin ventanas, una zona habitable autónoma para los ingenieros y suministros de energía independientes.

Estos edificios reforzados se terminaron en las fechas previstas a pesar de las rigurosas especificaciones, sus emplazamientos muy distantes y la necesidad de cumplir las reglamentaciones locales.

Bibliografía

A course of Reinforced Concrete Design — T. J. Bray.
Safe Load Tables — Dorman Long & Co., Inglaterra.
Interior Lighting Design Handbook — British Lighting Council.
Heating and Air Conditioning of Buildings — Faber and Kell.

William John Finn nació en Kent, Inglaterra, en 1938 y estudió en el Borough Polytechnic de Londres hasta obtener un certificado superior nacional en ingeniería eléctrica. En un principio trabajó en el British Post Office en la Research Station, en Dollis Hill, donde ingresó en 1955.

En 1960 entró en la Westinghouse Brake and Signal Company, que diseña equipos rectificadores y transformadores y en 1963 en Johnson and Phillips, que se dedica a transformadores de energía.

Está en Standard Telephones and Cables desde 1966, en el departamento de proyectos, donde se encarga de la coordinación de la ingeniería civil. El Sr. Finn es miembro del Institution of British Engineers y graduado del Institution of Engineering Designers.

Equipo de suministro de energía

P. S. KELLY

1. Introducción

La energía para los repetidores de un sistema de cable submarino se suministra mediante una corriente continua constante a través del conductor central del cable desde los equipos de suministro de energía situados en una o ambas estaciones terminales. El retorno de tierra es a través del mar, estableciéndose las conexiones mediante placas sumergidas, como electrodos de tierra, y un cable tierra mar. La vida de los tubos del repetidor depende en gran parte de la corriente de caldeo, de aquí que tenga gran importancia la exactitud en el control de la corriente de alimentación. Variaciones de la corriente del repetidor darán lugar a pequeñas variaciones de su ganancia y en sistemas largos con muchos repetidores en serie, se deberá tener cuidado de minimizar estas variaciones. Cuando el voltaje total de un sistema de enlace por cable es menor que el voltaje de trabajo máximo permisible para el repetidor, es posible obtener continuidad de suministro de energía del cable en el caso de fallo de un terminal, alimentando desde ambos terminales simultáneamente mediante un bucle serie de ayuda. En estas condiciones, cada terminal se dispone de forma que suministre la mitad del voltaje del sistema, pero es capaz de proporcionar el voltaje total en caso de fallo del otro terminal. En enlaces por cable largos, cuando el voltaje del sistema es mayor que el voltaje de trabajo máximo permisible del repetidor, se deben usar disposiciones alternativas para obtener continuidad de suministro de energía del cable. Cada terminal debe proporcionar su propia continuidad y debe tener cuidado de asegurarse, que no se exceda el voltaje de trabajo del repetidor, particularmente durante la puesta en marcha inicial del sistema.

2. Descripción general del sistema

La figura 1 muestra la disposición básica de suministro de energía del sistema completo. Cada unidad de alimentación, figura 2, comprende dos bastidores de fuerza y un bastidor de control común. Los bastidores de fuerza tienen alimentaciones primarias independientes, sus salidas en paralelo alimentan al bastidor de control común y la salida de éste se aplica al bastidor de transferencia en operación*. Cuando hay una sola estación terminal, el bastidor de transferencia en operación contiene un solo conmutador de transferencia, operado manualmente, que acepta las salidas de las dos unidades de alimentación y dirige, una al bastidor de la carga artificial, y la otra al bastidor de terminación del cable y de aquí al sistema de cable submarino. En una estación terminal doble o común, el bastidor de transferencia en operación, figura 3, contiene dos conmutadores de transferencia similares, junto con un conmutador que aplica la unidad de alimentación de reserva al conmutador de transferencia requerido.

El enlace Portugal—Islas Canarias requiere un voltaje total del sistema de 4,5 kV solamente y de aquí que sea posible un suministro de energía desde un solo terminal en caso de avería. La unidad de alimentación en el terminal portugués es pequeña y comprende dos bastidores de fuerza, un bastidor de control común que incluye una carga artificial y un bastidor de terminación de cable. Su diseño básico es similar a los otros equipos de suministro de energía, pero está calculado para proporcionar un voltaje de salida de 5 kV solamente.

* Nota del traductor. — Transferencia en operación (Hot transfer) indica transferencia con el sistema en funcionamiento.

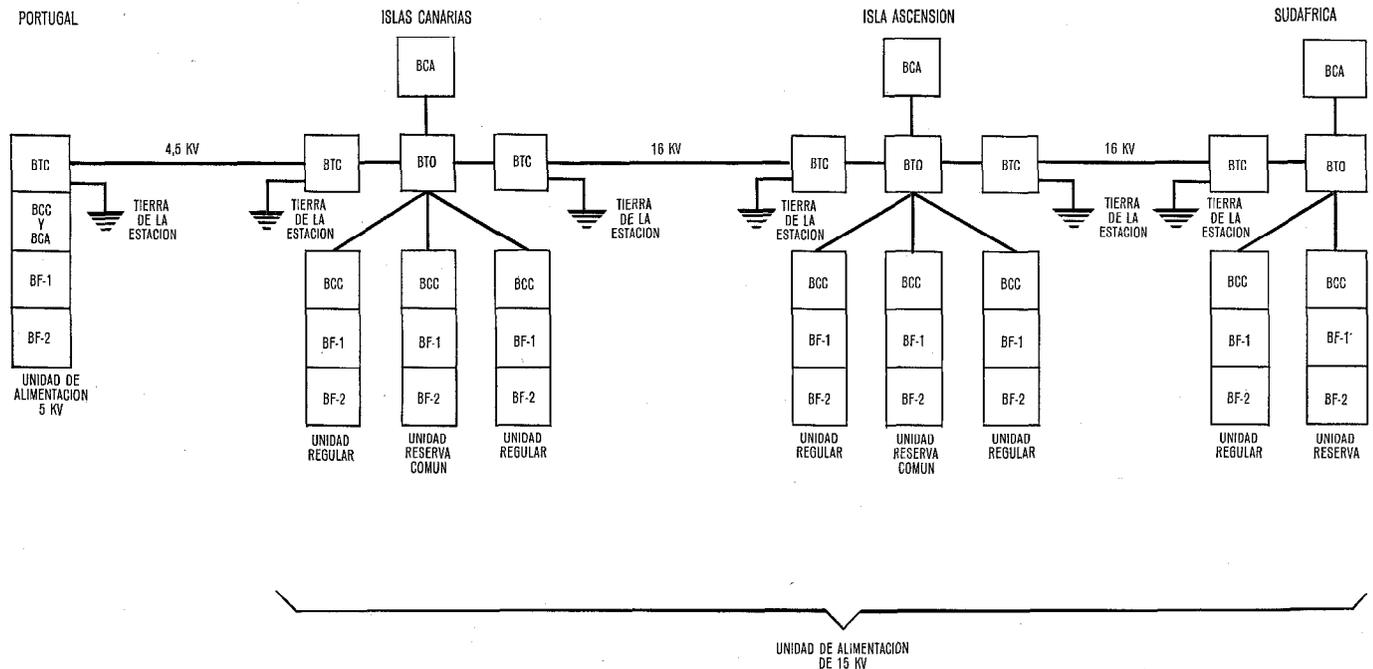


Fig. 1 Diagrama de bloque del sistema.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| BF Bastidor de fuerza | BTO Bastidor de transferencia en operación |
| BCC Bastidor de control común | BCA Bastidor de carga artificial |
| BTC Bastidor de terminación de cable | |

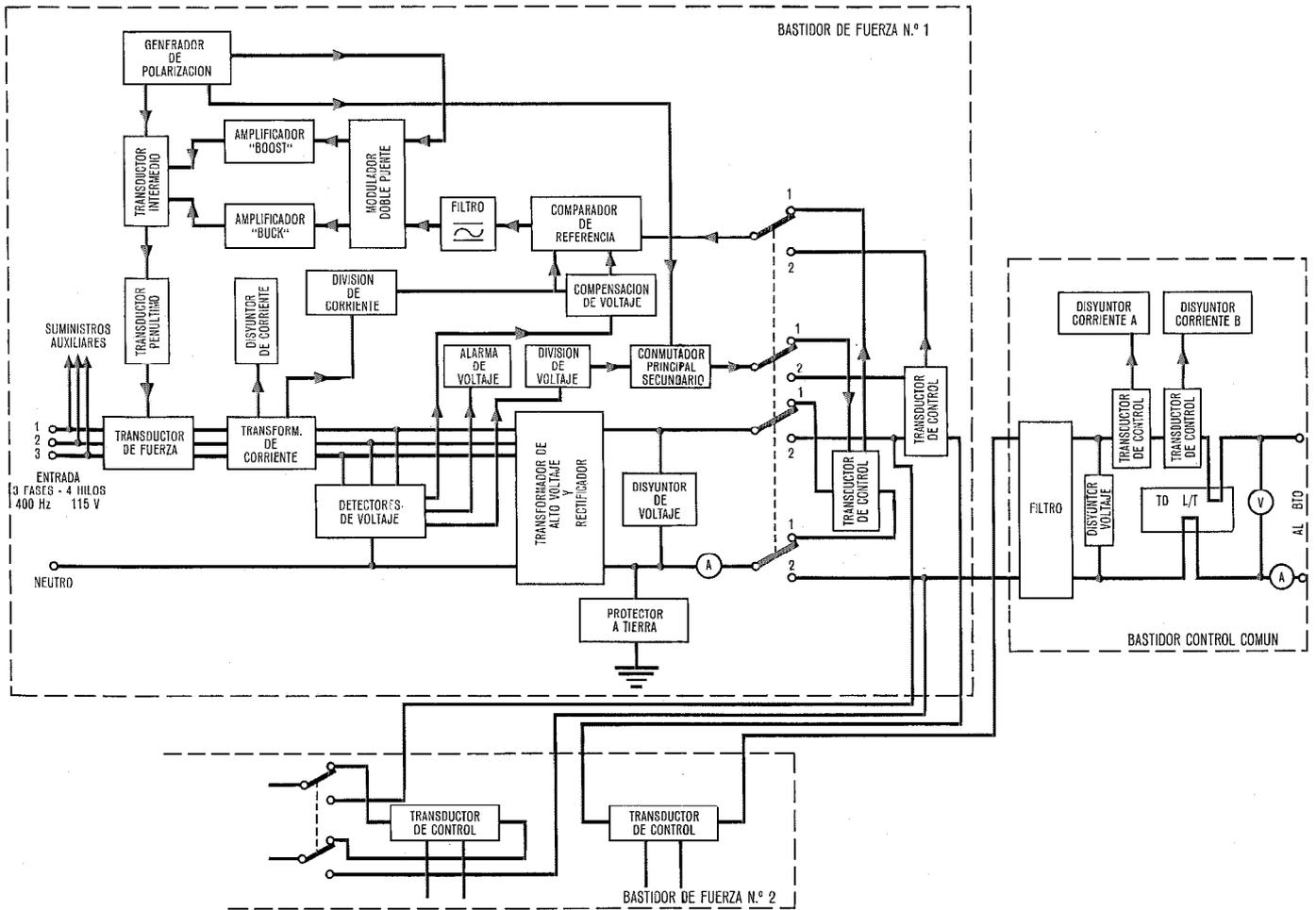


Fig. 2 Diagrama de bloque de la unidad de alimentación.

TD Transductor

TD L/T Transductor detector de desequilibrio línea a tierra

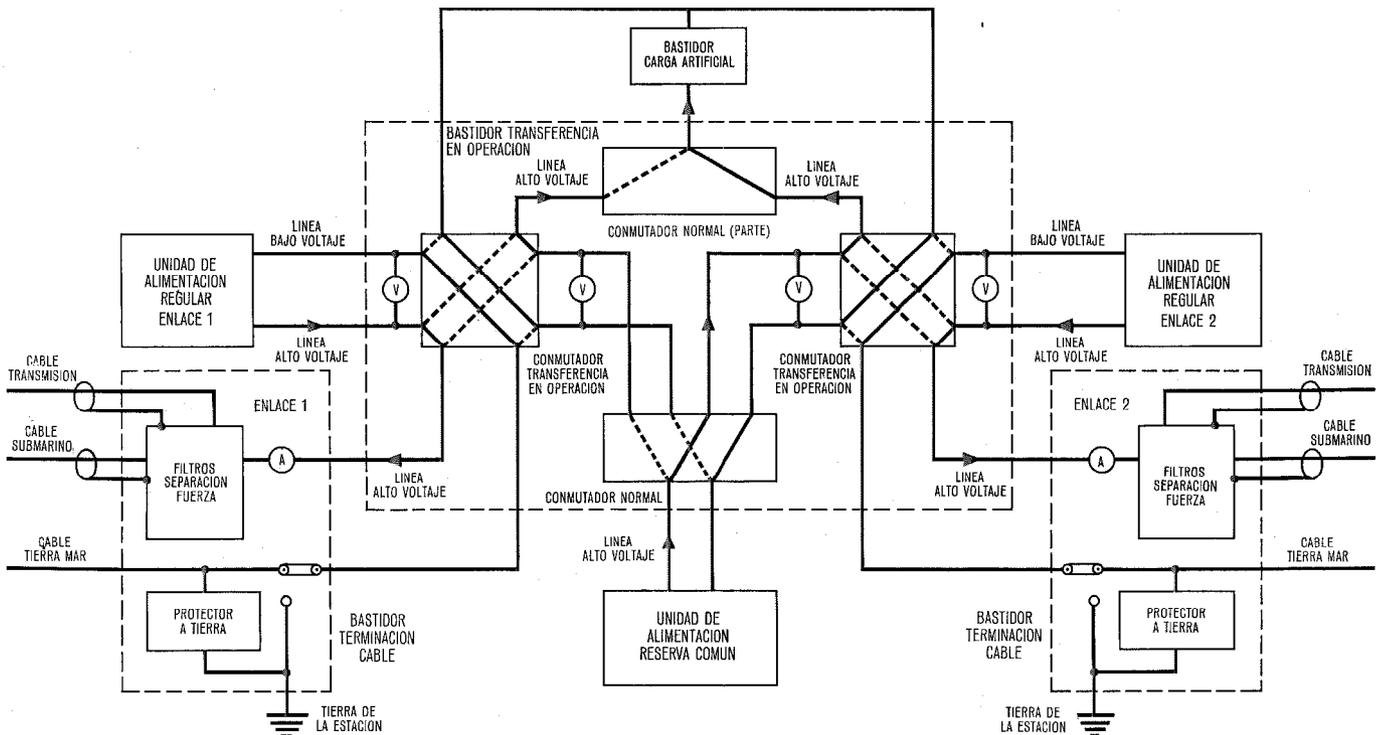


Fig. 3 Diagrama de bloque del circuito de transferencia en operación (terminal común).

3. Diseño del equipo de suministro de energía

3.1 General

El equipo de suministro de energía está contenido en bastidores separados, realizando cada uno de ellos las siguientes funciones:

a) Bastidor de fuerza

Este bastidor contiene el rectificador y transformador principal de alto voltaje junto con el circuito completo de control del bucle de realimentación de corriente constante. En un compartimento separado en la parte superior del bastidor se aloja el conmutador de alto voltaje y los transconductores de control que, en funcionamiento en paralelo, están asociados con el segundo bastidor de fuerza.

La alimentación primaria de entrada al bastidor es nominalmente trifásica a 400 Hz y 115 V entre fase y neutro, y se obtiene de un conjunto motor-alternador. La salida rectificadora máxima es de 15 kV de corriente continua a 502 mA, pero puede reducirse mediante tomas en los arrollamientos del primario del transformador de alto voltaje.

b) Bastidor de control común

Este bastidor contiene el filtro común y disyuntores de alarma de corriente duplicados, junto con un detector de falta de equilibrio entre línea y tierra, que detecta una diferencia de corriente de $\pm 1\%$ entre las líneas de salida de alto y bajo voltaje.

La tolerancia permitida en las ondulaciones del voltaje de pico a pico en la cabeza del cable es de 5 V. No se han encontrado dificultades para cumplir estas necesidades con un filtro L-C convencional. El valor normal que se encuentra está entre 2,5 y 3,0 voltios.

c) Bastidor de transferencia en operación

Este bastidor contiene los conmutadores de conmutación y transferencia junto con otros conmutadores de circuito abierto y de cortocircuito necesarios para mantenimiento y bloqueo de seguridad de los dispositivos de protección.

d) Bastidor de carga artificial

Este contiene los reostatos de variación continua de la carga artificial, refrigerados con ventiladores.

e) Bastidor de terminación de cable

Este se divide en tres secciones como sigue:

- caja de terminación del cable que contiene los filtros de separación de fuerza y proporciona las terminaciones para el cable submarino y el cable de transmisión del equipo terminal;
- caja de conmutación de fuerza que contiene las terminaciones de las tomas de tierra del mar y de la estación y el circuito de protección a tierra;
- un panel de alarma y de prueba para comprobar la continuidad del cable tierra mar.

3.2 Bucle de control de realimentación

La figura 2 muestra el diagrama de bloque básico de una unidad de alimentación. Un conjunto motor-alternador suministra energía trifásica a 400 Hz que se aplica a

un transformador de alto voltaje y rectificador de silicio, y se controla mediante el transductor de fuerza. La salida rectificadora se conecta a un conmutador de alto voltaje de dos posiciones. La posición 1 dirige la salida a la bobina de control principal de un transductor de control que, aunque proporciona información relativa a la realimentación de corriente, termina efectivamente la salida del bastidor de fuerza en un cortocircuito.

En la posición 2 se combinan las salidas de los dos bastidores de fuerza y proporciona la corriente total de salida que pasa en serie por las bobinas de control principales de los dos transductores de control, al filtro del bastidor de control común. Los transductores de control transforman la corriente de línea de alto voltaje en una corriente de bajo voltaje con una relación lineal, lo que permite a los circuitos de control de realimentación trabajar con un bajo potencial respecto a tierra. Para completar el control de corriente del bucle de realimentación, la salida del transductor de control se conecta al comparador de referencia, que es un dispositivo totalmente magnético que compara el flujo generado por la corriente de los transductores de control con un flujo constante generado por un núcleo saturado. El flujo diferencia, en sentido y magnitud, se detecta mediante un transductor de dos ramas dispuesto sobre el mismo conjunto del núcleo. Dos arrollamientos de salida, conectados en oposición en serie para cancelar la componente de frecuencia fundamental, proporcionan una salida del segundo armónico (en este caso 800 Hz). Esta salida variará de amplitud con la diferencia en el nivel de flujo y se invertirá en fase con un cambio de la polaridad del flujo. A continuación esta señal de error se filtra y mezcla, en un modulador de doble puente, con una señal portadora de 800 Hz de fase fija obtenida del generador de polarización. La salida de la portadora más la señal, del modulador en doble puente, se aplica al arrollamiento de control del transductor amplificador "boost" y la salida de la portadora menos la señal se aplica a un arrollamiento de control similar del transductor amplificador "buck".

El transductor intermedio combina estas dos señales de entrada con otra del generador de polarización para proporcionar la excitación de la penúltima etapa del transductor y por ello controlar el transductor de fuerza. El generador de polarización está estabilizado y ajustado de forma que si el bucle de realimentación no está completo, la salida del bastidor de fuerza es el 75 % de la corriente de salida total requerida. Cuando se completa el bucle de realimentación, la señal "boost" predomina y aumenta la salida al 100 % de la corriente de línea requerida.

El transductor de fuerza es un dispositivo de corriente constante y se ha optimizado su diseño de forma que si es actuado por una corriente de control constante sin información de realimentación, la regulación de corriente del bastidor de fuerza desde cortocircuito a 15 kV es solo de -3% . Además, para cualquier nivel de voltaje de salida dado entre cortocircuito y 15 kV, la regulación de corriente, con una variación del voltaje de entrada de $\pm 15\%$, es solo de $0,5\%$. Por lo tanto, para obtener buena regulación de corriente y buena respuesta en régimen transitorio, la ganancia del bucle de realimentación

no necesita ser muy alta. Con la incorporación de circuitos adicionales de compensación de las variaciones de voltaje de la línea principal, se obtuvo una regulación de corriente de $\pm 0,25\%$ con una ganancia de 5 en el bucle de realimentación. Con el conmutador de alto voltaje puesto en posición 1 se tiene accesibilidad a todos los componentes del bastidor de fuerza excepto aquellos contenidos en el compartimento de conmutación común en la parte superior del bastidor. El bastidor de fuerza puede también actuarse con su salida terminada en cortocircuito.

3.3 División de corriente

Cuando dos bastidores de alimentación de fuerza de corriente constante se conectan en paralelo, se deben considerar dos condiciones importantes:

- a) la corriente de línea total debe permanecer constante con cualquier forma de operación, simple o paralelo,
- b) es conveniente dividir por igual la corriente total entre los dos bastidores de fuerza.

Con una ganancia del bucle de realimentación de cinco, la característica de control de corriente de un bastidor de fuerza viene indicada por la línea CD de la figura 4. Si dos bastidores de fuerza similares se conectaran en paralelo entonces la corriente de línea total subiría a 545,4 mA, contribuyendo cada bastidor de fuerza con 272,7 mA.

Para superar esta subida de la corriente de línea total se añade una red divisora de corriente que detecta la corriente de salida de un bastidor de fuerza y proporciona una señal correctora a un arrollamiento de control auxiliar del comparador de referencia. Se dispone que esta señal correctora empiece a actuar para una corriente de salida de un bastidor de fuerza de menos del 50% de la corriente normal de línea del sistema. De este modo se obtiene la curva ABC de la figura 4 que cumple las condiciones de operación especificadas.

3.4 Alarmas de corriente

Cada bastidor de control común contiene disyuntores de alarma de corriente duplicados. Estas alarmas se actúan sobre una base de corriente-tiempo como se indica

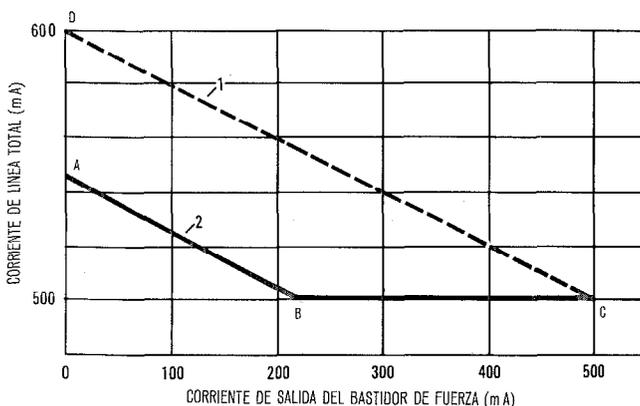


Fig. 4 Característica de división de corriente.

- 1 Característica de control de corriente del bastidor de fuerza sin red divisora de corriente.
- 2 Característica de control de corriente del bastidor de fuerza con red divisora de corriente.

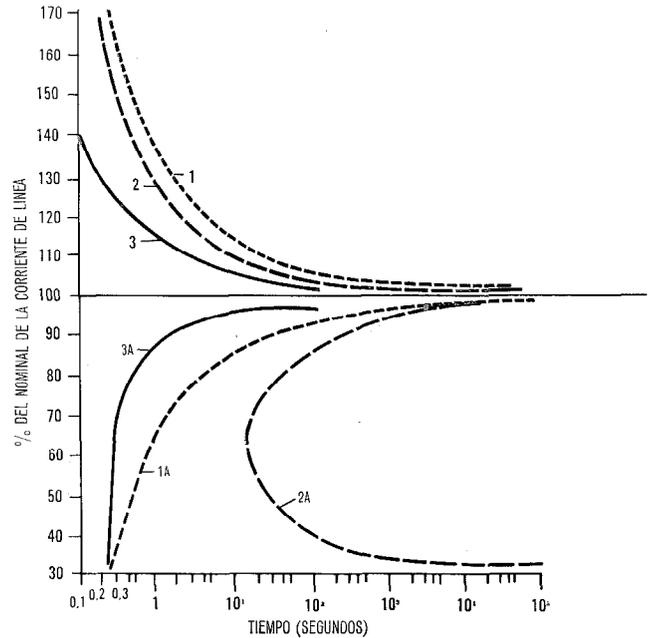


Fig. 5 Límites de la alarma de corriente.

- 1 y 1A Variación permitida de la corriente de línea durante la conmutación de rutina.
- 2 y 2A Variación permitida de la corriente de línea durante la aplicación de energía al sistema.
- 3 y 3A Nivel de corte de las alarmas contenidas en el equipo de suministro de energía.

por las curvas 3 y 3A de la figura 5. Transductores de alto voltaje duplicados observan la corriente que circula en la línea de salida activa y se utilizan relés marginales de tipo conmutador para detectar las desviaciones de la corriente de línea. Igualmente se actúan relés marginales adicionales de desviación de corriente de $\pm 1\%$ de tipo sin disyuntor. Para permitir la operación inicial del sistema se suprime temporalmente el disyuntor de corriente baja. Cada bastidor de fuerza contiene además una alarma de corte de la corriente. Esta alarma tiene dos funciones:

- a) protege el bastidor de fuerza cuando opera en su propia posición de cortocircuito;
- b) cuando dos bastidores de fuerza operan en paralelo, permite que un bastidor defectuoso se ponga fuera de servicio al mismo tiempo que el bastidor restante mantiene todo el suministro de energía.

Cuando dos bastidores de fuerza operan en paralelo, cada uno de ellos contiene una alarma de división de corriente para indicar una división desigual de la misma.

3.5 División de voltaje

Las curvas de regulación de la corriente al voltaje de salida para el equipo de suministro de energía se muestran en la figura 6. La curva 1 es la característica normal o principal, y se ve que la salida de corriente es constante hasta un voltaje de salida máximo que viene determinado por la toma utilizada en el transformador de alto voltaje. Con un mayor incremento del voltaje de salida, el circuito de realimentación pierde entonces el control de la corriente de salida y la característica de regulación desde este punto en codo hasta el circuito abierto viene determinada por la regulación natural de la etapa de

fuerza trifásica del bastidor de alimentación. Con objeto de dividir el voltaje total del sistema entre los dos terminales extremos, es necesario hacer la corriente de salida de un terminal dependiente del voltaje de salida de ese terminal. Esto se consigue controlando el suministro de bajo voltaje al transformador de alta tensión y suministrando la información de esta señal controlada a un arrolamiento auxiliar del transductor de control. Esto se llama modo de operación subordinado y corresponde a la curva 2 de la figura 6. El voltaje total del sistema se divide entre los dos terminales extremos, haciendo que un terminal sea principal y el otro subordinado, determinándose el voltaje del terminal subordinado por el punto de intersección de las curvas características del terminal principal y secundario. Por lo tanto, el terminal principal proporciona el equilibrio del voltaje total del sistema incluyendo el requerido por los voltajes de la corriente mar tierra que son generados por causas naturales.

Cada bastidor de fuerza, así como el bastidor de control común contiene una alarma de corte de voltaje. Estas alarmas se ajustan normalmente para desconectar el equipo de suministro de energía para un voltaje en exceso del 20 % aunque se preve una extensión a + 40 % por dos razones:

- a) en caso de tormentas magnéticas muy fuertes, se puede necesitar voltaje de suministro de energía extra;
- b) durante la puesta en marcha inicial del sistema no es posible un perfecto equilibrio de voltaje entre los dos terminales extremos.

Cada bastidor de fuerza contiene una alarma de desviación de voltaje de $\pm 3\%$, sin corte, para avisar al personal de la estación de un cambio en el voltaje de alimentación del terminal.

3.6 Puesta en marcha desde ambos extremos

La aplicación inicial de energía al enlace por cable se obtiene automáticamente disponiendo que un equipo terminal de suministro de energía ponga en operación al terminal distante después que éste reciba un valor determinado de corriente del cable. El valor de corriente de

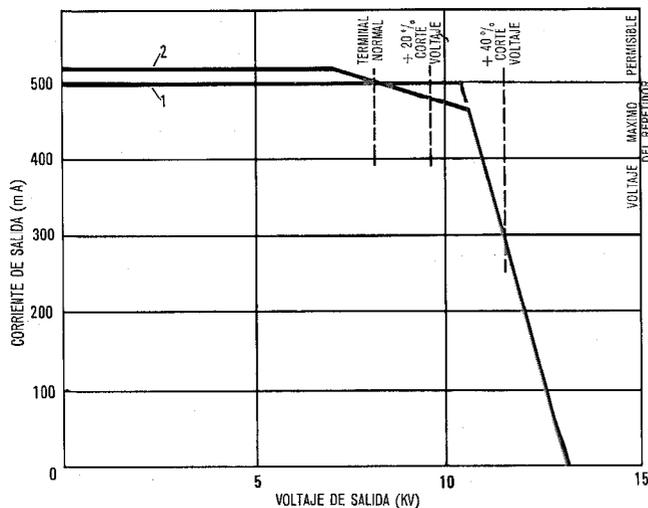


Fig. 6 Característica de regulación de la unidad de alimentación. Toma del transformador de alto voltaje 60 % del máximo.
 1 Característica principal.
 2 Característica secundaria.

cable escogido fué de 80 mA que coincidía con sistemas de cable anteriores y cumplía los requisitos de la curva 2 A de la figura 5. El procedimiento de puesta en marcha desde ambos extremos es como sigue:

a) predeterminar qué terminal iniciará la aplicación de energía. Este se designa entonces como terminal "iniciador" y se actúan varias llaves en la unidad de alimentación para disponer el modo de operación "iniciador" y "principal". A continuación se pone en marcha el equipo y proporciona una corriente de línea de 80 mA a través del bucle total de suministro de energía. El equipo no se conmutará a plena potencia hasta que la corriente de línea no alcance el valor de unos 140 mA debido a la potencia añadida del terminal distante. Este cambio de la corriente de línea se detecta mediante los circuitos de alarma de corriente del bastidor de control común que han sido desajustados temporalmente para la operación de puesta en marcha; al mismo tiempo se desconecta el disyuntor de alarma de muy baja corriente;

b) el terminal distante se designa terminal receptor y el equipo de suministro de energía se coloca en el modo de operación "receptor" y "subordinado". En este caso, los circuitos de alarma de corriente del bastidor de control común se desajustan temporalmente para poder controlar una corriente de línea de 80 mA. También se desconecta la alarma de corte de corriente para valores bajos y en adición las alarmas de corte de voltaje se extienden a + 40 %. Al ponerse en marcha un bastidor de fuerza receptor no suministrará energía a la línea hasta que en la misma haya una corriente de 80 mA durante un tiempo predeterminado. Este tiempo de retardo es ajustable desde cero a cinco minutos y es necesario para asegurar que la corriente de 80 mA recibida por el equipo "receptor" ha sido iniciada por el equipo "iniciador" y no por una corriente mar tierra generada por la actividad de una tormenta magnética;

c) la secuencia de hechos es como sigue: suponiendo que el equipo receptor ha recibido la correcta corriente de línea de 80 mA durante el período de tiempo prefijado, se conmutará a potencia total. Aunque la corriente de salida del terminal receptor será la normal, el voltaje de salida subirá lentamente a una velocidad determinada por la constante de tiempo del sistema del cable. Finalmente el equipo receptor introducirá su característica de limitación de voltaje y su corriente de salida seguirá la curva 2 de la figura 6. Al mismo tiempo, la corriente de línea ha aumentado progresivamente a lo largo de la misma y cuando la corriente recibida por el equipo "iniciador" alcance el valor de 140 mA, éste se conmuta también a potencia total. El voltaje de salida del terminal "iniciador" aumentará, disminuyendo el correspondiente del terminal receptor, hasta que se consiguen las condiciones estables de suministro de energía, como se indica por el punto de intersección de las curvas 1 y 2 de la figura 6.

3.7 Bastidor de transferencia en operación

El diagrama esquemático básico de un bastidor de transferencia en operación, instalado en una estación terminal común (distinta de una estación terminal en un extremo) se muestra en la figura 3. Del diagrama se des-

prende que por medio del conmutador de conmutación, la unidad de alimentación de reserva puede ser dispuesta como repuesto del enlace 1 o del enlace 2. Para realizar una transferencia en operación, la unidad de alimentación de reserva se conmuta a la carga artificial y ésta se ajusta de forma que el voltaje de salida de la unidad de repuesto sea igual al de la unidad regular. La corriente de salida se ajusta también cuanto sea necesario para igualar la corriente de línea normal del sistema. A continuación se actúa el conmutador de transferencia en operación, adecuado. El conmutador es de doble polo con un mecanismo de operación de acción muy rápida que impide que se quede en una posición de contacto intermedia. En estas condiciones, los papeles de las unidades de alimentación se han intercambiado con la unidad de alimentación regular aplicada a la carga artificial y la unidad de alimentación de reserva aplicada al sistema de cable submarino. Con un ajuste inicial correcto no se apreciará cambio en las condiciones de suministro de energía al sistema del cable.

3.8 Dispositivos de seguridad

Dado el alto voltaje necesario para la correcta operación del equipo, se han tomado precauciones extremas para garantizar la seguridad del personal de operación. En toda la construcción del equipo, los componentes que trabajan con potencial elevado respecto a tierra, se han segregado de los circuitos de bajo potencial. En general los circuitos de bajo potencial no poseen dispositivos de seguridad y tienen acceso fácil para mantenimiento o inspección sin necesidad de apagar el equipo. Todos los circuitos de potencial elevado están protegidos por dispositivos de bloqueo mediante un sistema de llaves numeradas. Estas llaves sirven para abrir puertas o actuar conmutadores y se utilizan, en combinación, o en una secuencia de conmutación, para garantizar que el circuito de alto potencial que se inspecciona está seguro para trabajar en él.

3.9 Características mecánicas

Las dimensiones totales de una unidad de alimentación son 228 cm de ancho, 106 cm de fondo y 198 cm de alto y consta de tres bastidores separados atornillados

entre sí cada uno de 76 cm de ancho. El bastidor de transferencia en operación y el bastidor de carga artificial tienen 122 cm de ancho, 76 cm de fondo y 198 cm de alto y el bastidor de terminación de cable tiene 76 cm de ancho, 106 cm de fondo y 198 cm de alto.

La construcción general de la unidad de alimentación está hecha de chasis que pueden extraerse para facilidad de mantenimiento e inspección de los circuitos de bajo voltaje y puertas de acceso posteriores para los circuitos de alto voltaje. El bastidor de carga artificial y, el bastidor de transferencia en operación tienen puertas posteriores de acceso para mantenimiento. Además, el bastidor de transferencia en operación tiene puertas con circuitos de seguridad individuales asociados con sus conmutadores de transferencia, de conmutación y de cortocircuito.

El bastidor de terminación de cable tiene una puerta frontal de acceso con cajas adicionales, provistas de circuitos de seguridad, que contienen las conexiones a tierra y el filtro separador de fuerza.

4. Conclusiones

La fabricación, prueba, instalación y funcionamiento inicial del equipo de suministro de energía cumplieron todo lo esperado. Una versión modificada del equipo, pero con el mismo diseño eléctrico básico, fué construída para utilizarla en el buque cablero durante las operaciones de tendido del cable. La puesta en marcha desde ambos extremos y el suministro de energía entre el buque cablero y la estación terminal fué realizada satisfactoriamente durante las operaciones de tendido y el suministro de energía completo terminal a terminal se estableció sin dificultad.

Referencia

Especificación RC2/2 P200 P1 del British Post Office.

P. S. Kelly nació en Londres, Inglaterra, en Marzo de 1927. Se unió al grupo de transmisión de Standard Telephones and Cables Limited en 1943, y estudió ingeniería eléctrica en el Politécnico de Woolwich. Se ha ocupado del diseño de equipos de suministro de energía para sistemas de cable submarino desde el principio.

Planta de suministro de energía eléctrica primaria

C. R. TAYLOR

1. Introducción

Se describe a continuación la disposición de una planta de suministro de energía eléctrica para un terminal de alimentación de cable submarino. Ciudad del Cabo, isla de Ascensión y Santa Cruz de Tenerife (islas Canarias) son estaciones terminales de alimentación del cable, que disponen de un equipo terminal alimentado con corriente alterna y un equipo de alimentación del cable. Por el contrario, Sal (isla de Cabo Verde) no contiene equipo de alimentación del cable, y su equipo terminal está alimentado con corriente continua.

El suministro permanente de corriente alterna se obtiene de grupos motor volante alternador actuados por la red de energía comercial, y con grupos diesel alternador de reserva que sustituyen a la red en caso de fallo de la misma. Grupos motor de corriente alterna alternador proporcionan la energía nominal de 400 Hz al equipo de alimentación del cable. La disposición de cada terminal se muestra en las figuras 1 y 2 en forma esquemática.

El suministro de energía para la estación de Sal se obtiene de un equipo rectificador de 27 voltios con una batería de 12 elementos en flotación a través de la salida del rectificador y un grupo diesel alternador de reserva que sustituye a la red en caso de fallo. Esta disposición se muestra en forma esquemática en la figura 3.

La estación de Sesimbra (Lisboa) es también una estación terminal de alimentación, pero el equipo de alimentación está actuado por grupos motor de corriente continua (145 voltios) alternador. En esta estación la planta de suministro de energía eléctrica primaria es común a la del sistema de cable submarino Reino Unido Portugal y por lo tanto no se incluye en este artículo.

2. Planta de suministro de energía eléctrica primaria para un terminal de alimentación del cable

2.1 Descripción general

Actualmente existen muchos tipos de sistemas de plantas de fuerza, sin interrupción, en los que la alimentación a partir de la red de energía comercial puede ser sustituida por grupos locales diesel alternador, y la elección de un sistema de esta clase resuelve el problema de suministrar energía durante el período en que la red falla y el generador diesel arranca y alcanza su velocidad y voltaje normales, dispuesto para tomar la carga. Para este proyecto se eligieron grupos motor alternador con volante, con grupos diesel alternador de reserva.

En este tipo de planta, cuando el suministro de energía de la red es normal (es decir, dentro de límites prefijados), la red excita al motor de corriente alterna que arrastra al volante y alternador, que a su vez alimenta a la carga. En caso de fallo de la red, se aísla el motor de corriente alterna y el generador diesel arranca automáticamente. Durante el período en que el generador diesel gira y aumenta su velocidad, la energía almacenada en el volante mantiene en marcha el alternador que continúa suministrando energía sin interrupción.

Tan pronto como el grupo diesel alternador alcanza su velocidad y voltaje normales, se conecta al motor de corriente alterna y el volante se acelera de nuevo a su velocidad normal.

Cuando se restablece la red, dentro de los límites prefijados, el motor de corriente alterna se conecta de nuevo a ella y el grupo diesel se detiene. Para evitar arranques y paradas innecesarias de este grupo, debido a fallos frecuentes de la red, se impone al generador un período de temporización durante el cual sigue en marcha un tiempo prefijado después del restablecimiento de la red.

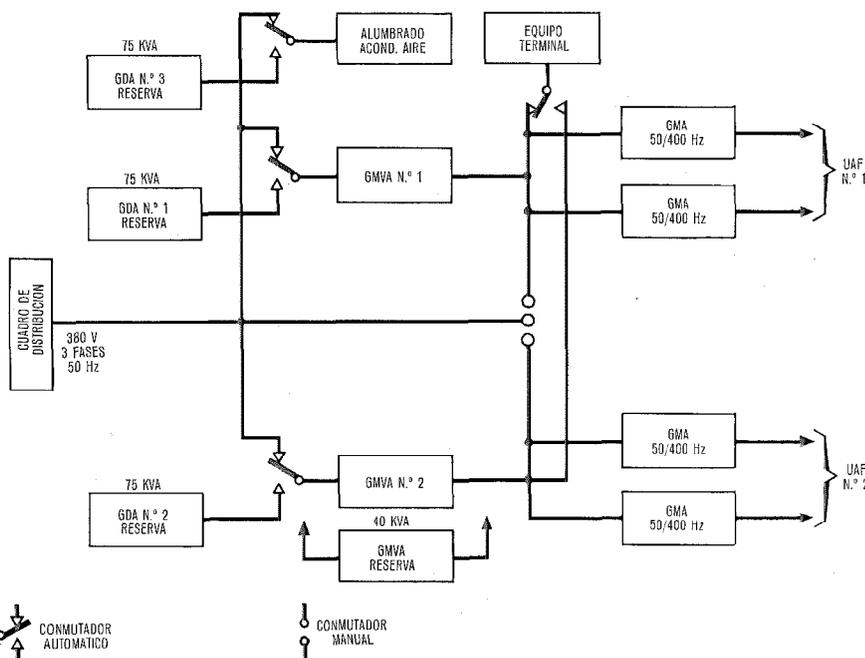


Fig. 1 Esquema de los circuitos de alimentación en Ciudad del Cabo.

- GDA Grupo diesel alternador
- GMVA Grupo motor volante alternador
- GMA Grupo motor alternador
- UAF Unidad de alimentación de fuerza

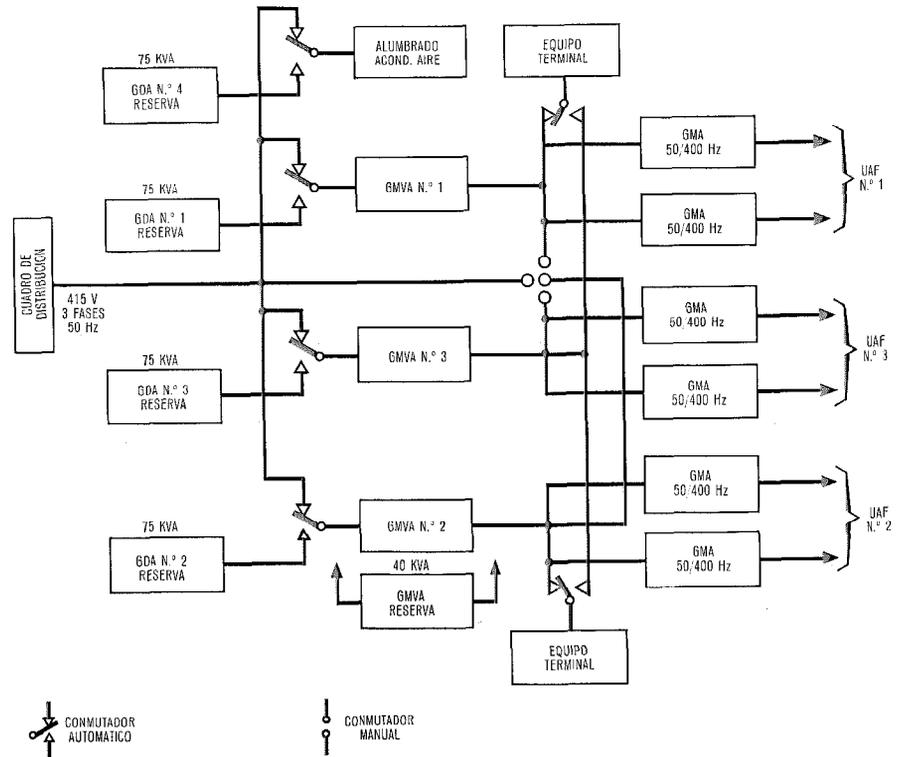


Fig. 2 Esquema de los circuitos de alimentación de isla de Ascensión y Santa Cruz de Tenerife (islas Canarias).

- GDA Grupo diesel alternador
- GMVA Grupo motor volante alternador
- GMA Grupo motor alternador
- UAF Unidad de alimentación de fuerza

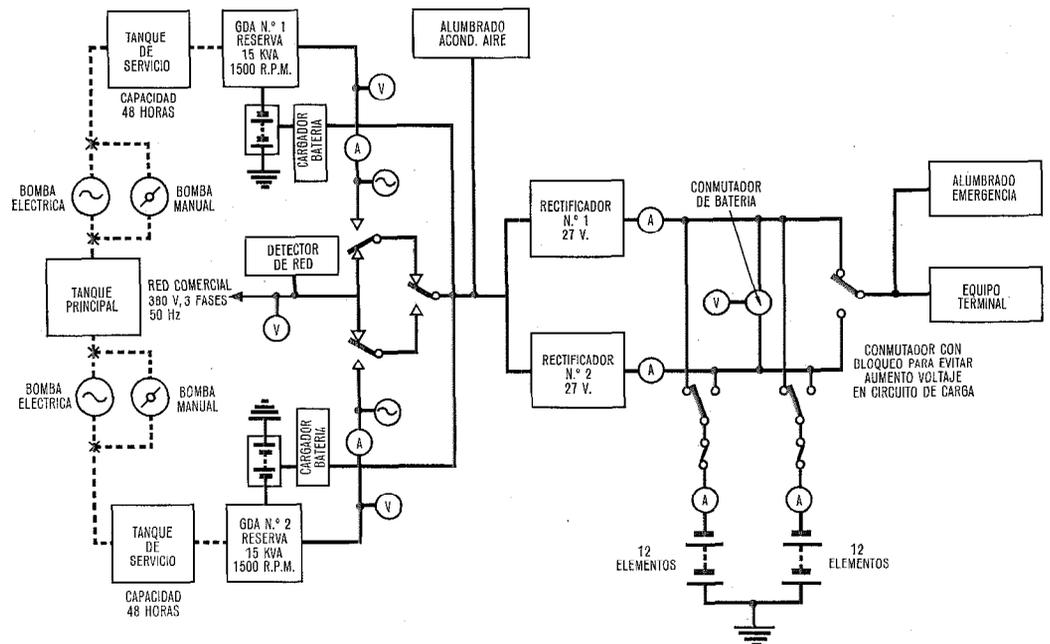


Fig. 3 Esquema de los circuitos de alimentación de isla de Sal (islas de Cabo Verde).

- GDA Grupo diesel alternador
- GMVA Grupo motor volante alternador
- GMA Grupo motor alternador
- UAF Unidad de alimentación de fuerza

Reguladores de voltaje mantienen el voltaje de salida de los alternadores dentro de estrechos límites.

Los alternadores carecen totalmente de escobillas para evitar los problemas de mantenimiento asociados con ellas y con los anillos colectores colocados en las máquinas convencionales. La salida del grupo con volante se distribuye al equipo terminal y al motor alternador de 400 Hz a través de cajas de fusibles. La velocidad nominal del grupo diesel alternador, del grupo con volante sin carga y del grupo motor alternador de 400 Hz, es de 1500 r. p. m.

2.2 Consideraciones de diseño

El equipo de alimentación del cable debe mantener una corriente de salida dentro de límites muy estrechos, y para asegurar un funcionamiento estable, la frecuencia de entrada no puede caer por debajo de un valor límite prefijado. De curvas características de funcionamiento de equipos anteriores, se estimó que la frecuencia mínima que se podía tolerar, sin que el equipo llegara a ser inestable, era de 360 Hz y teniendo en cuenta el deslizamiento con carga permitido en el motor de corriente alterna del grupo motor alternador de 400 Hz, la mínima

Planta de energía

frecuencia de salida del grupo con volante sería de 46 Hz. Para evitar una gran caída de velocidad del grupo motor alternador de 400 Hz en carga, el motor de corriente alterna debía ser del tipo de pequeño deslizamiento, y se especificó un deslizamiento máximo con carga del 2%. Teniendo esto en cuenta, la frecuencia de salida mínima del grupo con volante se limitó a 46 Hz y por lo tanto, durante los períodos de fallo de la red, cuando el volante está perdiendo velocidad, las características de éste deben ser tales que mantengan la carga sin interrupción durante un período adecuado para que el grupo diesel alcance su velocidad normal, garantizando que la frecuencia no caiga por debajo de 46 Hz. El tiempo permitido al grupo diesel para que alcance su velocidad normal es de 12 segundos.

Si la frecuencia de la energía de la red en el momento de fallo estuviera por debajo del valor nominal de 50 Hz, la velocidad del volante también lo estaría, reduciéndose entonces la frecuencia diferencial y aumentando la cantidad de energía almacenada requerida para mantener la salida y por lo tanto el tamaño del volante.

Como frecuencia mínima permisible de la energía de la red se toma la de 49 Hz y utilizando un motor de corriente alterna de 2% de deslizamiento, esto correspondía a una frecuencia del alternador de 48 Hz. En consecuencia, el volante debe cumplir la siguiente especificación:

— mantener la carga total durante un período de 12 segundos sin que la frecuencia del alternador caiga por debajo de 46 Hz cuando la frecuencia de la red es de 49 Hz (frecuencia de salida del alternador 48 Hz).

Esto es una exigencia muy severa de la que resulta un volante muy grande para la carga dada. Consecuencia de este gran volante son los efectos sobre la corriente de arranque necesaria para el motor de corriente alterna durante los períodos de arranque y reaceleración, después de un fallo de la red. Originalmente se especificó una corriente máxima de arranque del 125% de la

corriente a plena carga, pero este gran volante exigiría un período de arranque muy largo y un gran número de etapas de resistencia de arranque. En consecuencia, y para reducir el período y las etapas de resistencia de arranque a un valor más razonable, se diseñó el motor para soportar, durante el arranque, el 150% de la corriente a plena carga.

Se ha fijado la potencia del alternador en 40 kVA, distribuidos como sigue:

— carga de dos grupos motor alternador de 400 Hz (compartiendo la carga de alimentación del cable)	20 kVA
— equipo terminal	5 kVA
— otros equipos de telecomunicación	10 kVA
— alumbrado de emergencia	5 kVA

Se decidió que la potencia del grupo diesel alternador de reserva fuera de 75 kVA y se seleccionó un generador de tamaño adecuado que sería capaz de aceptar toda la carga en cuanto alcanzara su velocidad normal y también aceleraría de nuevo el volante, a plena carga, a su velocidad normal después de un fallo de la red.

Se fijaron los siguientes límites para la red de energía comercial que causarían una conmutación de la misma al grupo diesel alternador de reserva o viceversa:

— Fallo de la red:	voltaje: $\pm 10\%$ del valor nominal
	frecuencia: 49/51 Hz.
— Restablecimiento de la red:	voltaje: $\pm 5\%$ del valor nominal
	frecuencia: 49,5/50,5 Hz.

Se especificaron dispositivos de alarma e indicadores muy completos, y medios de detención tanto para los grupos con volante como para el grupo diesel alternador.

Debido a que se esperaba un gran consumo de energía de la red comercial y a la necesidad de instalar un transformador de potencia adecuada en cada estación, se preparó la tabla 1 indicativa de las cargas estimadas.

Tabla 1 - Necesidades de energía de las estaciones para un suministro sin interrupción.

Estación y tipo	Red comercial voltaje frecuencia	Nº de grupos GMVA	Consumo del grupo	Potencia arranque estimada del grupo	Carga estimada de la red	Carga máxima de la red
Ciudad del Cabo terminal único	380/220 V 3 fases 50 Hz	2	60 kVA	97,5 kVA	90 kVA 1 grupo sobre la carga 1 grupo sobre carga artificial	157,5 kVA 1 grupo sobre la carga 1 grupo puesto en marcha
Ascensión terminal doble	415/240 V 3 fases 50 Hz	3	60 kVA	97,5 kVA	150 kVA 2 grupos sobre la carga 1 grupo sobre carga artificial	217,5 kVA 2 grupos sobre la carga 1 grupo puesto en marcha
Canarias terminal doble	415/240 V 3 fases 50 Hz	3	60 kVA	97,5 kVA	150 kVA 2 grupos sobre la carga 1 grupo sobre carga artificial	217,5 kVA 2 grupos sobre la carga 1 grupo puesto en marcha

Esta tabla se basa en las siguientes condiciones de operación:

Ciudad del Cabo (estación con un solo terminal). Un grupo sin corte alimenta normalmente la carga del cable y del equipo terminal, y el segundo grupo, en marcha, se conecta a una unidad de alimentación sobre una carga artificial.

Ascensión y Canarias (estaciones terminales dobles). Dos grupos sin corte alimentan normalmente la carga del cable y el equipo terminal (uno para cada dirección de transmisión), y el tercer grupo, en marcha, se conecta a una unidad de alimentación sobre una carga artificial.

Con una asignación de 100 kVA para los servicios de la estación (acondicionamiento de aire, alumbrado, calefacción, etc.) y otras cargas no esenciales, se llegó a la especificación de un transformador de alta a media tensión de 250 kVA para Ciudad del Cabo, y de 350 kVA para las estaciones de Ascensión y Canarias.

Aunque se ha previsto una alimentación inicial de alta tensión de 6,6 kV en Ciudad del Cabo, el transformador está preparado para una tensión de 11,5 kV en futuras ampliaciones.

2.3 Detalles mecánicos

2.3.1 Grupo motor volante alternador (Fig. 4)

El motor, volante y alternador están montados sobre una placa base de acero prefabricada (de peso ligero) y con acoplamientos flexibles entre los ejes del motor, volante y alternador. En varios puntos de la parte superior de la placa se encuentran dispositivos de nivelación muy precisos que permiten instalar la placa base con la exactitud necesaria para este tipo de grupo. El volante es un disco de acero forjado, equilibrado estática y dinámicamente a un alto grado, con el eje del volante empotrado en la ranura del mismo. Su diámetro es de 1,5 m, con una anchura de 0,165 m y un peso de 2,5 toneladas.

Para minimizar las vibraciones, el volante se coloca sobre cojinetes de rodillos, con un cojinete de bolas del lado del alternador para fijar la posición. Los soportes de los cojinetes del volante están provistos de termostatos para controlar la temperatura de los mismos y de detectores de cojinetes desgastados.

El motor es trifásico del tipo de inducción con rotor devanado y anillos colectores, y tiene una potencia de

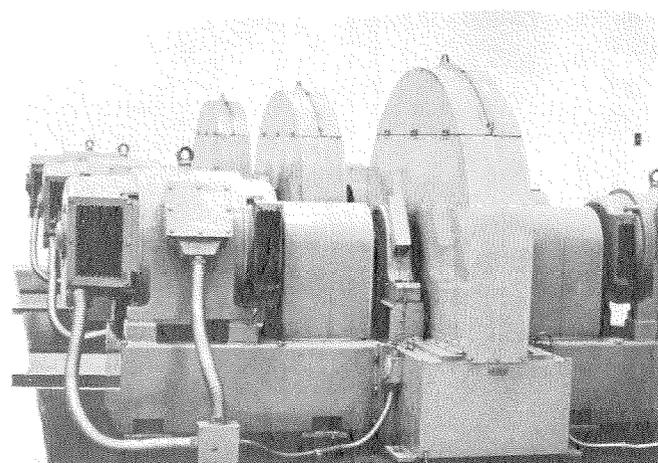


Fig. 4 Grupo motor volante alternador instalado en Ciudad del Cabo.

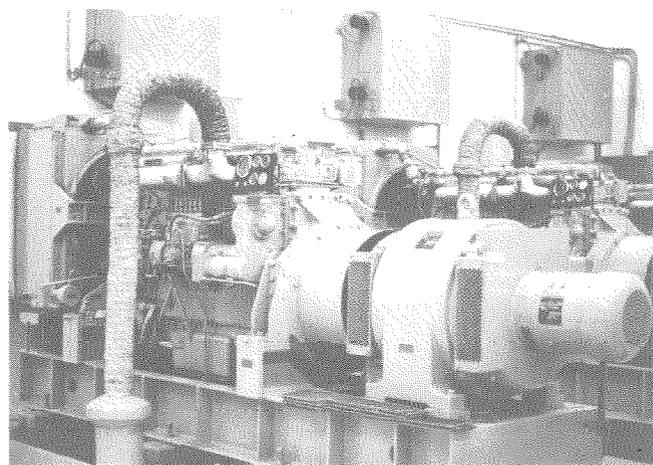


Fig. 5 Grupo generador diesel alternador.

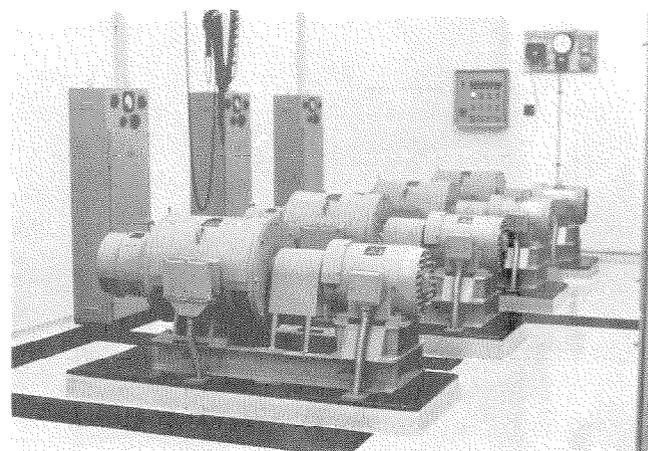


Fig. 6 Grupo motor alternador de 400 Hz.

64 CV. El alternador es una máquina trifásica, sin escobillas de 40 kVA, factor de potencia 0,9, de campo giratorio y excitatriz montada encima. Ambas máquinas y el conjunto de la placa base están fabricadas por Electric Construction (W'ton) Ltd.

2.3.2 Grupo diesel alternador de reserva (Fig. 5)

El motor diesel está fabricado por W. H. Dorman Ltd. tipo 6 QA, y es una unidad convencional de seis cilindros, cuatro tiempos, inyección directa, aspiración natural, refrigerado por agua y con una potencia en régimen permanente de 200 CV al freno a 1500 r. p. m.

El alternador es una máquina trifásica sin escobillas, de 75 kVA, factor de potencia 0,9, campo giratorio y excitatriz montada encima, y está fabricada por Electric Construction (W'ton) Ltd.

El motor diesel y el alternador están unidos directamente mediante un acoplamiento flexible y montados sobre una placa base prefabricada con perfiles de acero en U soportada por dispositivos antivibratorios del tipo "Christie" y "Grey".

La puesta en marcha del motor se realiza mediante un motor de arranque de 24 voltios de tipo axial. El motor está provisto de dispositivos de protección que permiten vigilar la baja presión de aceite, alta temperatura del agua y exceso de velocidad.

El equipo y los bastidores de control fueron diseñados y fabricados por E. C. C. South Africa Proprietary Ltd.

Planta de energía

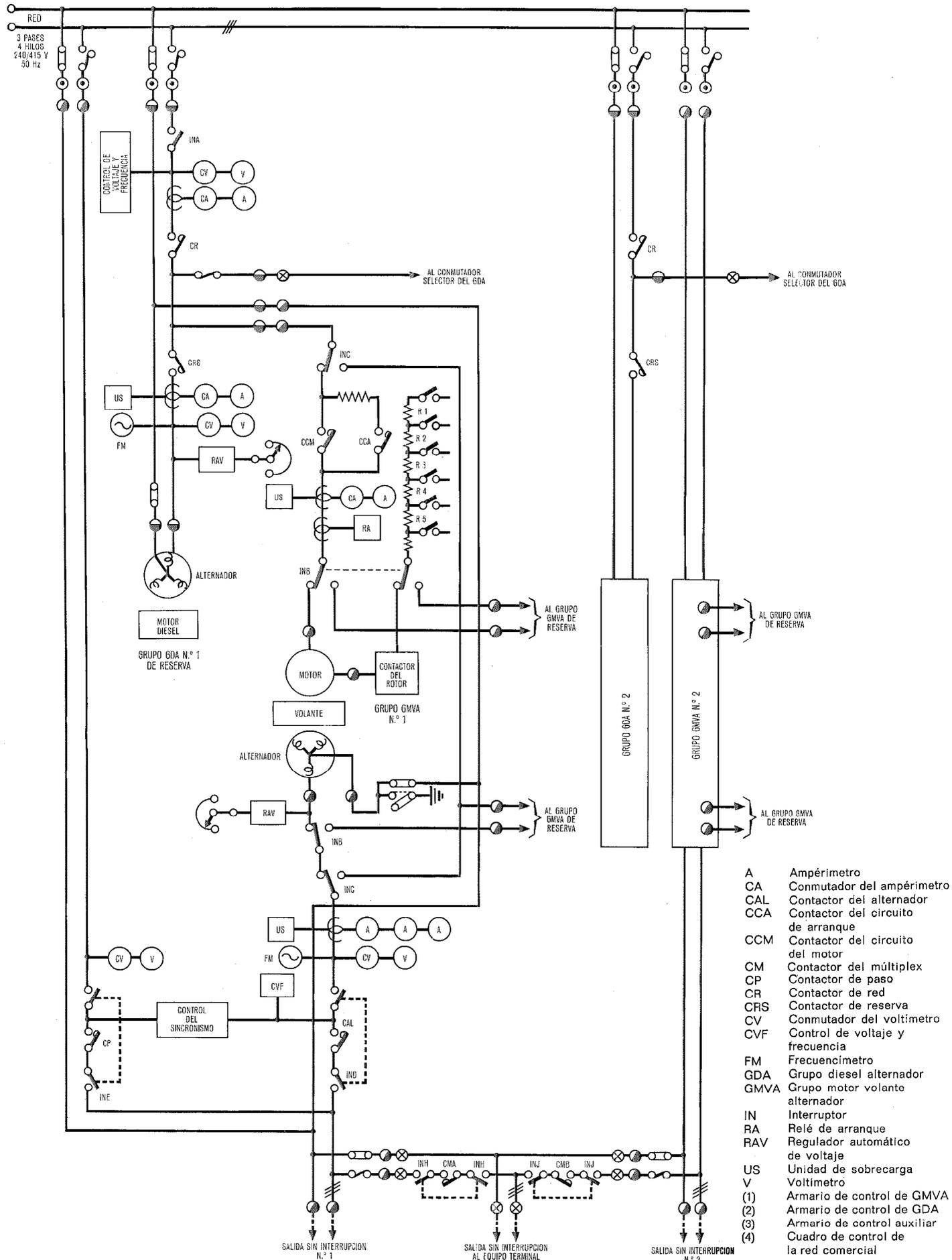


Fig. 7 Esquema simplificado del grupo motor volante alternador y del grupo diesel alternador.

2.3.3 Grupo motor alternador de 400 Hz (Fig. 6)

El motor de corriente alterna es convencional, trifásico, tipo de inducción, con rotor en jaula de ardilla y potencia de 25 CV.

El alternador es una máquina sin escobillas, de campo giratorio y excitatriz montada encima, potencia de 15 kVA, 200/115 voltios, 3 fases, 4 hilos, factor de potencia 0,1 á 0,85, y está fabricado por Mawdsley's Ltd. El sistema de campo y el circuito magnético se han diseñado especialmente para conseguir estabilidad de funcionamiento cuando el alternador se conecta al equipo de alimentación de fuerza del cable con sus transductores anejos y consecuente distorsión de la forma de onda de la corriente. Un aspecto adicional del diseño es el bajo nivel de ruido eléctrico.

2.4 Detalles de los circuitos del grupo con volante y del grupo diesel

La figura 7 es un dibujo esquemático de la planta donde, al objeto de esta breve descripción eléctrica, las tres fases se han representado por una sola línea.

2.4.1 Circuito de arranque del grupo con volante

El arranque inicial del motor de corriente alterna se supervisa por medio de una resistencia primaria en el circuito del estator y bajo el control de un relé de tiempos, junto con un banco de etapas de resistencia en el circuito del rotor, que se cortocircuitan sucesivamente hasta que en la etapa final todas las resistencias quedan eliminadas y el rotor cortocircuitado, de modo que el motor funciona como uno de inducción de tipo convencional. Hay seis etapas de resistencia cada una bajo el control de un contactor que a su vez es activado por un relé piloto. Cada relé piloto es excitado progresivamente por un conmutador uniselector de tipo telefónico, que recibe sus impulsos en función de la corriente que fluye a través de un relé limitador de corriente alimentado via un transformador situado en el circuito del estator. El relé limitador se ajusta para cerrarse cuando la corriente del estator excede del 110 % de su valor a plena carga, y abrirse cuando la corriente cae al 60 % de este valor para las tres primeras etapas.

El tiempo invertido por el grupo en alcanzar la velocidad normal es de 8 minutos aproximadamente. Se dispone de un termostato para vigilar la temperatura de las resistencias y parar el grupo si se excede el límite de seguridad.

2.4.2 Unidades de control

Medidores de voltaje y de frecuencia permiten vigilar la red comercial de entrada y la salida del alternador del grupo con volante.

La unidad que comprueba el suministro de energía de la red, inicia la secuencia de control automático de arranque del grupo diesel alternador en caso de fallo o desviación de esta energía más allá de los límites establecidos, y la de parada cuando se restablece dentro de estos límites.

La unidad que comprueba la salida del alternador con volante, detiene el grupo si los valores de alimentación exceden los siguientes límites:

- voltaje: $\pm 10\%$ del valor normal,
- frecuencia: $\pm 10\%$ del valor normal.

Las unidades son dispositivos de estado sólido, de aspecto idéntico y utilizan los mismos circuitos. Los límites de operación se obtienen de potenciómetros ajustados previamente.

Para evitar la operación prematura de la unidad de vigilancia y control del grupo con volante, durante el período inicial de arranque, esta unidad no se introduce en el circuito hasta que el grupo no alcance aproximadamente la velocidad normal.

2.4.3 Circuito de paso y sincronización

El circuito de paso facilita un medio para alimentar directamente a la carga desde el suministro de corriente alterna de 50 Hz de la red comercial, lo que permite poner fuera de servicio al grupo con volante. Sincronizando la salida del alternador de este grupo con la red, se puede realizar la conmutación sin que ésta afecte a la carga esencial, es decir, sin interrupción en el suministro de energía. Esto se consigue simulando un fallo de la red y arrancando el grupo diesel que entonces continúa suministrando energía al motor de corriente alterna del grupo con volante. A continuación se sube o baja la velocidad del motor diesel hasta que la salida del alternador está en sincronismo con la red, en cuyo momento se realiza la transferencia. Un sincronoscopio permite observar el momento en que se alcanza la sincronización, y además se incorpora un dispositivo de seguridad que consiste en un relé especial que automáticamente completa el circuito de sincronización en el instante correcto, evitando los daños que pudieran originarse como consecuencia de una sincronización fuera de fase realizada por un operador. Cuando el grupo con volante, normalmente en servicio, está parado y la carga esencial alimentada directamente desde la red, se puede seleccionar el grupo con volante de reserva y una vez puesto en marcha, sincronizarle con la red y a continuación transferirle la carga.

Esta característica es muy útil ya que permite tener fuera de servicio a cualquier grupo para realizar rutinas de mantenimiento.

Existe un dispositivo de seguridad que impide que en ningún momento se conecte al de repuesto más de un grupo con volante de servicio.

2.4.4 Circuito de conmutación del equipo múltiple

Este circuito proporciona una segunda fuente de alimentación en el caso, poco probable, de fallo de la alimentación sin interrupción, del equipo terminal y múltiple, mediante una conmutación automática al segundo grupo con volante, si éste estuviera en marcha. Con este sistema existe, desde luego, un corte momentáneo de energía durante el funcionamiento de los contactores de conmutación.

Unos conmutadores permiten seleccionar cualquiera de los grupos con volante como grupo de servicio normal, quedando el otro de reserva.

Se dispone de aisladores que permiten aislar de la alimentación a uno de los contactores con el otro en servicio, lo que permite los trabajos para mantenimiento.

2.4.5 Circuito de conmutación de los grupos diesel alternador

Como se desprende de las figuras 1 y 2, se ha instalado un grupo diesel alternador separado para suministrar energía a los servicios esenciales de la estación (es decir, acondicionamiento de aire y alumbrado) en caso de fallo de la red. La salida de este grupo es idéntica a la de los restantes grupos diesel y se dispone de un circuito que permite a cualquiera de ellos asociado con los grupos con volante, ser seleccionado para suministrar energía a los servicios de la estación, lo que libera al grupo normalmente destinado a este servicio que puede pararse para mantenimiento.

Análogamente, una conmutación permite al grupo diesel asociado con los servicios de la estación ser seleccionado para operar en lugar de cualquiera de los grupos diesel de reserva.

Con este tipo de conmutación, se deben disponer circuitos de protección que impidan poner en paralelo la red comercial con la salida de cualquier grupo diesel alternador, y para ello se ha previsto un sistema de dispositivos de bloqueo mecánicos y eléctricos que obligan al operador a seguir una rutina de conmutación dada cuando intercambia los grupos diesel.

En la planta de Ciudad del Cabo se ha instalado un circuito externo adicional que permite que un grupo diesel alternador móvil sustituya a cualquiera de los grupos diesel de la estación.

2.4.6 Instrumentación, alarmas e indicadores

Se ha previsto una gama completa de instrumentos que permiten vigilar la red, los grupos sin interrupción y los de reserva en cuanto se refiere a voltaje, corriente y frecuencia.

La lista completa de alarmas e indicadores se sale un poco del cuadro general de este artículo y bastará saber que:

- a un grupo diesel están asociados 10 dispositivos de alarma y 9 indicadores,
- a un grupo con volante están asociados 10 dispositivos de alarma y de 12 a 6 indicadores según la estación.

Cada una de las alarmas tiene un interruptor de reposición situado en la unidad de lámparas. El tipo de alarma se halla grabado en el capuchón de la lámpara, que se enciende cuando la alarma se produce, al mismo tiempo que suena un zumbador. Este deja de sonar cuando la alarma cesa.

Los circuitos de alarma están conectados a los terminales para extenderlos al sistema de alarmas de la estación.

2.5 Detalles del circuito del grupo motor alternador de 400 Hz

El motor es del tipo de inducción en jaula de ardilla y se pone en marcha automáticamente en dos etapas después de actuar el conmutador de arranque. En la primera etapa, los tres devanados del estator del motor están conectados en estrella para reducir la corriente de arranque. Después de un tiempo prefijado (aproximadamente 14 segundos), actúa la segunda etapa que conecta los

devanados en triángulo. En esta etapa se aplica el máximo voltaje a cada devanado y el motor funciona normalmente. Un regulador de voltaje transistorizado mantiene el voltaje del alternador (200/115 voltios, 3 fases, 4 hilos) dentro de $\pm 2\%$ del valor nominal.

Un contactor de salida del alternador permite que la alimentación de 400 Hz a la unidad de suministro de fuerza asociada, se desconecte automática e inmediatamente en el caso de fallo de la alimentación del motor o por actuación del disyuntor de sobrecarga del mismo. El contactor garantiza también que la carga no se conecte al alternador hasta que el motor no gire a su velocidad normal y en la conexión en triángulo.

2.6 Sistema de combustible

En cada estación terminal se han previsto tanques de reserva de combustible, pero debido a las irregularidades locales del terreno y a reglamentos de seguridad distintos, los tanques varían en tamaño y están instalados en posiciones diferentes.

2.6.1 Estación de Ciudad del Cabo

El tanque de servicio de cada generador diesel contiene suficiente combustible para asegurar un funcionamiento de 12 horas, después de lo cual nuevo combustible se transfiere automáticamente desde el tanque principal, instalado fuera del edificio del terminal, por medio de una bomba eléctrica instalada debajo de cada tanque de servicio y controlada por conmutadores situados en el mismo, que se actúan por la acción de un bajo o alto nivel de combustible.

Los contactores de los motores de las tres bombas eléctricas están montados en un armario de control común sujeto a la pared junto a los tanques de servicio y la alimentación de corriente alterna se toma de la distribución de energía de los servicios esenciales de la estación.

Se ha instalado también una bomba rotatoria manual en paralelo con la bomba eléctrica; se utiliza en caso de fallo de esta última. La capacidad de combustible del tanque principal es de unos 13.600 litros, y su nivel de combustible se controla mediante un dispositivo que gobierna un indicador de nivel situado en la sala de máquinas.

2.6.2 Estaciones de Ascensión y Canarias

Los tanques de servicio tienen una capacidad de 12 horas de funcionamiento, pero el tanque de reserva principal está situado a gran distancia del edificio del terminal, lo que exige una canalización de combustible muy larga. Debido a esto es necesario instalar una bomba eléctrica y otra de reserva en las proximidades del tanque principal. Esta bomba está controlada por los conmutadores de nivel de los cuatro tanques de servicio. Con esta disposición, a menos que se tomen precauciones para controlar individualmente la entrada de combustible a cada tanque de servicio, todos los tanques recibirían combustible en cuanto actuara la bomba aun cuando estuvieran llenos, de ahí que se hayan instalado válvulas de flotación en cada tanque de servicio que cierran la entrada de combustible cuando el tanque está lleno. Se ha instalado también una bomba rotatoria ma-

nual. La capacidad de combustible del tanque principal es de unos 13.600 litros en isla de Ascensión y de 20.000 en Canarias.

Agradecimiento

El autor quiere expresar su gratitud a los miembros de "Electric Construction (W'ton) Ltd.", "E. C. C. South Africa Proprietary Ltd." y "Mawdsley's Ltd." por la información suministrada durante la preparación de este artículo.

C. R. Taylor nació en Londres el 26 de Octubre de 1919 e hizo sus estudios técnicos en el West Ham College of Technology. Ingresó en Standard Telephones and Cables en 1946 donde se ha ocupado del diseño y estudio de plantas de energía eléctrica y de otros muchos aspectos ligados al suministro de plantas para enlaces de comunicaciones a gran distancia, es decir, microondas, líneas terrestres y sistemas de repetidores sumergidos.

Posee el certificado final de ingeniería eléctrica de la City and Guilds of London y es miembro del Institution of Electrical Engineers.

Harold P. Westman, editor de *Electrical Communication* se jubila

Después de 24 años de servicio con la International Telephone and Telegraph Corporation, Harold P. Westman, editor ejecutivo de "Electrical Communication" se ha jubilado. Durante este tiempo ha guiado la publicación de esta revista al primer plano entre las revistas técnicas relacionadas con el desarrollo e investigación de los equipos de comunicaciones.

Harold P. Westman nació en Springfield, Massachusetts, el 29 de Mayo de 1904. Desde su juventud se interesó activa-

mente en electrónica y muy joven consiguió licencias como aficionado y operador de radio, adquiriendo experiencia en comunicaciones telegráficas, tubos de vacío y redes telefónicas.

Desde 1926 a 1929 trabajó entre el personal de QST, publicado por la American Radio Relay League, llegando a ser editor técnico en 1928. En 1929 se incorporó al personal de la dirección del Institute of Radio Engineers, que ahora es Institute of Electrical and Electronics Engineers. Después de actuar como ayudante del secretario, fue en 1930 secretario nacional del Instituto. Entre otras obligaciones tiene la edición de los "Proceedings of the IRE".

Ante la inminencia de la entrada de Estados Unidos en la guerra, la American Standards Association ahora el USA Standard Institute, estableció un programa para activar el desarrollo de normalización, que se necesitaba urgentemente, Mr. Westman fue prestado por el Instituto de ingenieros de radio para crear y dirigir el comité de radio, transfiriéndose completamente en 1943. Por primera vez coordinó los puntos de vista del ejército, marina y aire con aquellos de los fabricantes para desarrollar las normas específicas de calidad de componentes eléctricos y otros elementos que serían aceptados sin modificación por todos los interesados.

En 1945 fue nombrado editor adjunto de **Electrical Communication**, publicada trimestralmente por International Telephone and Telegraph Corporation desde 1922. Al retirarse su predecesor en 1948 fue nombrado editor jefe. En 1968 fue nombrado editor responsable de las cuatro ediciones en inglés, francés, alemán y español de esta revista, cada una bajo el control de un editor nativo.

Ayudó en la preparación de la tercera edición del Reference Data for Radio Engineers y actuó como editor de la 4ª y 5ª edición de este sobresaliente libro.

Mr. Westman ha dedicado cuatro décadas a la literatura de ingeniería como autor y editor. Durante este tiempo ha estado al frente de las actividades de normalización. Se ha especializado en los campos de definiciones, términos técnicos y símbolos como elementos esenciales en la ingeniería de telecomunicación y electrónica.

Es socio de Standards Engineers Society, miembro del Institute of Electrical and Electronics Engineers y es socio del Institute of the Aeronautical Sciences, American Radio Relay League, Veteran Wireless Operators Association, Amateur Astronomers Association, and Society of Technical Writers and Publishers.



Diseño y fabricación de tubos para repetidores submarinos

F. G. HAEGELE

1. Introducción

Las propiedades especiales y los fundamentos del diseño de un tubo para un repetidor submarino, han sido revisadas en un artículo anterior [1].

Se llegó a la conclusión de que tal tubo debe tener una transconductancia alta a baja tensión de ánodo junto con baja capacidad entre electrodos. En el citado artículo se hacía referencia a dos tubos diseñados para aumentar la capacidad de canales más allá de las posibilidades de los anteriores. Estos dos tubos fueron el pentodo LS 882 y el tetrodo VX 7158.

Este último fué llamado después 5A/190 G y diseñado para servicio con ancho de banda de 3 MHz y es el objeto del presente artículo.

2. Diseño del tetrodo 5 A/190 G

2.1 General

Las tensiones de trabajo del cable de Sudáfrica indican la necesidad de tubos para tensiones extremadamente bajas y por consecuencia distancias entre electrodos muy pequeñas. Esto lleva a la utilización de rejillas de cuadro (frame grids) para la rejilla de control y la rejilla pantalla con el fin de obtener buena linealidad.

2.2 Características de funcionamiento

Para obtener una distorsión baja, buena sensibilidad y alta ganancia, las características deben ser similares a las de los pentodos.

Esta característica se logra controlando el potencial del espacio entre la pantalla y el ánodo. Los electrones secundarios se emiten desde el ánodo por bombardeo de los electrones primarios encauzados a través de la rejilla pantalla. Un mínimo de potencial delante del ánodo obligará a los electrones secundarios a volver al ánodo. Este mínimo debe tener un valor bien definido y uniforme en toda la sección del haz de electrones a fin de actuar sobre todos los secundarios. La falta de uniformidad redondea el codo A y aumenta la pendiente de la parte AB (Fig. 1) limitando las condiciones de trabajo del tubo y aumentando la distorsión armónica.

2.3 Problemas prácticos en la mejora de las características

En un pentodo se obtiene el mínimo de potencial deseado mediante una rejilla polarizada (supresora) colocada entre la pantalla y el ánodo. En un tubo de baja ten-

sión con separaciones muy pequeñas entre electrodos, esta rejilla podría causar en su contorno variaciones en el campo eléctrico que destruiría la condición de uniformidad. El tubo LS 882 era un pentodo para 70 voltios en ánodo en el que esta variación era justamente aceptable.

La alternativa usada en el 5A/190 G es producir el mínimo de potencial por densidad de carga de espacio. Este es el principio de los tetrodos de haz. Se puede producir así un mínimo de potencial totalmente uniforme. El espectro de velocidad de los electrones secundarios (Fig. 2) muestra que aproximadamente el 90 % está en la región de menos de 20 electron-voltios. El pico que aparece a 50 voltios corresponde a electrones primarios reflejados. Por consecuencia la contra-tensión correspondiente al mínimo de potencial debe ser unos 20 voltios con relación al ánodo. La tensión de ánodo del 5 A/190 G (50 voltios) y la velocidad equivalente de los electrones secundarios son comparables y tan bajas que la distribución tiende a un desplazamiento lateral. Esto agrava el problema de control por mínimo de potencial.

Se adoptó entonces la medida convencional de introducir placas deflectoras para ayudar a definir el mínimo. Se acometió el reajuste extraordinariamente preciso de la forma de las placas para lograr la óptima supresión de la emisión secundaria. Debido al pequeño tamaño del tubo hubo de tenerse en cuenta hasta el factor más insignificante, como la posición relativa de los hilos de la rejilla pantalla y los bordes del ánodo. En esta investigación resultó de gran ayuda un circuito de resistencia análogo (cuba electrolítica). Los resultados prácticos de estos ejercicios de dimensionado revelaron que los objetivos podían ser logrados. La tensión del codo (punto A, Fig. 1) e impedancia (pendiente AB), son dependientes entre sí y es posible dibujar un gráfico (Fig. 3) relacionando estos parámetros, de donde se puede calibrar el efecto de las tolerancias en las dimensiones.

Debe recalarse que la tensión de codo necesaria para alta ganancia debe ser baja y debe acercarse estrechamente al valor de la contra-tensión necesaria para la adecuada supresión de la carga de espacio (15 á 20 voltios). Como medio particularmente efectivo para mover los electrones lateralmente se hace rugosa la superficie

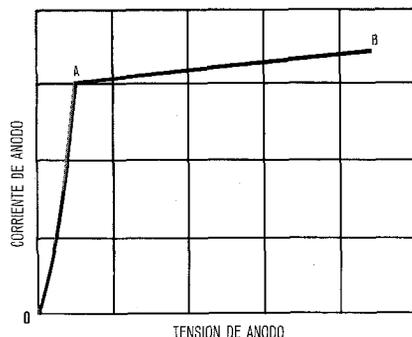


Fig. 1 Características de un pentodo.

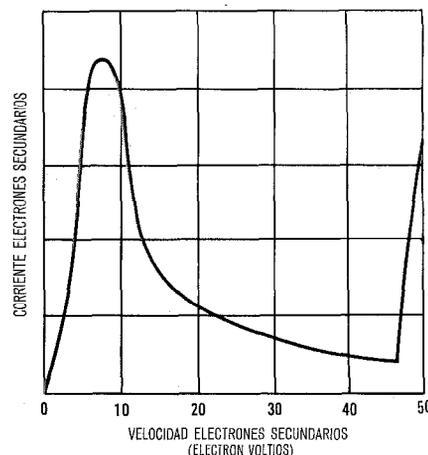


Fig. 2 Distribución de la velocidad de los electrones secundarios.

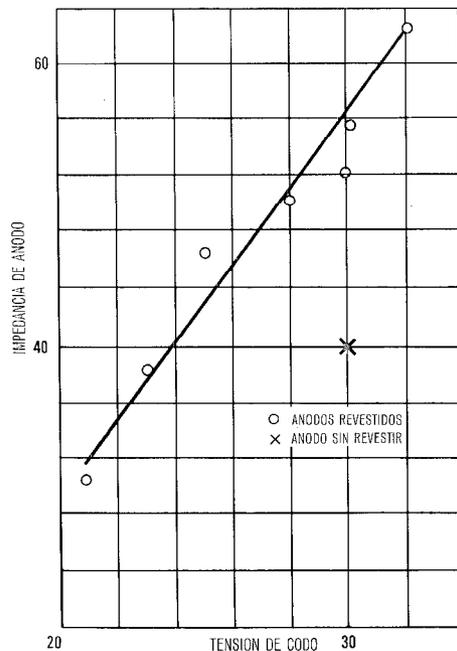


Fig. 3 Relación entre la impedancia de ánodo y la tensión de codo medida con corriente de ánodo de 30 mA, voltaje de codo 50 V., y voltaje rejilla pantalla 45 V.

del ánodo para retener los electrones en la estructura laberíntica así formada. En este caso la mejora fué de un 20 % de reducción en la tensión de codo y un 20 % en el aumento de la impedancia de ánodo. En la práctica la superficie rugosa fué una capa de polvo de níquel de alta pureza sinterizado en la superficie del ánodo. El estudio analógico dió sólo dimensiones normales. Para obtener la corriente requerida con las bajas tensiones disponibles, las separaciones entre cátodo y rejillas deben ser muy pequeñas. La sección siguiente dá las dimensiones fundamentales.

2.4 Dimensiones

Separación cátodo-rejilla de control	0,07 mm
Separación rejilla de control-rejilla pantalla	0,10 mm
Separación rejilla pantalla-placas deflectoras	1,42 mm
Separación rejilla pantalla-ánodo	2,03 mm

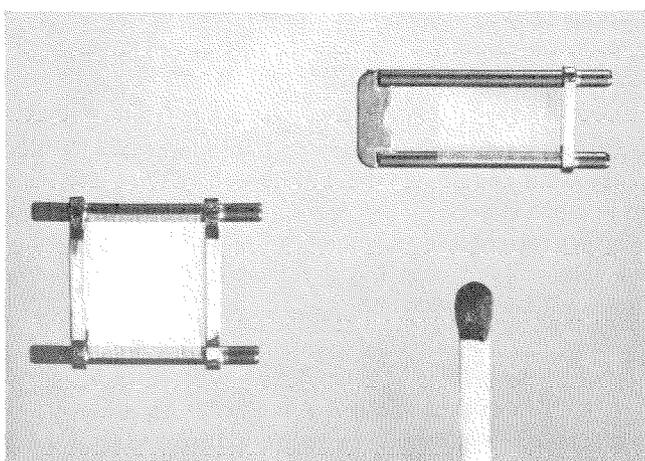


Fig. 4 Rejillas de cuadro del tubo 5 A/190 G derecha, rejilla de control izquierda, rejilla-pantalla.

Ancho del cátodo	3,5 mm
Longitud activa del cátodo	9,4 mm
Ancho útil del ánodo	3,5 mm

2.5 La sección triodo

Para conservar la distribución uniforme del campo con separaciones tan pequeñas, las rejillas fueron del tipo llamado "de cuadro" como se representan en la figura 4.

La rejilla de cuadro está formada por dos soportes mantenidos rígidamente separados por tirantes resistentes y por un hilo lateral bobinado alrededor. Normalmente el marco es de molibdeno y el hilo de tungsteno, el cual es devanado a tensión considerable para que permanezca tenso cuando está caliente durante el funcionamiento. Como se ve en la fotografía los tirantes son muy gruesos a fin de resistir la fuerza de compresión creada por varias vueltas de hilo de tungsteno de 10 μ. El espesor de estos tirantes en la rejilla de control es de 0,3 mm. Este espesor supone una limitación a la separación mínima entre la rejilla de mando y la pantalla. Sin embargo en la 5 A/190 G la separación entre la rejilla de control y la pantalla era menor que el grueso del tirante y se dispuso una estructura alternativa [2]. El cuadro de la rejilla de control se hizo con los dos tirantes convencionales en un extremo y una barra sencilla en el otro en forma de puente. Con esta construcción es posible introducir esta rejilla dentro de la pantalla y por tanto ensamblar el cátodo y las dos rejillas en los aisladores diseñados para mantener sus separaciones relativas sin la limitación del grueso de los tirantes. Las figuras 5 y 6 muestran una vista frontal y una lateral de este conjunto.

Esto resuelve el problema sin sacrificar la resistencia de los cuadros. Otra ventaja adicional sobre los sistemas precedentes con dobles tirantes en ambos extremos es que la sustitución de un par de éstos por una barra simple exterior produce una reducción de la capacidad de la rejilla de control. Podría argumentarse que el mayor vano de los soportes laterales produciría una mayor flecha de los mismos bajo la tensión del hilo lateral. Cálculos y medidas demostraron que el efecto es totalmente despreciable. Al mismo tiempo, es de notar que el problema ha sido resuelto devanando la rejilla pantalla sobre aisladores montados sobre el marco de la rejilla de control. Aunque así se puede lograr una estructura precisa y rígida, en el presente caso hay serios problemas de fugas eléctricas y acoplamiento térmico que impiden su aplicación satisfactoria.

2.6 Diseño final

Aunque lo que antecede demuestra que puede ser diseñado mecánicamente un tubo con las características requeridas, hay un gran número de detalles accesorios que es necesario resolver antes de alcanzar la etapa de fabricación en serie, y sobre todo para el servicio en repetidores submarinos. En esta sección se describen individualmente esos detalles.

2.6.1 Cátodo

Para tipos anteriores (pentodos 5 A/181 [1]) se había desarrollado y experimentado una aleación de níquel con tungsteno que se usó en el caso actual.

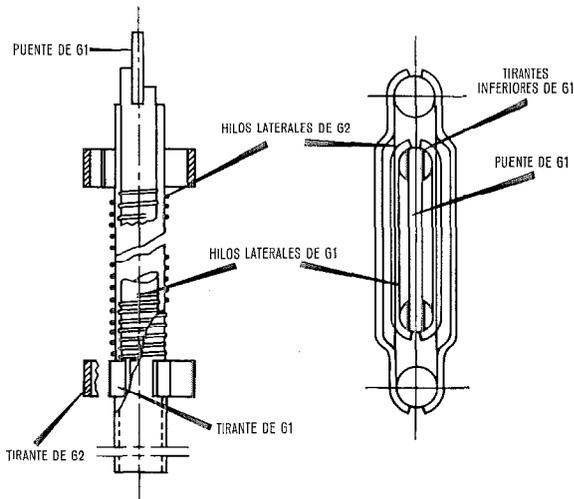


Fig. 5 Sección del conjunto de rejillas.

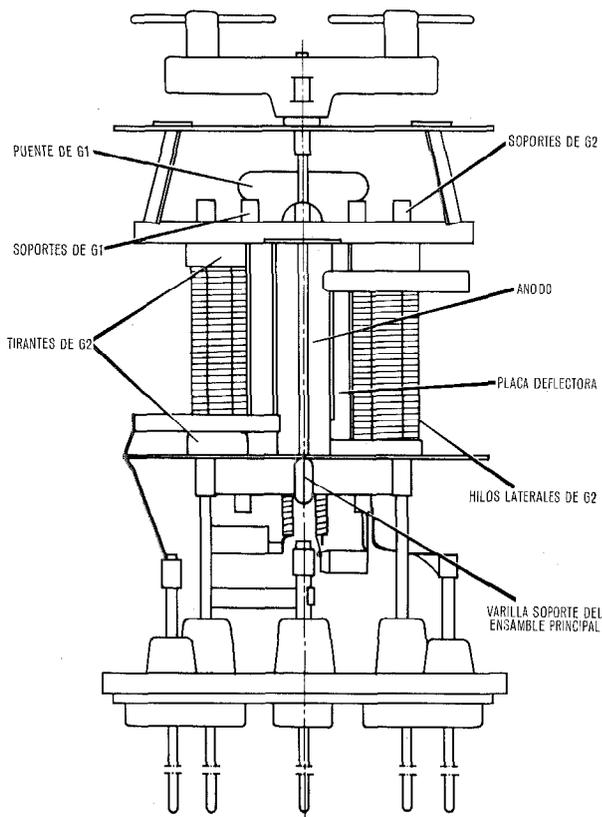


Fig. 6 Vista de conjunto del tubo 5 A/190 G.

Los primeros tubos británicos para repetidores submarinos usaban en el cátodo un recubrimiento de carbonato doble de bario y estroncio aplicado en baja concentración a fin de obtener un recubrimiento rugoso y poroso fácil de degasificar durante el proceso. En el tubo 5 A/190 G se empleó un carbonato triple conteniendo una pequeña proporción de calcio. Este material es bien conocido y tiene propiedades de emisión termoiónica por lo menos tan buenas como el material anterior, y la ventaja de un menor tamaño de partículas lo que da un recubrimiento más compacto y liso apropiado para las pequeñas distancias existentes en la 5 A/190 G.

2.6.2 Filamento

Se usó también un filamento de tungsteno en espiral semejante al de la 5 A/181 diferenciándose solamente en la tensión y corriente de trabajo. Tiene un recubrimiento por cataforesis para aislar las distintas espiras entre sí pero el aislamiento entre el filamento y el cátodo se logra mediante el tubo de alúmina no porosa usado en el tubo precedente.

2.6.3 Rejillas

Las rejillas se han descrito en la discusión sobre las separaciones entre electrodos (2.5).

2.6.4 Anodo

La investigación analógica determinó las dimensiones de la superficie útil con límites precisos. Para mantenerle a temperatura razonablemente baja se le equipó con aletas de refrigeración. Como su sección es pequeña comparada con el área de las rejillas sería difícil el proceso de los ánodos en el tubo satisfactoriamente, calentándolos por inducción mediante bobinas paralelas a las superficies útiles. En lugar de esto se disponen los dos tirantes que fijan entre sí los dos medios ánodos uno en la parte inferior y otro en la parte superior de la estructura, formando dos medios anillos situados en distinto plano unidos por los dos semi-ánodos. Una bobina de calentamiento por corrientes de Foucault se desliza sobre el tubo de forma que induce corriente directamente en el anillo formado por los dos tirantes citados y los dos medios ánodos y la corriente inducida pasa a través de las caras de los semi-ánodos en dirección paralela al eje de la bobina. Los tirantes deben ser reforzados suficientemente para permitir el paso de esta corriente.

2.6.5 Apantallamiento

Las pantallas superior e inferior exteriores a los aisladores también sirven para mantener la estructura rígidamente ensamblada con un mínimo de juntas soldadas y proporciona además un sistema para soportar en su sitio, el manguito del filamento mediante pequeños tubos cerámicos montados en tensores de tungsteno.

2.6.6 Base

Para este tubo se escogió un pie de vidrio prensado con hilos de conexión flexibles.

Esto supone un cambio radical en los tubos de los repetidores submarinos británicos anteriores, en los que la conexión de la rejilla de control se hacía por una toma en la parte superior y patillas en la parte inferior del pie para las restantes conexiones. La nueva base tiene claras ventajas con respecto a robustez, firmeza y reproducibilidad.

2.7 Construcción del tubo completo

A medida que el ancho de banda se hace mayor, el amplificador se hace más complejo y exige más precisión a los tubos en cuanto a lo que esto influye en los valores de los componentes del circuito. El nuevo tubo es muy uniforme de muestra a muestra en cuanto a capacidad e

inductancia debido a su estructura de precisión. Esto es particularmente importante en cuanto se refiere a la inductancia de la conexión de cátodo, ya que ésta produce una variación de fase mayor que la causada por el tiempo de tránsito y por los componentes del circuito. En la figura 6 se muestra un conjunto completo.

Los marcos de las rejillas, cátodo, placas deflectoras y ánodo se mantienen ensambladas rigidamente entre las pantallas superior e inferior. El cátodo se conecta por dos sitios a la pantalla inferior que sirve también de punto común a las placas deflectoras. La pantalla inferior se suelda firmemente a tres conductores de la base de vidrio prensado. Así el circuito de cátodo tiene una inductancia mínima.

Los electrodos se sueldan a las patillas de los hilos de forma que se logren las mayores ventajas de las inductancias mutuas para reducir la inductancia efectiva.

2.8 Materiales y procesos

Además del cátodo, todas las partes que normalmente son de níquel se fabrican con la misma aleación de níquel y tungsteno. Esto tiene la doble ventaja de mejor control de su pureza y de mayor rigidez.

Los marcos de las rejillas son de molibdeno. Las varillas se seleccionan con tolerancias muy estrechas, ya que éstas determinan los espacios esenciales entre electrodos. Las partes se sueldan con una aleación de níquel y oro.

Un avance muy particular consiste en la mecanización de todos los componentes de aleación de níquel (cátodo, placas y pantallas) por un proceso de fotograbado (etching). Las distintas partes de los tubos precedentes eran fabricados por estampación, lo que daba una continua fuente de problemas debido a partículas metálicas, precisándose frecuente mantenimiento de las herramientas y repetidas limpiezas para eliminar las rebabas y virutas. El fotograbado elimina estos riesgos y produce piezas exactas que solo necesitan ser dobladas para su formación. Este proceso es ventajoso por ejemplo para producir componentes con aletas que no precisan bordes netos (Fig. 7).

2.9 Características eléctricas nominales del tubo 5 A/190 G

Tensión de filamento	7,4 V	
Corriente de filamento	387 mA	
<i>Condiciones de trabajo</i>	<i>Salida</i>	<i>Entrada</i>
Tensión de ánodo	50 V	30 V
Tensión de pantalla	45 V	35 V
Corriente de ánodo	15 mA	12 mA
Corriente de pantalla	3,0 mA	2,65 mA
Transconductancia	22,5 mA/V	21 mA/V
Tensión de rejilla control	-1,6 V	-1,5 V
Impedancia de ánodo	45 Kohms	33 Kohms
Tensión de codo a 30 mA	25 V	
Tensión de codo a 15 mA	14 V	
Capacidad de entrada en caliente	28,5 pF	
Capacidad de salida	5,0 pF	
Capacidad rejilla-ánodo	0,030 pF	

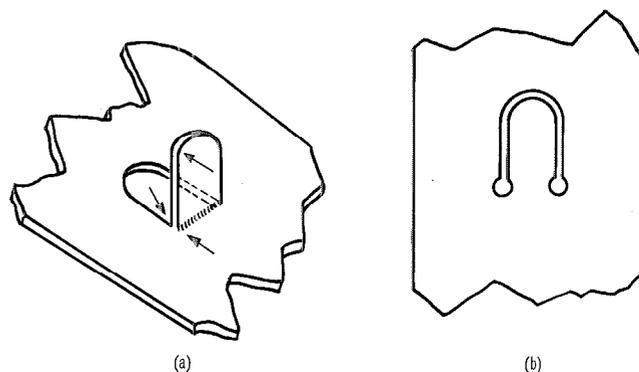


Fig. 7 Ejemplo de fotograbado. Comparación con el sistema anterior
a) patilla realizada por corte con la prensa. Las flechas muestran los puntos susceptibles de tener rebabas.
b) Corte por fotograbado. La mayor anchura en los extremos del canal sirve para definir la curvatura efectuada a continuación.

3. Fabricación

3.1 General

Para el cable submarino de Sudáfrica se necesitaron más de 4600 tubos. Para cumplir las fechas de colocación del cable, los últimos tubos debían ser instalados en los repetidores en Junio de 1968. Se necesitaba un año entero para realizar pruebas de vida y seleccionar los tubos con calidad para estos repetidores. Un estudio previo indicó que el tiempo disponible para fabricar los 5 A/190 G era poco más de 18 meses.

Los principios básicos de la fabricación de tubos para repetidores submarinos y la disposición de las plantas especiales para su fabricación han sido descritos en otro artículo [1].

En 1965 este área de fabricación había producido en total en los 8 años anteriores de su existencia algo menos que las presentes necesidades. Producía normalmente 15 tubos semanales, con calidad suficiente para repetidores submarinos, del tipo 5 A/181 y 5 A/182. Esto era suficiente en aquel tiempo y cerca del máximo que podía producir dicha planta. Debe notarse que esta visiblemente pequeña cantidad representaba en verdad una depuración de una mayor cantidad fabricada.

El rendimiento total desde el origen al final era de un 10 % como resultado del riguroso procedimiento de selecciones sucesivas. Este rendimiento era totalmente comparable a los obtenidos por otros fabricantes de tubos para repetidores submarinos en el resto del mundo. Los tubos rechazados se consideraban como excelentes tubos de recepción de la más alta calidad.

Una pequeña serie de prueba del nuevo 5 A/190 G, demostró que el rendimiento mecánico estaba algo por debajo de los anteriores, menor que el de los tipos 5 A/181 y 5 A/182 que estaban siendo fabricados. El problema venía de la contaminación por partículas extrañas que tomaba mayor importancia ya que las distancias entre electrodos eran menores.

Electricamente el rendimiento era comparable al de los tubos anteriores y el diseño era extremadamente robusto.

El aumentar la capacidad de producción por simple multiplicación significaba un aumento enorme en el equipo y espacio de fabricación lo que fué desechado por lo menos por falta material de tiempo. La única solución era

Fabricación de tubos

mejorar los rendimientos de fabricación hasta un límite nunca alcanzado usando el mismo área y la misma cantidad de equipo. Las cifras antes indicadas señalaban la necesidad de triplicar la producción de tubos. En lo que respecta a la mejora de rendimiento en el tubo 5 A/190 G el factor era aún más elevado. Posiblemente lo más alentador era que los bajos rendimientos daban margen para ello.

Cuando se considera el aumento de producción entra en juego un nuevo factor. El peligro de contaminación por partículas es el primer problema. Esta contaminación es de varias clases. Una contaminación viene de las imperfecciones de las piezas sueltas tales como rebabas y virutas. Otra contaminación viene del trabajo con las piezas sueltas tales como soldadura. Sin embargo muy por encima de estas causas está la contaminación del medio ambiente. Con respecto a esta contaminación del aire hay un equilibrio entre la velocidad de la limpieza y la de recontaminación.

Se ha escrito mucho sobre el uso práctico de las áreas limpias para ensamble. El punto fundamental es que la presencia de los operarios es lo que ensucia los elementos a ensamblar. Puede demostrarse que partiendo de la simple suposición de que la contaminación es introducida por el operario, la multiplicación de éstos conduce a una disminución de las piezas aceptables y eventualmente a una producción cero (véase Apéndice). Esto contradice la idea de que se puede obtener mayor producción aumentando el número de operarios. Debe existir una compensación adicional de la contaminación introducida por los nuevos operarios.

Un paso en la dirección correcta sería reducir el nivel de equilibrio mejorando la limpieza lo que es solo parcialmente efectivo. Un aumento en la velocidad de la ventilación puede alcanzar niveles incómodos y afectar al producto adversamente por otras razones.

3.2 La solución adoptada

La solución actualmente adoptada reconoce el problema de la contaminación mutua. Separando cuidadosamente las operaciones entre las distintas etapas, se llegó a que la contaminación por etapa fuera baja y que ninguna etapa interfiriera con otra, salvo accidentalmente.

Indudablemente las operaciones más importantes son aquellas en que las partes se ensamblan antes del vacío final. Anteriormente se recibían muchas piezas al mismo tiempo y estaban junto al operario durante largo plazo. El ensamble se realizaba [1] en áreas presurizadas, especialmente acondicionadas donde trabajaban los operarios de ensamble y de inspección. Se instaló dentro de este área un nuevo sistema de bancos de ensamble con corriente laminar de aire (flujo de aire en una dirección sin remolinos) (Fig. 8). Las piezas sueltas llegan en cajas cerradas, que se introducen a través de una compuerta con cortina de aire en una caja de manipulación con guantes (no mostrada). Las cajas se abren aquí dentro y se preparan las piezas en juegos. La caja de manipulación comunica con el banco de ensamble y los juegos de piezas citados son transferidos a las posiciones de los operarios para su ensamble. Otra parte del banco de ensamble alberga el sistema de inspección. El

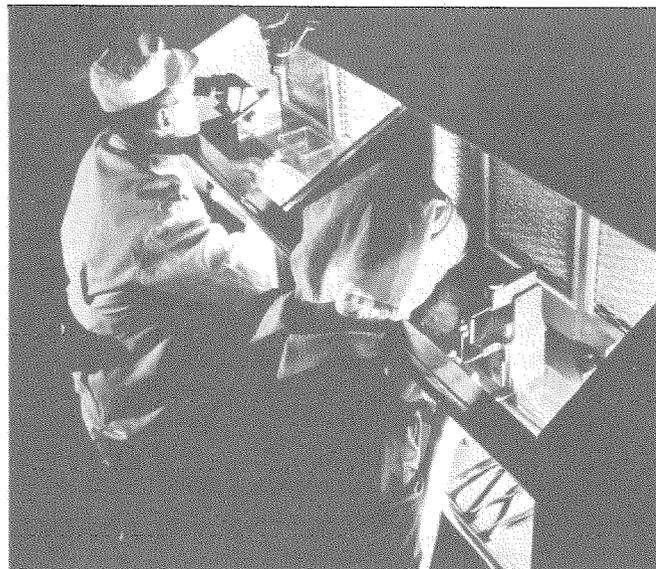


Fig. 3 Banco de ensamble y de inspección con corriente laminar de aire.

inspector observa los tubos a través de un microscopio binocular que sale a través de la cubierta transparente del banco. De esta forma las piezas se ensamblan y se introducen en la ampolla dentro de un sistema completamente cerrado, independiente del sistema similar adyacente, alimentado desde la misma o semejante caja de manipulación. Los bancos con corriente laminar fueron diseñados en forma modular. El aire entra en el sistema a través de un filtro de 5 micras situado en el zócalo donde está el ventilador y controles. Después es expulsado a través de filtros de 0,5 micras situados en un marco en la pared posterior del espacio de trabajo. Debe tenerse la mayor precaución de que no haya fugas de aire sin filtrar y que el diseño del recinto evite la producción de remolinos y retrocesos de aire. Los espacios de ensamble y de inspección están separados por una pared con solo una pequeña abertura para pasar los tubos.

El alumbrado general interior es por tubos fluorescentes disimulados en la parte anterior del marco que soporta la cubierta transparente. Las pruebas confirmaron la perfección de la corriente de aire; es decir, hacia afuera y sin remolinos en toda la sección. Las pautas de ensamble se prepararon tratando de evitar la acumulación de piezas, cajas o de conjuntos que pudiesen impedir e incluso desviar la corriente de aire. Se hicieron pruebas de sedimentación mediante placas de prueba, en el área de trabajo, que mostraron una notable ausencia de partículas. Los operarios visten una ropa adecuada, estudiada para los sistemas anteriores de aire presurizado.

El hilo fino de las rejillas se devana en los marcos en una máquina protegida en otro sistema de banco con corriente de aire laminar, especialmente diseñado para facilitar mejor acceso a la máquina. Los puestos de lavado se protegieron de forma similar. Las cajas de piezas sueltas que han de ser usadas en el área limpia se llenan en otras cabinas con corriente laminar. Todos los bancos con corriente laminar se mantienen en funciona-

miento constante durante todo el tiempo de la fabricación. Una vez que se ha eliminado la contaminación inicial permanecen libres de partículas transportadas por el aire. Esta condición es imperativa para la absoluta limpieza. La recontaminación empieza tan pronto como se detiene la corriente de aire y el restablecimiento de las condiciones de limpieza necesita un tiempo apreciable.

Hay una etapa muy importante de la fabricación en la que no se puede utilizar la técnica de la corriente laminar. Una vez que se ha terminado el montaje y aprobado por inspección se introduce en una ampolla de vidrio limpia y se pasa a la máquina de cerrado. La ampolla se sella entonces a la base de vidrio por fusión por humos y por las corrientes de aire caliente que podrían arrastrar fibras y partículas dentro de la ampolla a pesar de la purga de gas inerte a que se la somete. Se diseñó un sistema de deflectores para asegurar un sellado eficaz en la parte baja de la ampolla, antes de realizar el sellado definitivo por encima.

Este es un ejemplo significativo de una influencia perturbadora de las mencionadas al principio. Hubo otros ejemplos similares a lo largo de la fabricación que confirmaron la necesidad de examinar cuidadosamente en cada etapa la posibilidad de fuentes de contaminación. Se estableció una disciplina rígida de fabricación para luchar con las contaminaciones improbables pero posibles.

3.3 Resultados del método revisado de fabricación

Las medidas señaladas requerían un gran programa de construcción para nueva planta. Se previó una etapa temporal para comprobar la validez del concepto. Se tomó prestado de la fábrica general un banco con circulación laminar y aunque su diseño básico no era tan perfecto como el de los propuestos, los resultados fueron alentadores e indicaron que había bastantes esperanzas de mejorar los rendimientos y que debía hacerse con tales bancos para trabajar en las condiciones más favorables. Se observaron algunos brotes de contaminación y se encontró que eran debidos a operaciones auxiliares no tan perfectamente protegidas, lo que confirmó la idea de que todo debía estar sujeto al mismo régimen de limpieza.

De acuerdo con todo esto, se construyó el nuevo equipo durante 1965 y se puso en servicio a medida que estuvo disponible. Hubo una gran mejora en los rendimientos mecánicos de los tubos 5 A/181 y 5 A/182 que se estaban fabricando entonces por otro sistema.

Cuando se empezó la fabricación del 5 A/190 G se encontró que los rendimientos mecánicos continuaban altos y por tanto se demostró que era posible producir la cantidad necesaria en el tiempo requerido.

Es de notar la útil ayuda prestada por el British Post Office que había emprendido el completo diseño de la 5 A/190 G como un ejercicio de evaluación. Probó que era posible en su planta obtener 900 tubos de calidad, lo que representaba algo más del 20 % de las necesidades del sistema de Sudáfrica. Es un placer reconocer esta ayuda.

3.4 Pruebas de vida

Para manejar el gran número de tubos se hicieron considerables ampliaciones en la capacidad del equipo de prueba de vida. Las cantidades manejadas requerían que en el momento punta la sección de prueba de vida controlase 8.000 5 A/190 G además de sus compromisos de prueba de otros tipos anteriores. Las medidas de los parámetros eléctricos fundamentales se realizan en su mayor parte con equipos de prueba de alta precisión con lectura digital y que habían sido diseñados para probar los tubos en el propio bastidor de prueba de vida.

4. Valoración y selección

Todos los resultados de prueba de vida de cada tubo se estudian cuidadosamente para asegurar que solamente se seleccionan para servicio en repetidores aquellos tubos que tienen un comportamiento normal. La selección se hace teniendo en cuenta las tendencias de los principales parámetros que deben estar dentro de límites muy estrechos en todo el período de prueba de vida de 8.000 horas.

Al final de la prueba se realiza una nueva inspección mecánica para comparar los resultados con los obtenidos antes de la prueba de vida con el fin de comprobar nuevamente la inexistencia de partículas.

Se mide el ruido y los armónicos en los tubos que aparecen como candidatos apropiados. La corriente de filamento se comprueba con un puente.

Finalmente es necesario agrupar los tubos en grupos de forma que el producto de las transconductancias esté dentro de límites fijados. Además de las condiciones fundamentales, cada grupo se define y codifica en función de las corrientes de filamento totales e individuales, polarizaciones de rejilla individuales y corriente total de cátodo.

5. Comportamiento

5.1 Características mutuas

Las figuras 9 y 10 dan las curvas típicas que relacionan los parámetros principales.

5.2 Uniformidad

Para la fabricación eficaz de este tubo de alta calidad es necesario mantener las propiedades dentro de límites muy estrechos. El histograma de la figura 11 muestra la variación en la transconductancia.

Se notará que la dispersión es de $\pm 11\%$ alrededor del valor medio. Manteniendo las restantes dimensiones fijas, la transconductancia g_m depende de la distancia d cátodo rejilla según:

$$g_m = \frac{K}{d^2}$$

De donde se deduce que la dispersión en la distancia es de $\pm 5,5\%$ es decir equivalente a 0,0038 mm.

5.3 Duración

La figura 12 muestra el comportamiento de la transconductancia y la polarización de rejilla de control durante un período de 44.000 horas (5 años). A fin de mostrar el máximo período de tiempo de trabajo disponible esta muestra se tomó del primer lote fabricado.

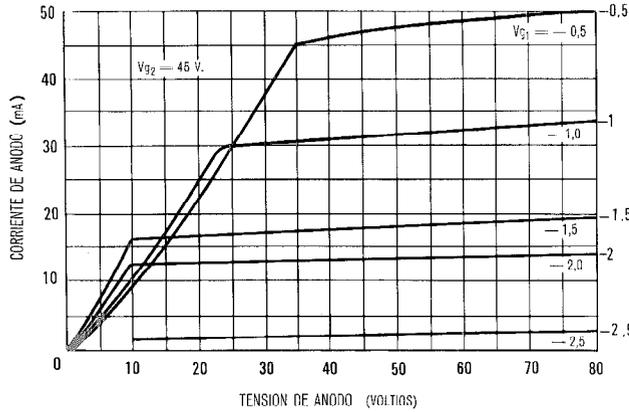


Fig. 9 Características mutuas: corriente de ánodo/tensión de ánodo.

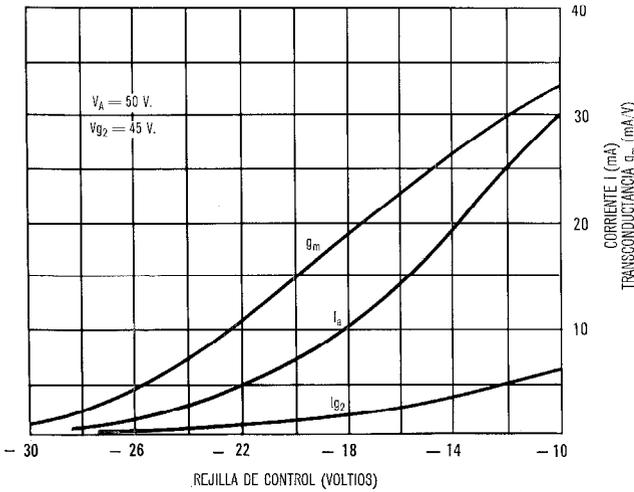


Fig. 10 Características mutuas: transconductancia y corrientes/tensión de rejilla de control.

El máximo de unas 12.000 horas alcanzado por los últimos tubos fabricados después de introducir algunos cambios en el proceso, es menos significativo.

Como un dibujo a escala apenas tiene precisión, las cifras siguientes dan una información suplementaria de la invariabilidad de la transconductancia.

Período (horas)	Variación media del cambio en % por 1.000 horas	
	g_m	$-V_g$
12.000 — 44.000	0,05	0,005
28.000 — 44.000	0,03	0,005

Además de las características principales se han examinado ciertas características secundarias durante el funcionamiento, tales como armónicos, capacidades entre electrodos e impedancia de ánodo. No se observaron cambios apreciables.

5.4 Otras cualidades

5.4.1 Vibraciones y choques

La situación definitiva de un repetidor puede ser considerada como exenta de vibraciones y choques mecánicos. Sin embargo durante el transporte y durante el tendido del cable el repetidor está sometido a estas influencias adversas.

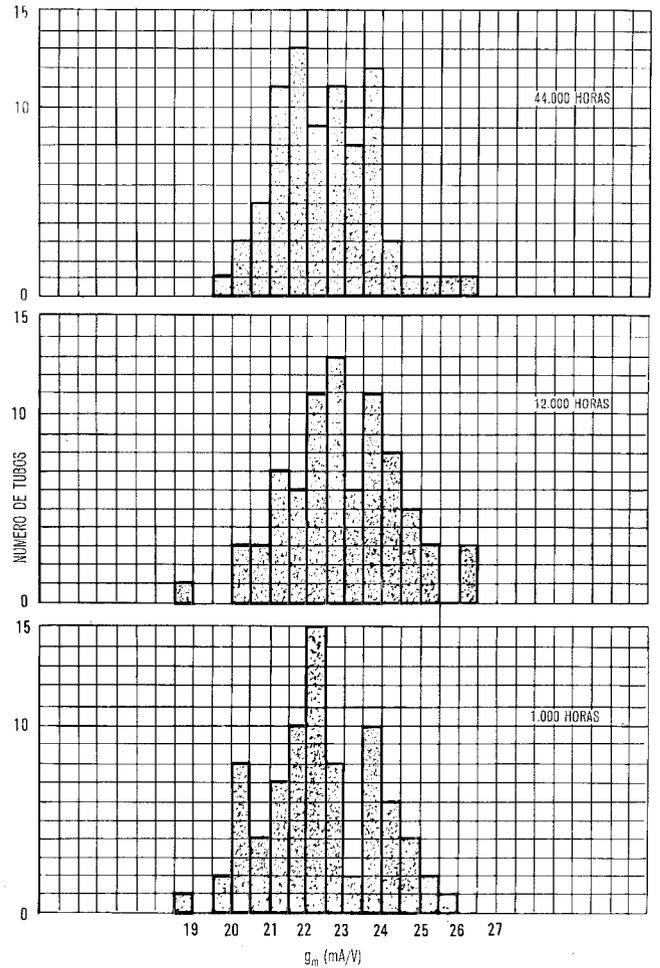


Fig. 11 Histograma de transconductancia de un grupo de tubos 5A/190 G en tres periodos de tiempo distintos.

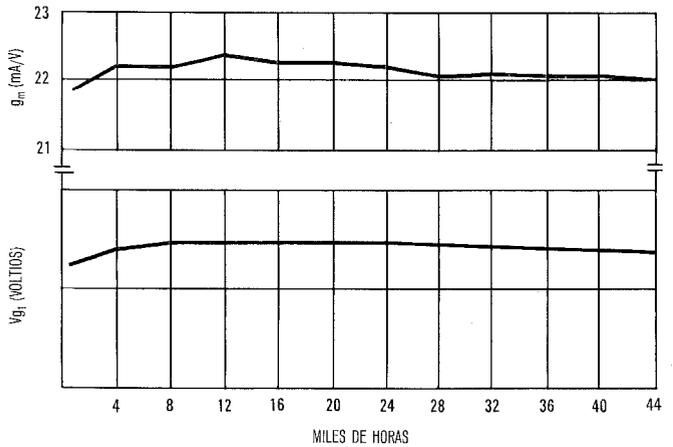


Fig. 12 Variaciones de la transconductancia y tensión de la rejilla de control durante la prueba de vida.

Las pruebas de vibración no mostraron debilidad alguna en la construcción ni en los componentes. En último grado los componentes pueden desgastar los agujeros de los aisladores de mica que es el factor límite, como en los tubos de radio convencionales. Esto produciría, después de un tiempo muy largo, caída de la emisión de cátodo e incluso cortocircuitos. Sin embargo la severidad de esta prueba (170 Hz con aceleración máxima de 5 g), excede la que normalmente se puede encontrar en la

práctica, por lo que se considera pasada la prueba. La rígida construcción adoptada en forma de caja es conforme a las mejores normas de diseño de tubos en cuanto a condiciones mecánicas.

Para pruebas de impacto se empleó una máquina normal capaz de producir una aceleración máxima de 120 g.

La prueba de choque para componentes de repetidores sumergidos era de 10 impactos en estas condiciones en cada una de tres direcciones perpendiculares. Realmente los tubos se sometieron a cuatro series de 10 impactos, en las direcciones del eje de la ampolla y en dirección perpendicular al plano de montaje, en ambos sentidos, estando excitados continuamente. En los parámetros medidos se observaron muy pequeños cambios que pudieran tener importancia. Sin embargo se comprobó que después de una semana de trabajo desaparecían totalmente estos cambios y no se pudieron observar efectos perjudiciales después de una prueba de vida prolongada. Las pruebas semejantes con los tubos 5A/181 demostraron que el nuevo 5A/190G era más robusto.

5.4.2 Armónicos

El funcionamiento satisfactorio de un sistema multi-canal depende en gran manera de que no exista un exceso de productos de intermodulación. La figura 13 muestra la distribución de las lecturas del margen del segundo y tercer armónico comparado con el límite especificado.

5.4.3 Variación de fase

Se ha mencionado anteriormente el efecto de la inductancia de la conexión de cátodo. La variación de fase total a 60 MHz es de 23° para el tubo 5A/190G. Este

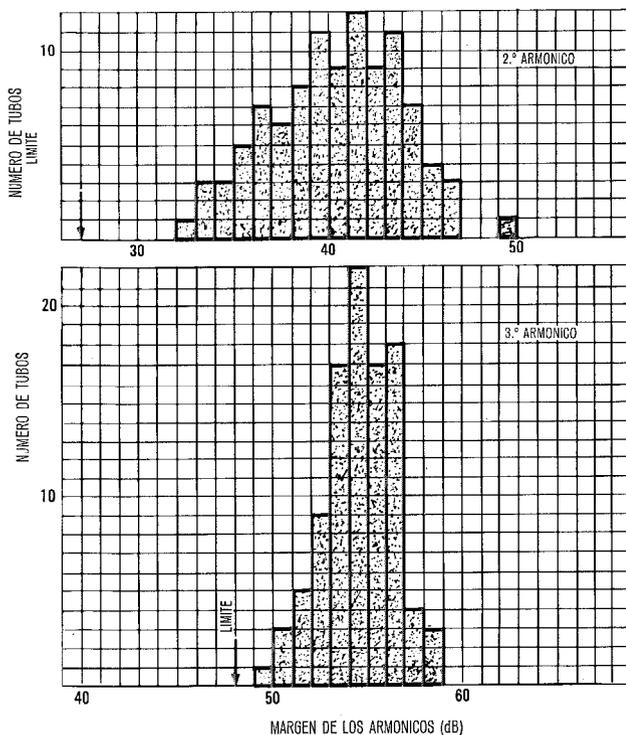


Fig. 13 Distribución de los márgenes de segundo y tercer armónico. $V_A = 50$ V, $V_{g2} = 45$ V, $I_A = 15$ mA, impedancia de carga 1400 ohmios, frecuencia fundamental, salida a 10 dBm.

ángulo puede ser atribuido casi completamente al tiempo de tránsito derivado de las dimensiones del tubo. Con el tubo montado en un zócalo normal este ángulo sería de unos 35°.

5.4.4 Capacidad de sobrecarga

Los hilos finos de la rejilla del 5A/190G se introdujeron para mejorar la distribución del potencial y así aumentar su rendimiento. En un sistema de cable submarino ciertas condiciones de avería pueden producir tensiones excesivas transitorias lo que podría causar una disipación excesiva en la rejilla pantalla con el riesgo de aflojar las espiras de la rejilla que podrían causar cortocircuitos. Por esta razón se utilizan en los repetidores sumergidos tubos de gas como protección contra las sobrecargas. Sin embargo los tubos amplificadores deben tener suficiente margen de seguridad para soportar las sobrecargas durante el tiempo que emplean los tubos de gas en operar. Se han aplicado impulsos de diferentes duraciones y amplitudes al tubo en un circuito típico. Los resultados de las pruebas que provocaron destrucción se muestran en la figura 14. La línea límite que representa las peores condiciones está claramente alejada de cualquier posibilidad de un exceso de disipación de la rejilla antes de que el tubo de gas inicie la descarga, incluso cuando en una condición muy adversa se aplicasen 200 voltios durante 50 milisegundos. Para asegurar el buen comportamiento del tubo en cuanto a sobrecarga, se controla perfectamente la tensión a que se devana el hilo sobre los marcos, lo que se realiza por medio de un mecanismo de freno electromagnético.

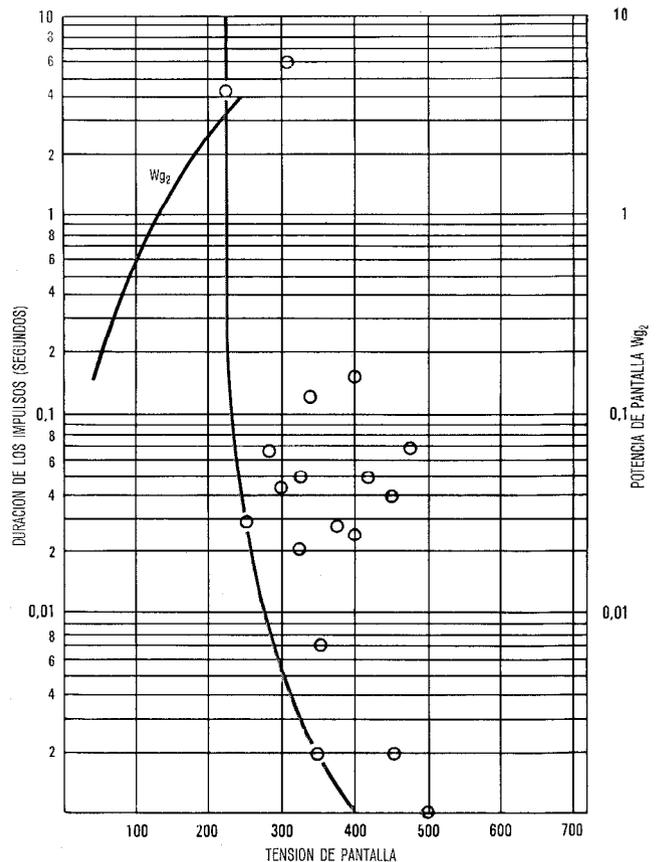


Fig. 14 Características de sobrecarga de la rejilla pantalla.

6. Conclusión

Los transistores tomarán el puesto de los tubos en los nuevos sistemas de cable submarino. Sin embargo el tétrodo 5 A/190 G puede considerarse como un componente de alta fiabilidad que funcionará eficazmente en el fondo del mar durante varias décadas. Su producción exigió la aplicación de nuevas técnicas y el esfuerzo de muchas personas.

Referencias

- [1] F. G. Haegle: Vacuum Tube for Submerged Repeaters, *Electrical Communication*, Vol. 38 (1963), N° 3, págs. 387—395.
- [2] British Patent Specification No. 951 529.
- [3] T. H. Harrett: Electrostatic Deflection of tensioned grid wires, *Journal of Scientific Instruments*, Vol. 42 (1965), págs. 584—590.

Apéndice

Sea A , la contaminación debida a un operario
 n , el número de operarios
 x , el número de tubos iniciados por operario
 N , la producción total de tubos buenos

Suponiendo que todos los operarios contribuyen en la misma contaminación y que la fabricación es un sistema conservativo,

$$N = nx(1 - nA)$$

Esto es la ecuación de una parábola que pasa por:

$$\begin{aligned} &\text{un máximo para } nA = \frac{1}{2} \\ &\text{por cero para } nA = 1 \end{aligned}$$

Un valor muy pequeño de A permite un número máximo de operarios bajo y por consecuencia de $N = nx$.

Por ejemplo si $A = 0,1$ $n = 5$ como máximo.

En general esta ecuación se aplicará para cada serie de operadores con las correcciones necesarias para n , x y A . Sin embargo los resultados serán semejantes.

Se ve que el factor $(1 - nA)$ corresponde al caso de interacción total entre n operarios. Si esta interacción entre operadores se reduce, habrá una mejora sustancial en los rendimientos. La división en compartimentos descrita en el método de trabajo trata de reducir esta interacción.

Frederick Haegle nació en Hove, Sussex, Inglaterra, el 1 de Mayo de 1914. Se graduó en física en 1934 en el University College de Southampton y en 1937 obtuvo el título de Master of Sciences en espectroscopia.

Desde 1937 á 1942 trabajó en Hanovia Ltd.; de 1942 á 1945 en Mullar Radio Valve Co. y desde 1945 á 1950 en E. K. Cole Ltd.

Se unió a Standard Telephones and Cables en 1950 como ingeniero de fabricación de tubos. Desde 1955 está a cargo del desarrollo y fabricación de tubos para repetidores submarinos.

Mr. Haegle es miembro del Institute of Physics.

Condensadores para los sistemas de cable submarino de 3 MHz

W. E. R. EVANS

1. Introducción

Para elegir los componentes para los repetidores del cable submarino Portugal-Sudáfrica se siguieron las normas establecidas para este tipo de repetidores. Donde era posible se usaron condensadores cuyo diseño y proceso de fabricación se conocían bien. Por ello se usaron condensadores de mica del tipo existente variando solamente el valor de capacidad, en el amplificador principal, en el circuito beta y en los igualadores.

Sin embargo, los problemas de distorsión y no linealidad en los filtros separadores de fuerza y en los circuitos de realimentación del amplificador, se acentúan en este sistema ya que usa un ancho de banda de 3 MHz. Por tanto se necesitaba una gama completa de condensadores de papel, de baja tensión, que usase componentes y materiales libres de distorsión del tercer armónico y con una autoinducción reducida, (es decir autoresonancia a las más altas frecuencias). Para simplificar la producción se aplicó esta limitación a todos los condensadores de papel, de baja tensión del repetidor.

Al mismo tiempo el espacio limitado para los filtros separadores de fuerza y la posibilidad de problemas de diafonía entre los circuitos del filtro, obligó a un nuevo diseño de los condensadores de alta tensión. El conductor central del cable de llegada se pasó por el centro del condensador, apantallándose así electrostáticamente y electromagnéticamente, la mayor parte de su longitud dentro del recinto del repetidor.

2. Condensadores de papel para baja tensión

2.1 Consideraciones de diseño

Las tres consideraciones principales son:

- reducción de la distorsión por tercer armónico al mínimo posible en todos los condensadores,
- una resonancia propia de los condensadores de $0,25 \mu\text{F}$ para 3 MHz, aproximadamente, con una impedancia característica libre de resonancias parásitas hasta 80 MHz,
- igualdad de características de un condensador a otro.

Los cambios de diseño realizados en los condensadores de $0,25 \mu\text{F}$ para lograr estas condiciones, se aplicaron también a los restantes tipos para mejorar sus características.

2.2 Distorsión armónica

Los condensadores de papel existentes usaban un elemento devanado tubular normalizado con dos conectores de cinta que salían por los extremos opuestos. El conjunto se alojaba en una caja tubular de cobre, cerrada en un extremo con una tapa de cobre y en el otro con una terminación normal.

Todos los materiales usados eran no ferromagnéticos, excepto las partes metálicas de la citada terminación. La hermeticidad de esta terminación, dependía en la parte exterior del buen ajuste entre la tapa metálica y el aislador metido a presión (Fig. 1) y en la parte central de la unión entre el conductor general y el aislador, que se

realizaba mediante un material fusible. El material de la tapa precisaba una buena resistencia a la tracción con buena maleabilidad, mientras que el conductor central necesitaba buenas características térmicas para soportar la temperatura de fusión del material de unión entre el aislador y el conductor. Ambas partes se hacían de acero dulce dada su buena resistencia a la tracción. Se hicieron pruebas sobre muestras, que demostraron que toda la distorsión armónica apreciable procedía de esta terminación, mientras que las muestras en que las tapas eran de cobre o de aleaciones de cobre no tenían distorsión armónica apreciable.

No se siguió adelante con el cambio del conductor central a un material no ferromagnético, debido a la alta temperatura necesaria para la unión al aislador y por los problemas para darle un recubrimiento que facilitase su soldadura posterior. La solución tomada fué prescindir del cierre por un material fusible y realizar un cierre por presión, similar al de la tapa. Puede verse en esquema en las figuras 1a y 1b.

Al mismo tiempo, un segundo suministrador dió una solución diferente al problema metalizando el aislador con molibdeno y manganeso, procedimiento que se había usado con éxito en la fabricación de tubos electrónicos de potencia. Esta solución se muestra en la figura 1c. Ninguna de las piezas es de metal ferromagnético. Las pruebas de los condensadores sellados de la figura 1b y 1c dieron una distorsión armónica inferior al mínimo que podía medirse con el equipo de prueba usado; es decir, que la relación era mayor de 150 dB cuando se

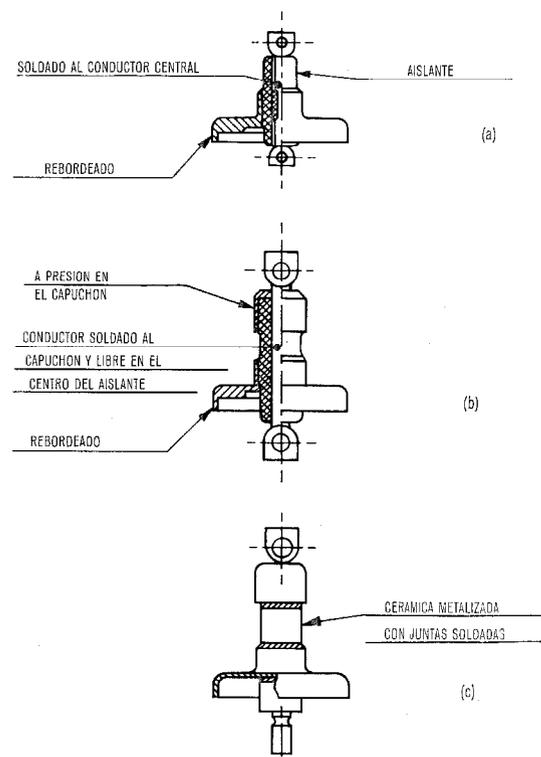


Fig. 1 (a) Cierre normal antes del diseño para 3 MHz.
Fig. 1 (b) Cierre diseñado para el sistema de 3 MHz. (Fabricante A).
Fig. 1 (c) Cierre diseñado para el sistema de 3 MHz. (Fabricante B).

media con una frecuencia fundamental de 190 kHz y un nivel de + 30 dBm.

2.3 Resonancia

Al realizar los cierres mencionados, se trató de que hubiera el mínimo cambio de las dimensiones fundamentales, para no tener que variar la disposición de los elementos de circuito ni tener que sustituir otros elementos y poder mantener así los mismos procesos de fabricación. Se dejó entonces la misma longitud y diámetro de la terminación que anteriormente con la misma inductancia de unos 9,3 nH. Como la frecuencia de resonancia del condensador de 0,25 μ F debe ser de 3 MHz, la autoinducción total no debe pasar de 11,3 nH. Por lo tanto el elemento y sus conexiones deben tener una inductancia total no superior a 2 nH.

Un elemento de condensador tubular se comporta básicamente como una línea de transmisión. Las diferencias que aparecen en la práctica se deben a los terminales y al encapsulado.

El tipo de condensador existente tenía una gran inductancia como se indica en la figura 2a y 2b. Las conexiones eran dobles y estaban colocadas a $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la longitud total del electrodo estando cada par de cintas de conexión de los electrodos opuestos separados $\frac{1}{4}$ de vuelta (aproximadamente 1 cm), de forma que no se solapen produciendo tensiones mecánicas y eléctricas indeseables. Esta disposición produce una cierta inductancia no equilibrada tal y como indican las flechas que representan el paso de la corriente (Fig. 2a). Las cintas salían por los extremos opuestos lo que añadía a la inductancia del elemento, la inductancia de las cintas entre el elemento y la caja y la inductancia debida a la longitud de la caja. La autoresonancia de tal condensador era aproximadamente a 2 MHz lo que da una autoinducción de unos 25 nH. Se encontró además una resonancia parásita entre 50 y 60 MHz. Estos resultados se mejoraron, sacando las cintas de conexión por el mismo extremo del elemento y conectando las dos puntas de un electrodo, al conductor central del aislador mediante un hilo conductor de longitud fija y situando el elemento tan cerca

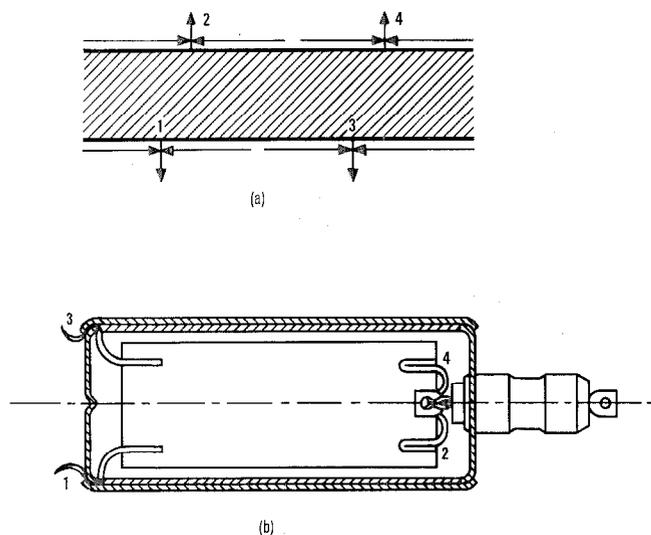


Fig. 2 (a) Paso de corriente en un condensador normal. (Las flechas indican el paso de la corriente).
Fig. 2 (b) Disposición de un condensador normal.

del aislador como sea posible a fin de reducir al mismo tiempo la longitud de la conexión del otro electrodo a la caja. Se logró así una resonancia dentro de $\pm 15\%$ de la frecuencia de 3 MHz requerida.

Las figuras 3a y 3b muestran esta estructura y la figura 4 muestra una curva típica de la impedancia.

Se han preparado modelos que indican que pueden conseguirse inductancias menores de 4 nH en total, acercándose el comportamiento del condensador al de una línea coaxial.

3. Condensadores de papel para alta tensión

3.1 Consideraciones para el diseño

Las principales consideraciones para el diseño de filtros separadores de fuerza fueron:

- era la primera vez que un condensador para repetidor submarino tenía que sobrepasar los 6,25 kV de trabajo ya que se precisaba trabajar a 15 kV,
- su longitud y sección máxima estaba limitada de forma que se pudiesen utilizar los diseños existentes de las cajas para repetidores,
- las frecuencias usadas en este repetidor eran más altas, lo que aumentaba la posibilidad de acoplamiento de diafonía entre los dos circuitos del filtro. Esto se eliminó pasando el conductor central del cable a través del condensador que por tanto actuaba como una pantalla electrostática.

3.2 Diseño físico

La longitud total del condensador estaba limitada a 165 mm con una sección rectangular de 50 \times 40 mm. Con el aislamiento convencional del terminal, capaz de soportar 40 kV de prueba y de trabajar a 15 kV, el espacio que quedaría para el dieléctrico sería demasiado pequeño, por lo tanto había que abandonar el diseño convencional de caja metálica con aislador terminal.

En su lugar se empleó un tubo cerámico como caja para el condensador con capuchones de metal soldados para cerrar el condensador obteniendo aislamiento suficiente (Fig. 5). La caja era de material cerámico (mínimo

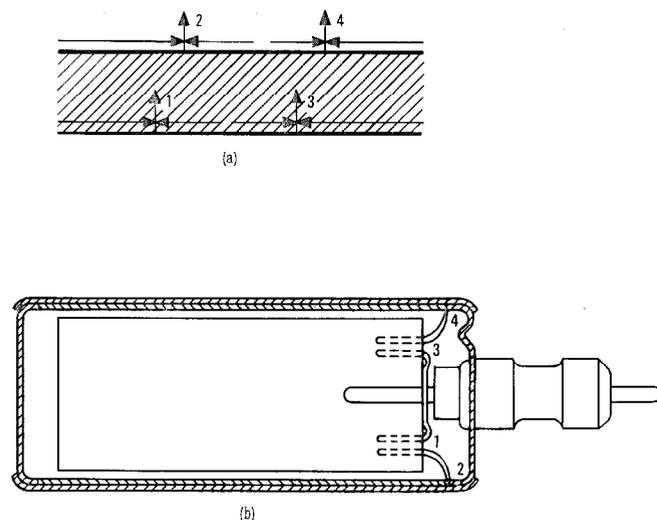


Fig. 3 (a) Paso de corriente en un condensador para 3 MHz. (Las flechas indican el paso de la corriente).
Fig. 3 (b) Disposición de un condensador para 3 MHz.

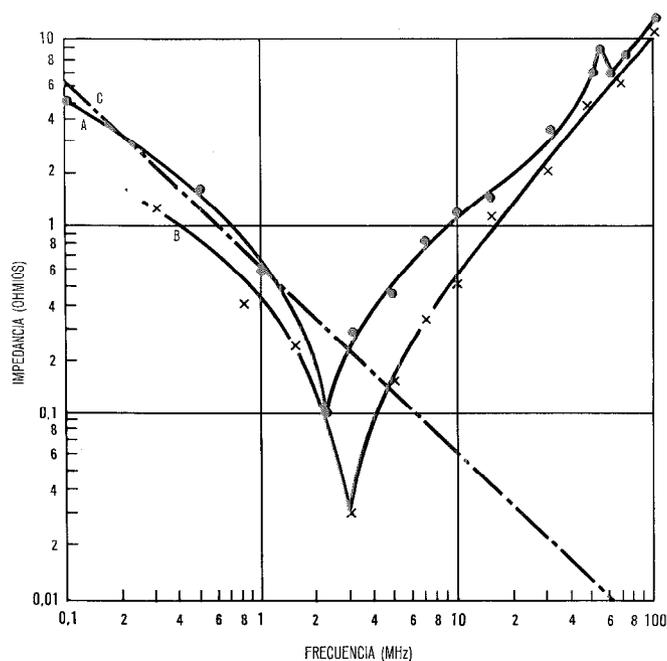


Fig. 4 Características impedancia/frecuencia para condensadores de 0,25 μ F.

- A - tipo normal.
- B - tipo para el sistema de 3 MHz.
- C - reactancia X_c de 0,25 μ F.

93 % de Al_2O_3) metalizada exteriormente en los dos extremos por el proceso molibdeno manganeso, completándose la metalización con capas sucesivas de níquel, cobre y oro para lograr una superficie fácil de soldar herméticamente.

El montaje mecánico se hizo por una abrazadera y una grapa en el extremo de baja tensión y una anilla conductora rodeando el cuerpo cerámico en la parte de alta tensión. En los dos extremos se metalizaron dos anillos extras sobre el cerámico; en el primer caso este anillo sirve para soldar la abrazadera y evitar así cualquier posible rotación y en el segundo caso para mejorar el contacto entre la anilla conductora y el cuerpo cerámico evitando entre ellos separaciones de aire. Como la anilla está conectada a tierra y está colocada sobre el cerámico en un punto con tensión de 12 kV en el gradiente de potencia, podrían producirse descargas que producirían un ruido indeseado.

3.3 Diseño eléctrico

Se tenía ya una considerable experiencia en fabricación y datos de pruebas de vida de condensadores fabricados con papel Kraft impregnado en aceite como dieléctrico para uso en los filtros separadores de fuerza usados en los sistemas COMPAC y SEACON entre otros. Los datos disponibles hasta la fecha indican que sobre $2,5 \times 10^8$ horas componente, hay una proporción de fallo menor de 42,2 en 10^9 con una seguridad del 90 %.

El dieléctrico tiene un espesor de 100 micras y soporta 32 voltios por micra tomando un 20 % menos del valor de la tensión a la que se espera empiece a producirse ionización en el dieléctrico. Para trabajar a 15 kV se precisan por tanto 5 elementos de este dieléctrico.



Fig. 5 Vista de un condensador coaxial de alta tensión para filtros separadores de fuerza, mostrando la trampa de aire dividida en segmentos.

Se podría pensar en aumentar el espesor del dieléctrico pero entonces la tensión viene limitada por la tensión que pueden soportar los bordes de los electrodos. Todos los condensadores existentes para filtros separadores de fuerza eran de dos elementos en serie y empleaban elementos aplanados ensamblados uno contra otro. Esta construcción no era factible con las dimensiones de las cajas ahora necesarias, por lo que se usaron elementos tubulares colocados uno a continuación del otro, y conectados en serie.

3.4 Pruebas de vida iniciales

Se probaron 24 muestras de condensadores en condiciones de prueba de vida acelerada, aplicando una tensión de 40 kV de corriente continua a una temperatura de trabajo de 45 °C. Era necesario el aplicar unas condiciones tan severas, ya que era la primera vez que se trabajaba con más de dos elementos en serie en condensadores para alta tensión para repetidores submarinos aunque este tipo de construcción se había usado satisfactoriamente durante más de 20 años en aplicaciones industriales.

Se trataba de descubrir en estas pruebas cualquier punto débil en la construcción del condensador, cuando está en condiciones de ionización intensa y con el impregnante más fluido que en condiciones normales.

El análisis de estos condensadores llevó a un cierto número de cambios para mejorar el diseño y aumentar el factor de seguridad de funcionamiento.

Condensadores

3.5 Mejoras de diseño

Los puntos afectados fueron:

- el borde de los electrodos de los elementos. Los puntos de máxima intensidad de campo entre dos electrodos paralelos son los bordes de los electrodos, donde el campo aparece entre dos puntos o aristas. Si se desplazan un poco entre sí los dos electrodos, este campo se producirá entre un plano y una arista o punto,
- posibilidad de descargas en los puntos de salida de las cintas de conexión. En estos puntos, la distancia entre electrodos medida a lo largo de la superficie del dieléctrico, se reduce aproximadamente a la mitad. Este inconveniente se evita, colocando en ambas caras de las cintas, sendas protecciones, de forma que haya siempre una barrera de dieléctrico sólido entre dos elementos metálicos de polaridad opuesta,
- posibilidad de que una burbuja gaseosa contenida en el interior del condensador esté en contacto con dos puntos a gran diferencia de potencial. Como la caja cerámica es totalmente rígida es necesario incluir una burbuja de aire para que actúe como compensador de presión. En este primer diseño era posible que esta burbuja tocara simultáneamente dos puntos a la diferencia de potencial normal de 3 kV sin ningún inconveniente. Pero si se aumenta la tensión a 8 kV cuando se produce una rápida caída de la presión de la burbuja, porque el gas se disuelve en el impregnante por ejemplo, se reúnen las condiciones favorables para que se produzcan descargas disruptivas perjudiciales. Se investigaron tres alternativas para mantener la burbuja de aire lejos de la zona peligrosa, aumentando las dimensiones del condensador en 12 mm para alojar esta burbuja en el interior o utilizando como espacio adicional parte del espacio disponible en el interior del recinto del repetidor.

Las tres alternativas fueron:

a) Cápsulas flexibles

Estas cápsulas en forma de fuelle de volumen variable, encerrarían totalmente las burbujas de aire evitando que estén en contacto con el impregnante o los electrodos. Tres factores impiden su uso:

- falta de espacio en el interior del condensador,
- falta de espacio en el repetidor fuera del condensador,
- falta de probada confiabilidad de estas cápsulas en el largo plazo requerido.

b) Caja de alta presión

Se necesitaría una caja capaz de soportar una tremenda presión hidráulica lo que también requiere mayor volumen, así como el empleo de nuevas técnicas no utilizadas ni experimentadas hasta ahora.

c) Trampa de aire

La burbuja de aire se encierra en una pequeña cámara equipada con un tubo de respiración que une el espacio del dieléctrico con el centro geométrico de la cámara. Si ésta se llena de aceite en sus $2/3$, el extremo del tubo estará siempre cubierto de aceite sea cual sea la posición del condensador, de forma que el aire nunca entrará en el espacio destinado al dieléctrico.

Una ventaja adicional se basa en la tendencia que tienen las burbujas pequeñas a emigrar y unirse a las burbujas grandes. En las burbujas pequeñas el gas se encuentra a mayor presión y trata de disolverse en el aceite que a su vez las deja libres en las burbujas grandes donde la presión es menor. De esta forma cualquier burbuja que pudiese formarse en el aceite durante el trabajo tenderá a emigrar y unirse a la burbuja grande.

La disposición final se aprecia en la fotografía de la figura 5.

3.6 Bobinado del elemento

La calidad general del elemento se mejoró además aumentando la tensión del bobinado a 10 veces la tensión normal y se sustituyeron las cintas de conexión de $6,5 \times 15,5$ mm por cintas de $25 \times 15,5$ mm sobresaliendo 6,5 mm. La calidad de esta conexión se probó con una prueba de secuencia de impulsos cargando los condensadores a 15 kV de corriente continua y descargándolos repetidamente

- a) en cortocircuito,
- b) a través de una resistencia de 10 ohms.

Los condensadores probados según a), mostraron un ligero aumento de la impedancia en la resonancia de 0,12 ohms después de 17.000 impulsos y un aumento total de 0,28 ohms después de 100.000 impulsos siendo equivalente cada impulsión en el cable submarino a un cortocircuito en la proximidad del repetidor, lo que solo es de esperar que se produzca 3 ó 4 veces en la vida del cable. Durante estas pruebas se registraron tensiones de resonancia tan altas como 10^6 voltios.

Los condensadores probados según b) no mostraron cambios después de 100.000 impulsos.

Tabla 1 – Resumen de los resultados de prueba de vida del diseño definitivo de los condensadores de papel para alta tensión.

Probado por	Cantidad probada	Temperatura °C	Tensión kV	Duración hasta la fecha horas	Nº de fallos	Factor de aceleración (V. Nota)
GPO	10	50	40	9600	0	2160
GPO	10	45	30	1500	0	362
STC	30	70	30	5300	0	2050

Nota – El factor de aceleración se calculó con la fórmula siguiente:
las condiciones de trabajo se suponen 15 kV y 10 °C.

$$a = \left(\frac{V_{\text{prueba}}}{V_{\text{trabajo}}} \right)^5 \times 2 \left\{ \frac{T_{\text{prueba}} - T_{\text{trabajo}}}{10} \right\}$$

3.7 Prueba de vida final

Se fabricaron unos 50 condensadores incorporando estas mejoras, y se pusieron en prueba de vida la mitad de ellos por el British Post Office en las mismas condiciones que la primera prueba; es decir, a 40 kV y 45 °C y la otra mitad en la división de condensadores de Paignton a 30 kV y 70 °C.

Los resultados de estas pruebas se dan en la tabla 1. Estas cifras corresponden a una proporción de fallos menor de 4,3 en 10⁹ horas con 90 % de seguridad. Se

espera que esta cifra mejore a medida que avance la duración de estas pruebas.

W. E. R. Evans nació en Bedwas, South Wales en 1923 y terminó su formación en la Universidad de S. Wales en 1943 obteniendo el grado B. Sc. en electricidad. Después de 4 años en el Ejército del Aire se unió a STC en North Woolwich en el laboratorio de condensadores y ha permanecido en esta división durante sus años de formación en los departamentos de diseño y fabricación. Es miembro del I. E. E. y es ingeniero diplomado.

Cristales de cuarzo para repetidores submarinos

A. SEED

1. Introducción

En los repetidores sumergidos de los sistemas intercontinentales, es necesario económicamente, el mejor aprovechamiento de la banda de frecuencias disponible. También es preciso la utilización de parte de la banda por los canales de supervisión y con objeto de que el margen de frecuencias utilizado para estos canales sea lo más estrecho posible se usan filtros de cristal para conseguir las rigurosas características que deben cumplir, como se mencionan a continuación:

- el filtro con frecuencia central de 2720 MHz tendrá un ancho de banda menor de 150 Hz dentro de 3 dB;
- la impedancia del filtro debe ser 2000 ohms aproximadamente;
- la pérdida de inserción del filtro a la frecuencia central no debe variar más de $\pm 0,5$ dB entre -10° y 40° C;
- la discriminación en la banda supresora será de 30 dB a ± 4 kHz de la frecuencia central;
- el buen comportamiento del filtro debe estar asegurado para 20 años por lo menos, dentro del margen de temperatura del equipo.

Las condiciones a), d) y e) indican inmediatamente la necesidad de usar cristales de cuarzo como únicos componentes con suficiente estabilidad y factor Q capaces de lograr estos requisitos. Las otras condiciones determinan la inductancia del cristal, resistencia, respuesta a otras frecuencias, nivel y comportamiento a la frecuencia de resonancia dentro de los límites de temperatura a lo largo del tiempo.

2. Principios de diseño de los cristales

La frecuencia central del filtro y la estabilidad del dispositivo en los límites de temperatura indican que deben usarse cristales con corte AT oscilando en fundamental (35° del eje óptico). La forma de vibrar del cuarzo es un cizallamiento transversal con el movimiento de las partículas a lo largo del eje cristalográfico X. El espesor del cristal usado para la frecuencia de resonancia de 2,7 MHz es de 0,6 mm. Para facilidad de fabricación y montaje se propusieron elementos circulares de 9,75 mm de diámetro; hay dos factores principales contradictorios en la elección del diámetro de los cristales:

- una relación diámetro/espesor grande hace el elemento más frágil y aumenta el riesgo de arañazos en su superficie lo que es causa de rechazo durante la fabricación;
- sin embargo es buena práctica alejar el sistema de montaje que es causa de elevadas pérdidas de energía acústica de la región vibratoria central, es decir, un cristal de gran diámetro.

Esta segunda condición puede ser modificada reduciendo la región de vibración, conformando las caras mayores del cristal de modo que tome forma de lente. La vibración de cizallamiento transversal producida piezoelectricamente está asociada con un cierto espesor de corte; es decir, la vibración puede ser mantenida en todas las regiones donde el cristal tiene un espesor

superior a este valor crítico; en regiones de espesor menor, sin embargo, la constante de propagación es imaginaria y la amplitud de la vibración decrece exponencialmente a lo largo del diámetro del cristal. Así, cuanto mayor es el grado de curvatura, más decreciente es la oscilación y la energía de la vibración que alcanza los bordes flotantes se reduce consecuentemente. Hay una limitación evidente y es que el espesor real del borde del cristal debe permanecer finito.

Una limitación en la distribución de la vibración no sólo mejora el factor Q sino que también influye en la inductancia. El valor obtenido de la inductancia depende de las constantes piezoelectricas y elásticas apropiadas al modo particular de vibración, del contenido de armónicos, de la cantidad de carga depositada en el cristal, generada piezoelectricamente, captada por los electrodos e incluso de la misma distribución de vibración. Cuando el elemento de cristal es plano hay una correlación simple entre la distribución de la amplitud y el tamaño de los electrodos tal que la inductancia es inversamente proporcional al área del electrodo. Para un elemento con forma, la distribución de la vibración y por tanto la distribución de la carga de origen piezoelectrico está impuesta por el grado de curvatura y el electrodo simplemente toma la carga correspondiente a su superficie.

La figura 1 muestra el efecto del tamaño del electrodo y la forma del elemento en el modo de vibración en cristales planos y redondeados. La figura 2 muestra la variación teórica de la inductancia del cristal, con el radio de curvatura de un cristal biconvexo de frecuencia 2,7 MHz con un electrodo mayor de 5 mm de diámetro.

Otra condición en el diseño, dependiente del radio de curvatura del elemento del cristal es el espectro de respuesta de frecuencias parásitas. Idealmente el diseñador de filtros desearía que solamente pudiese excitarse un

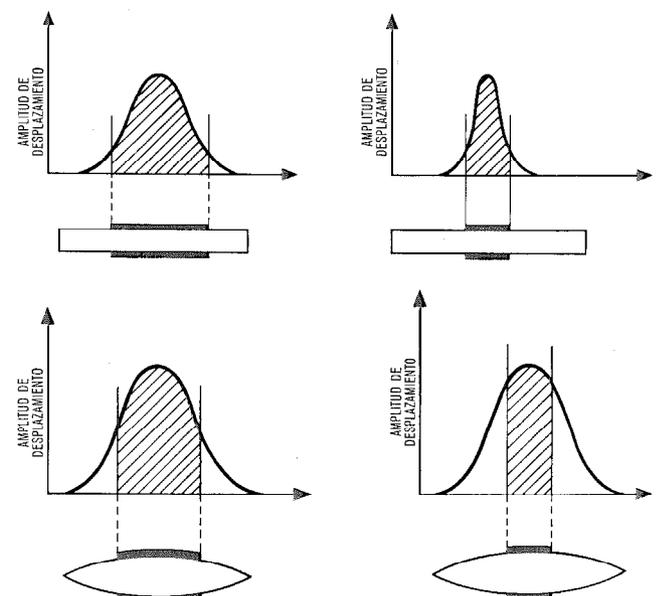


Fig. 1 Distribución de amplitud de vibración para diferentes combinaciones de electrodos y forma esférica.

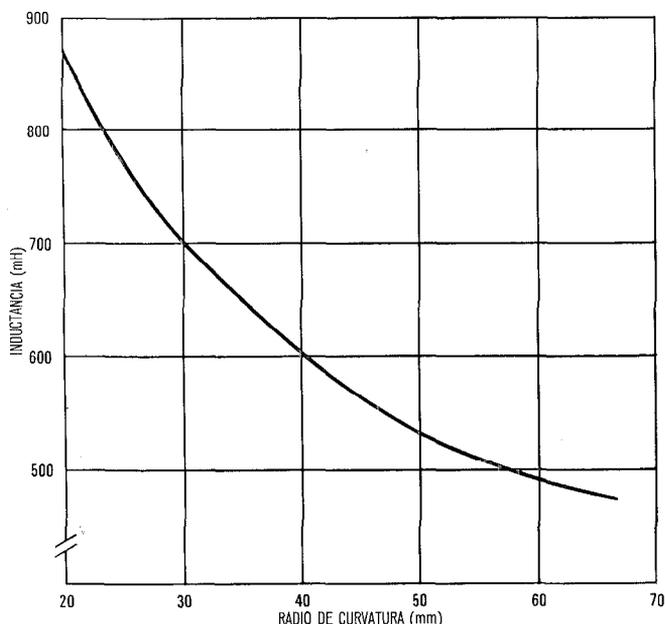


Fig. 2 Variación teórica de la inductancia con el radio de curvatura de cristales biconvexos para 2,7 MHz y electrodos mayores de 5 mm.

modo de oscilación del cristal variando la frecuencia de la señal aplicada a los electrodos. En la práctica, sin embargo, un cristal puede vibrar en un número infinito de modos cada uno a una frecuencia discreta, pero con diferentes grados de actividad, es decir de intensidad de oscilación. El buen diseño del cristal es aquel en que la actividad del modo deseado es suficiente para cumplir los aspectos particulares especificados, dentro del margen de temperatura de trabajo, mientras que los modos indeseados o parásitos se han suprimido o llevado fuera del margen de frecuencias de interés. Las condiciones en el sistema de supervisión son que las respuestas indeseadas sean suprimidas sobre una banda de 60 kHz centrada en 3 MHz, lo que no es una condición muy severa para la elección del tipo de cristal, pero un diseño incorrecto de la curvatura produciría una respuesta indeseada que podría ser excitada fuertemente dentro de la banda de frecuencia especificada.

Se permitió un máximo de 80 Hz como margen de variación de la frecuencia de resonancia del cristal dentro de las temperaturas de trabajo de -10° a 40° C. Para lograrlo es necesario controlar el ángulo de corte del cristal. La variación de la frecuencia con la temperatura en un corte AT consta de un término lineal y uno de tercer grado a medida que el ángulo de corte (y por tanto el ángulo entre la dirección de propagación de la vibración acústica y el eje cristalográfico) varía, el término lineal de f/T cambia a razón de $0,2 \text{ Hz}/^{\circ}\text{C}/\text{min. arco}$. Esto indicaría que el ángulo diseñado debe tener una precisión de $\pm 8'$ a fin de cumplir esta especificación. En la práctica es necesario un control más riguroso del ángulo del cristal; cuando un cristal es plano y las superficies mayores son planos paralelos, la dirección de propagación de la onda acústica dentro del material está establecida por las superficies planas lo que significa naturalmente que la dirección de propagación también está definida con respecto a los ejes cristalográficos por

los cosenos de dirección de cualquiera de las dos caras mayores del elemento. Un argumento similar se aplica cuando sólo una cara es esférica y la otra plana, la propagación está definida por la cara plana única. Cuando un cristal es biconvexo, sin embargo, no hay una superficie plana única de referencia y la dirección de propagación acústica sólo estará bien controlada si las dos superficies esféricas son perpendiculares a otra de referencia. Para este diseño particular fué necesario especificar una tolerancia en el ángulo de $\pm 2'$ a fin de obtener un valor aceptable para el coeficiente f/T . La figura 3 muestra algunos resultados típicos obtenidos usando esta tolerancia en el ángulo.

La última condición de diseño a especificar es el diámetro del electrodo. Los dos puntos determinantes son:

a) la inductancia del cristal: si el tamaño del electrodo es menor que el área de vibración impuesta por la forma esférica, el tamaño del electrodo será el factor que determina la inductancia;

b) la capacidad estática: este es simplemente el valor obtenido considerando el elemento de cuarzo como un material dieléctrico siendo los electrodos las armaduras de un condensador plano.

Tomando en consideración estos dos puntos se calculó que un diámetro de electrodos de 5,5 mm permitiría cumplir las especificaciones de inductancia del cristal y capacidad estática.

3. Método de fabricación y proceso de inspección

El cristal de cuarzo natural debe estar libre de defectos macroscópicos tales como grietas y burbujas y se corta en láminas de aproximadamente tres veces mayor espesor que el del cristal final, con ayuda de sierras diamantadas. Después las láminas son atacadas químicamente a fin de detectar remolinos eléctricos.

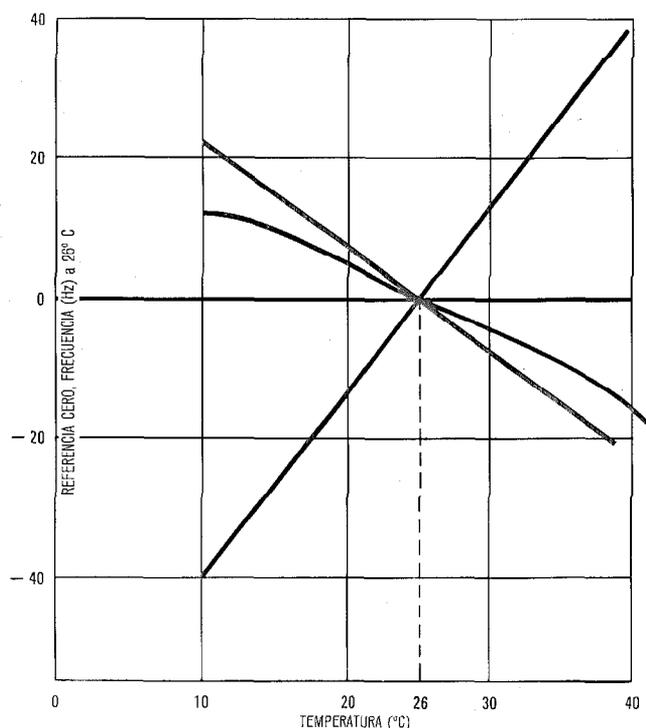


Fig. 3 Variación de la frecuencia de resonancia serie con la temperatura de tres cristales SPX 9045.

Cristales de cuarzo

Después de cortar las láminas en cuadros se comprueba que el ángulo de corte del cristal está dentro de $\pm 2'$ por difracción de rayos X. Los cristales se desgastan mecánicamente con abrasivos cada vez más finos hasta que el espesor es solo unas pocas micras superior al valor final (después de cada desgaste se comprueba que el ángulo de corte del elemento es correcto). Se forma un grupo apilado de elementos y se hacen circulares manualmente en una rueda plana con un esmeril muy fino. Se inspeccionan de nuevo y las caras principales se redondean con un radio de curvatura de 44 mm. En cada una de estas etapas se comprueba la frecuencia del elemento, mejor que su espesor, pues da una mayor precisión. Se da un ligero ataque a los elementos antes de reducir su espesor en una micra, por pulido con óxido de cerio. Después de limpiar las láminas se pasan a una inspección visual final antes de pasar a las etapas de montaje y depósito de electrodos. La frecuencia del elemento es 2734 ± 2 kHz, o sea 14 ± 2 kHz más alta que la frecuencia final; la tolerancia de 2 kHz en la frecuencia del elemento representa una precisión en el espesor, mejor que ± 1 micra.

Para limpiar perfectamente los cristales se hierven primeramente en ácido sulfúrico concentrado lo que disuelve el óxido de cerio usado en el proceso de pulido; a continuación se lava con agua destilada en un baño de ultrasonidos.

La estructura de montaje o caja se fabrica e inspecciona separadamente. La caja consta de unas cintas de níquel a las que se unirá el elemento de cristal, soldadas a unas conexiones de cobre moldeadas en un disco de vidrio. El disco de vidrio no sólo forma una base de montaje sólida para el cristal sino que sirve como placa deflectora de calor de forma que el calor producido en el proceso de sellado es alejado de la placa de cristal. El elemento de cristal de cuarzo está orientado de forma que el eje cristalográfico Z coincide con los dos puntos de resina epoxi no conductora que lo une a las cintas de níquel. La razón para esto es que la inductancia del cristal depende ligeramente del campo parásito creado por la conducción desde el borde del elemento al electrodo central. Si este pequeño campo adicional se mantiene constante, definiéndole en relación a la estructura del cristal, no habrá variaciones de inductancia de un cristal a otro.

Después de curada la resina se inspecciona visualmente la limpieza y calidad de las juntas en el conjunto. El electrodo circular de oro se deposita por evaporación a través de una máscara apropiada. El espesor del electrodo del orden de 3000 \AA es suficiente para disminuir la frecuencia en 14 kHz. Durante la evaporación el cristal está conectado a un oscilador. Tan pronto como el depósito del metal es conductor el cristal se excita piezoeléctricamente y mantiene el oscilador a la frecuencia de resonancia natural. Los electrodos se depositan en dos etapas, primero se evapora la mayor parte del oro hasta que la frecuencia está entre $+ 80$ Hz y $+ 100$ Hz de la frecuencia final. Se saca el cristal del evaporador y se estabiliza la capa calentándolo a 120°C durante 10 minutos. Este proceso de estabilización es para eliminar las tensiones producidas en los depósitos durante su eva-

poración que podrían afectar el envejecimiento de frecuencia. Entonces se ajusta el cristal a su frecuencia con otro proceso de evaporación hasta una precisión de ± 5 Hz. Después del depósito se inspeccionan visualmente las unidades así como las ampollas de vidrio y las bases utilizadas para la encapsulación final. El conjunto del cristal se suelda por puntos a la base que a su vez se sella a la ampolla con llamas de gas; las unidades se cierran finalmente bajo el vacío de una bomba rotatoria. La figura 4 muestra una fotografía de la unidad terminada.

4. Inspección final

Las primeras pruebas son:

- choque térmico: 15 segundos en agua hirviendo seguida de inmersión en una mezcla de hielo y agua;
- aislamiento: a 100 voltios corriente continua;
- dimensiones.

Las unidades están ahora listas para la inspección eléctrica según la especificación requerida y se comprueba el 100 % de las unidades:

- frecuencia a la temperatura ambiente;
- variación de la frecuencia y la resistencia dentro de todo el margen de temperatura;
- capacidad estática;
- las frecuencias parásitas se registran probando las unidades en un circuito pasivo que está conectado entre un generador de frecuencia variable y un detector sinto-

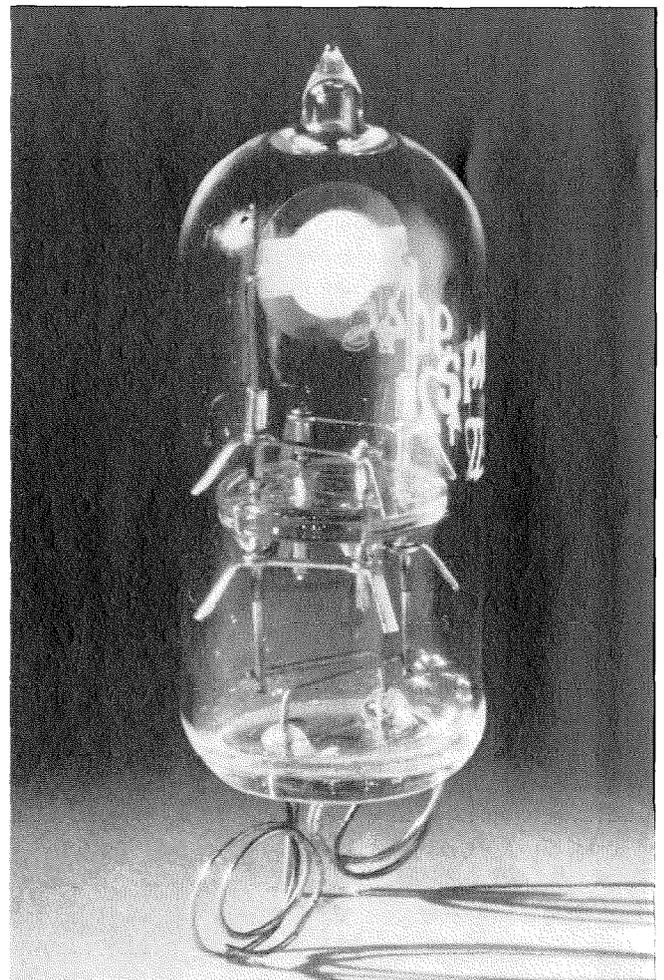


Fig. 4 Fotografía de la unidad de 2,7 MHz para repetidores submarinos.

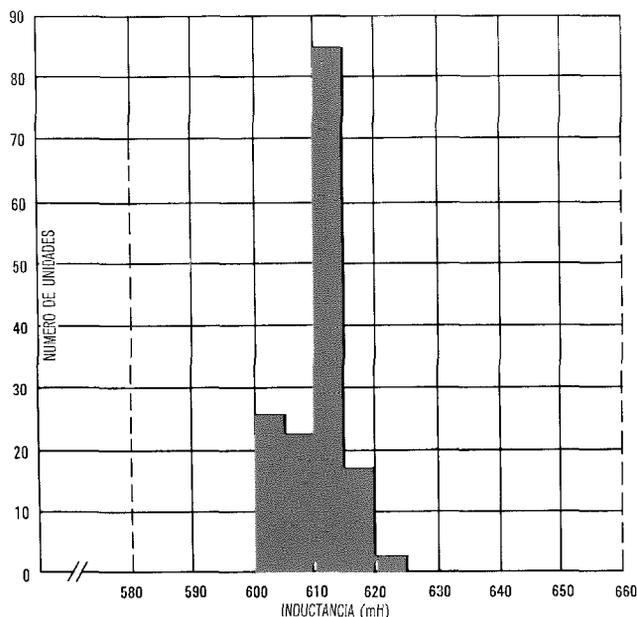


Fig. 5 Histograma de los valores de inductancia comparados con los límites especificados.

nizado aceptado. Cuando la frecuencia aplicada coincide con una frecuencia parásita, la salida del detector sube bruscamente a un máximo;

h) inductancia: la figura 5 muestra un histograma de este parámetro para un cierto número de unidades comparadas con los límites de la especificación. La forma de la distribución es una medida de la calidad del diseño así como de las tolerancias mantenidas en la forma del elemento y tamaño del electrodo.

El coeficiente de frecuencia con la temperatura es un indicativo del alto grado de control necesario en la aplicación de elementos curvos.

4.1 Envejecimiento de los cristales

Esta es la prueba más importante y más larga. Proviene del hecho de que ni el cristal ni el filtro deben variar más de 75 Hz en los 20 años de vida garantizada del sistema ya que el filtro perdería su banda de paso si todas las otras tolerancias fuesen desfavorables. A fin de traducir esta cifra a una prueba de la unidad, se supone un cambio aproximadamente lineal de frecuencia por el envejecimiento y puede tolerarse como máximo una modificación de 0,014 Hz por día al final de un período de envejecimiento después de la fabricación. Esta interpretación de la especificación tiene un apreciable factor de seguridad ya que los cristales envejecen logarítmicamente, es decir, las unidades cambian de frecuencia en los 10 primeros días después de ser fabricadas tanto como en los 100 días siguientes a estos. Generalmente se considera más probable que un cristal envejezca menos de ± 9 Hz durante los 20 años de vida más bien que los ± 75 Hz especificados. Debido a la falta de una garantía 100% la tendencia es aceptar el mayor coste y rendimiento más bajo que resulta de unos límites de prueba más exigentes.

Esta prueba se realiza con los cristales sumergidos en un baño de aceite a temperatura constante de 50 °C con variaciones menores de 0,1 °C siendo este valor

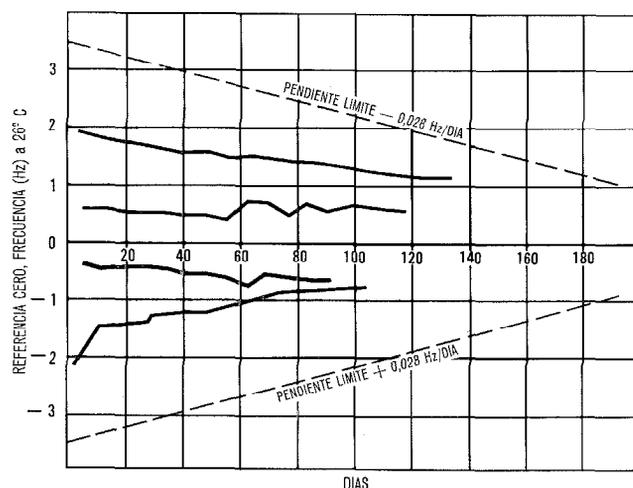


Fig. 6 Curvas típicas del cambio de la frecuencia de resonancia del cristal con el tiempo manteniendo la temperatura constante a 50 °C.

ligeramente superior a la máxima temperatura de trabajo. Un oscilador estable se conecta periódicamente a cada cristal. La frecuencia de salida se multiplica por 100 y se pasa a un contador que usa un tiempo de muestreo de 10 segundos. La precisión de la lectura es de 0,001 Hz o sea $\pm 4 \cdot 10^{-10}$. Cada lectura se registra tres veces de forma que se puede detectar rápidamente la inestabilidad del oscilador y del cristal. Los resultados típicos se muestran en la figura 6 que indica no sólo el problema de mantener la estabilidad a largo plazo en el equipo de prueba para un gran número de cristales, indicada por la aparente discontinuidad en la pendiente del envejecimiento del cristal, sino también la tendencia de la unidad a envejecer más lentamente a medida que pasa el tiempo de la prueba.

Después de la prueba de envejecimiento se retiran las unidades del baño de aceite, se inspeccionan visualmente y se prueba la frecuencia y resistencia a temperatura ambiente que no sólo deben de estar dentro de la especificación sino también corresponder con las lecturas de antes del envejecimiento. Las unidades están entonces dispuestas para el encapsulado final en botes metálicos para usarse en los filtros. Los botes de latón tienen terminales para soldar colocados en una base aislante y son comprobados visualmente antes de soldar la unidad de su sitio. Una comprobación final de los terminales, así como de la frecuencia y resistencia a temperatura ambiente y aislamiento completan el proceso de inspección. Sólo el 4% de las unidades no pasaron la inspección después del envejecimiento, lo que muestra que se ha alcanzado una gran seguridad en la técnica de fabricación y control de cristales y hace confiar que la estabilidad y lento envejecimiento del producto será mantenido por un período muy largo.

A. Seed nació en 1938. Ingresó en el Imperial College de Londres en 1956 y se graduó en física en 1959 con excelente calificación. Se le concedió una bolsa de estudios para investigar las propiedades fundamentales de los cristales de cuarzo, en particular las bases de las pérdidas acústicas y propiedades elásticas no lineales. Se le concedió el grado de doctor y se unió a la división de cristales de cuarzo en 1962 como miembro de la sección de ingeniería.

Transformadores, reactancias y resistencias bobinadas de alta precisión

V. KAPLANSKI

1. Introducción

Son conocidas las consideraciones más importantes en la fabricación de transformadores, bobinas de reactancias y resistencias bobinadas para uso en repetidores submarinos. No se hará mención de los componentes y procesos, que han sido hasta ahora probados satisfactoriamente por experiencias pasadas. Principalmente se explicarán las modificaciones o mejoras de las prácticas ya establecidas.

Los componentes tienen muchas características semejantes; se considerarán primeramente los aspectos generales y después cada tipo de bobina en particular.

2. Construcción

2.1 Hilo

La experiencia en la fabricación de bobinas para uso en repetidores submarinos durante los últimos 15 años, ha demostrado que el empleo de hilo sencillo de cobre con un mínimo de 41 SWG (Standard Wire Gauge) de 0,112 mm es satisfactorio. Tampoco ha habido ningún caso de daño en el hilo en el curso de la fabricación, como por otra parte la resistencia a la tracción del hilo de resistencia de 44 SWG (0,081 mm) es aproximadamente la misma que la del hilo de cobre de 41 SWG, se dedujo que se tendría una fabricación igualmente sin problemas, lo que fué confirmado por la experiencia. Con la aparición de modernos esmaltes se hizo posible obtener conductores multifilares empleando hebras de hilo de 50 SWG (0,025 mm) y éstos se han empleado adecuadamente en las reactancias para alta frecuencia.

Todos los hilos se aislaron con un esmalte de poliuretano en lugar de ser a base de acetato de vinilo. Además los hilos de resistencia se cubrieron con una capa de seda y los conductores de cobre, sencillos o multifilares, se cubrieron con doble capa de seda.

La utilización de esmalte de poliuretano que actúa como fundente para que la soldadura se extienda sobre las piezas a soldar, ha disminuído considerablemente la posibilidad de hebras rotas en los conductores multifilares, y ha simplificado la operación de su soldadura.

Para soldar los hilos a los terminales se emplearon soldadores con temperatura regulada a 400 °C aproximadamente, y se empleó aleación de estaño-plomo 60/40 en todas las operaciones de estañado y soldado. Esto no produce estaño libre después de soldar, lo que casi elimina las "barbas" en las soldaduras.

Normalmente no se sueldan más de tres hilos a una posición de una regleta de conexión, y la soldadura debe ser realizada en una sola operación para permitir que el operario observe como se extiende el estaño fundido. Normalmente no se permite que una junta sea fundida de nuevo.

2.2 Materiales

Además de los materiales aislantes bien conocidos se empleó DAP (Ptalato de dialilo) con carga de fibra de

vidrio para piezas sueltas y para algunos carretes, y ha reemplazado casi por completo el Perspex (acrilato de metilo). El DAP se moldea fácilmente y soporta temperaturas más altas que el Perspex siendo compatible con el resto de los materiales aislantes. El Perspex se usa solamente en los carretes de ciertas bobinas. Las bobinas de reactancia de aire y resistencias bobinadas se devanan sobre núcleos cerámicos de esteatita vitrificada, de bajas pérdidas.

Las cajas, pantallas y conductores son de cobre o latón. Las cajas de latón circulares con cinco sectores son de fundición y se limpian mediante un chorro a presión de agua con óxido de aluminio. A las cajas de cobre se les da un acabado brillante mediante una limpieza con ácido seguida de pulido eléctrico en un baño de anodizado.

El chapado de oro se usa solamente en el hilo usado para las terminaciones de las bobinas con núcleo cerámico y para la interconexión de componentes.

2.3 Procesos

Como la presencia de polvo puede producir caminos eventuales para arcos, se mantienen unas normas de limpieza tan severas como es posible, en todo el área de fabricación de bobinas, la cual está provista de un sistema de aire filtrado libre de partículas de más de 0,2 micras y mantenida a temperatura constante de $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa inferior a 40 %. Todo el personal debe ponerse batas de nylon antes de entrar en este área.

Se estimó en principio que la máxima temperatura ambiente en el amplificador sería de 55 a 60 °C. Por esta razón se emplea para impregnación en vacío de todos los devanados sobre cerámico, un barniz sin disolvente en lugar de cera de impregnación. Todos los devanados en carretes de Perspex se cubren con una laca de poliestireno. Los transformadores se aíslan con cinta de poliéster termopolimerizable, siendo la temperatura de polimerización tal que no afecta los aislamientos de los hilos.

2.4 Núcleos

Se utilizan tres materiales para los núcleos: polvo de hierro obtenido por reducción de carbonilo de permeabilidad 11, ferrita de Mn-Zn de permeabilidad 1200 y ferrita Ni-Zn de permeabilidad 250.

Se emplean en general núcleos en "pot" formados por dos seminúcleos del tipo que aparece en la figura 7B, con la excepción de los transformadores del amplificador que usan núcleos en forma de E.

Se emplean núcleos de polvo de hierro y núcleos de ferrita Mn-Zn con permeabilidad de 25, 50 y 100, en los circuitos de los filtros donde se precisa alto valor de Q, buen coeficiente de temperatura, estabilidad con el tiempo, bajas pérdidas por histéresis y fácil ajuste.

Se utiliza en cambio, ferrita Mn-Zn de permeabilidad 1200 en los transformadores del amplificador donde se

precisan bajas pérdidas por histéresis, capacidad para soportar una componente continua y alta impedancia. Las bobinas de separación longitudinal que precisan alta impedancia también usan este mismo material.

Para ajuste de algunos solenoides con núcleo de aire se emplean varillas de polvo de hierro o de ferrita Ni-Zn.

No se emplean núcleos toroidales, para simplificar el devanado, ni núcleos laminados, para evitar el ensamble de los mismos.

3. Tipos de bobinas

En primer lugar se mencionan las resistencias de tipos convencionales: las nuevas necesidades se han realizado por nuevos tipos de fabricación, por ejemplo, en forma de línea de transmisión, bobinas con espiras fraccionadas, etc.

3.1 Resistencias bobinadas

Los igualadores, circuitos beta y circuitos de acoplo necesitan una gran variedad de resistencias pequeñas, muy estables, de alta precisión y de muy buena constante de tiempo. Estas resistencias se bobinan, sobre núcleos cerámicos. El margen de valores necesario es de 3 a 560 ohmios.

Como las resistencias bifilares y en especial las de valores muy bajos o muy altos tienen valores de reactancia residual, más bien alta, no son adecuadas para su uso en altas frecuencias. Por tanto se desarrollaron dos nuevos tipos de resistencias capaces de cumplir tales requisitos.

El primer tipo, que cubre el margen de 60 a 560 ohmios se basa en que un cierto número de bucles bifilares idénticos conectados en serie se comportan como un bucle simple. Esto es debido a que cada bucle está devanado antiinductivamente y el acoplamiento por capacidad entre los distintos bucles es muy pequeño. Escogiendo un margen muy estrecho de valores de resistencia, digamos de 60 a 140 ohmios y con diámetro de hilo apropiado es posible fabricar resistencias aceptables en todo el margen citado. La constante de tiempo obtenido varió de $4 \cdot 10^{-9}$ para 60 ohmios a $2 \cdot 10^{-10}$ para 560 ohmios. Se desarrolló una máquina especial para bobinar estas resistencias.

Se dió una solución distinta para el segundo tipo que cubría el margen de 3 a 60 ohmios aproximadamente. Esta resistencia es una línea de transmisión construida con un conductor resistivo interior con una pantalla de 6 hilos de cobre enrollados helicoidalmente sobre él. El conductor central y la pantalla están aislados entre sí a lo largo de toda la longitud pero conectados eléctricamente en uno de los extremos. El otro extremo del conductor central y de la pantalla se conectan a dos terminales. Los dos terminales y la línea de transmisión en espiral se sujetan a un soporte cerámico. Para dar estabilidad mecánica y proteger la resistencia se impregna en vacío con un barniz sin disolvente y se protege por colada de resina epoxi. La constante de tiempo varía de 10^{-8} para la de 3 ohmios a $3 \cdot 10^{-10}$ para una resistencia de 60 ohmios [1].

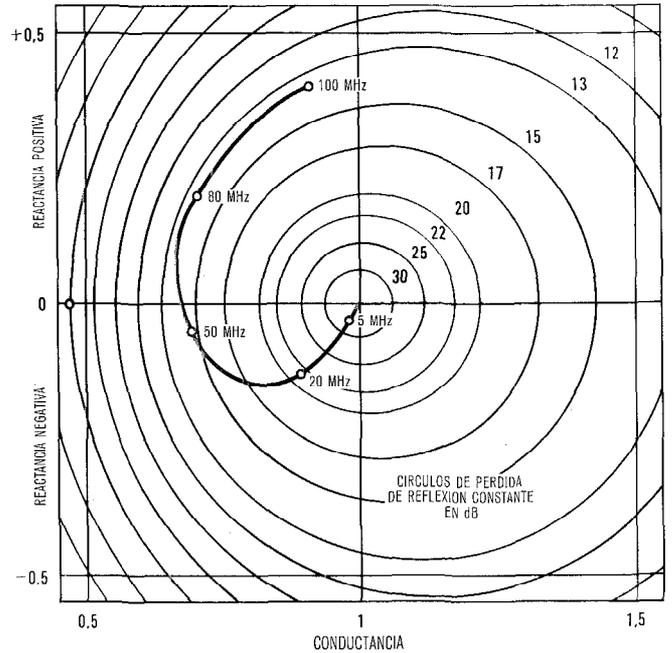


Fig. 1 Diagrama de pérdidas de reflexión normalizadas en función de la admitancia. Valor normal 43 ohms.

En la figura 1 se muestra el comportamiento típico en alta frecuencia de una resistencia de 43 ohmios y la figura 7A muestra una fotografía de una resistencia de este tipo.

3.2 Transformadores de entrada y salida del amplificador

Los transformadores de entrada y salida de los amplificadores son del tipo híbrido. En contra de la práctica establecida anteriormente los transformadores no se encierran herméticamente en botes individuales, sino que forman parte de los circuitos de entrada o de salida y se montan con otros componentes en una placa que a su vez se coloca en una caja de cobre. Esta construcción ahorra espacio, acorta la longitud de las conexiones y reduce la mano de obra durante la fabricación (Fig. 2).

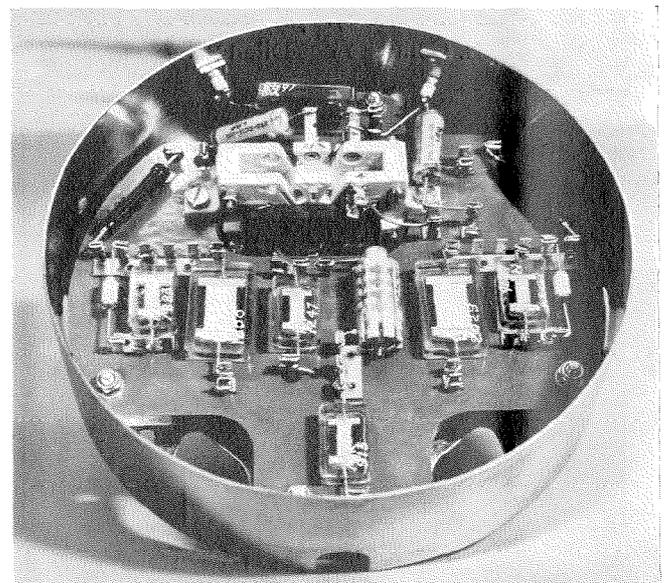


Fig. 2 Conjunto del circuito de entrada del amplificador.

Inductancias y resistencias

La construcción y el método de bobinado de los dos tipos de transformadores son casi los mismos, siendo la diferencia principal el procedimiento de apantallado. Se escogió un núcleo en forma de E porque así el carrete permite trabajar mejor con el gran número de conexiones. El núcleo es de ferrita Mn-Zn de permeabilidad 1200.

La capacidad propia y la inductancia de dispersión de los transformadores se compensan con condensadores de mica plateada y reactancias sin núcleo.

El transformador de salida está en el circuito μ - β del amplificador y para asegurar satisfactoriamente su comportamiento es necesario examinar éste a 50 MHz.

La figura 3 muestra una característica de frecuencia, típica, que relaciona la tensión de entrada en el devanado de alta y la tensión en el devanado de realimentación. Se notará que hay una resonancia aproximadamente a 18 MHz. La frecuencia y la amplitud de esta resonancia se controla con precisión. El añadir una impedancia en serie con la conexión a tierra de la pantalla es factor determinante en esta resonancia y se realiza colocando sobre la conexión una cuenta de ferrita. La variación de la capacidad propia y de la inductancia de dispersión del transformador de salida antes del ajuste se muestra en la figura 4. Después del ajuste la variación de la inductancia de dispersión se reduce a $\pm 2\%$ y la capacidad a ± 1 pF. Para representar la respuesta de frecuencia en un oscilógrafo se utilizó la técnica del barrido de frecuencia.

3.3 Bobinas de reactancia del filtro direccional

Se decidió construir los filtros direccionales como una serie de unidades resonantes, cada una de ellas con resonancia a la frecuencia deseada. Cada filtro paso bajo y paso alto, está ensamblado en una caja de latón fundido circular dividida en cinco sectores. En cada filtro hay cuatro de cinco bobinas, con núcleo de polvo de hierro. Para reducir la intermodulación total la última bobina es un solenoide con núcleo de aire pero con un dispositivo de ajuste de polvo de hierro.

Los condensadores son de mica plateada. El margen de inductancia es de 2,5—7,13 μ F con excepción de dos bobinas de 48 μ H. Como se necesitan valores muy bajos

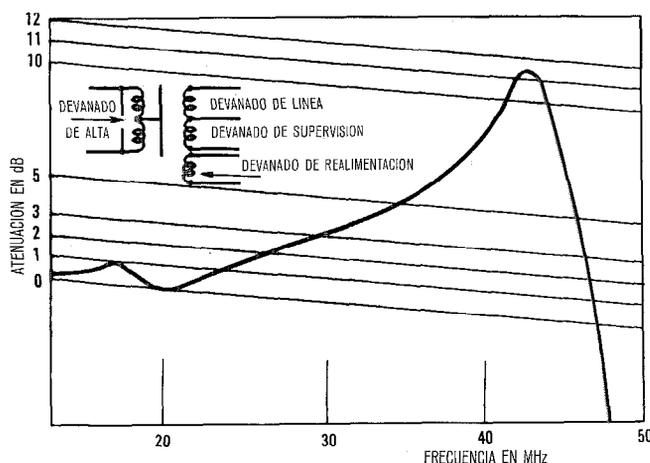


Fig. 3 Característica típica de respuesta de frecuencia del transformador de salida del amplificador.

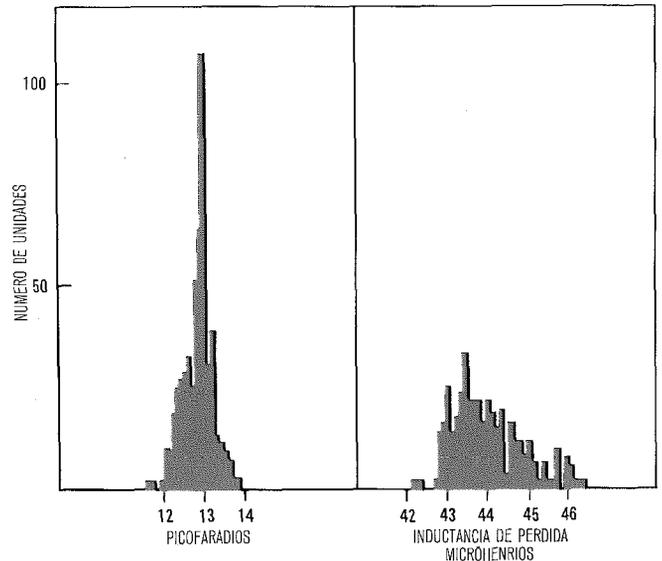


Fig. 4 Capacidad e inductancia de dispersión del transformador de salida antes del ajuste. Cada histograma representa unas 500 bobinas.

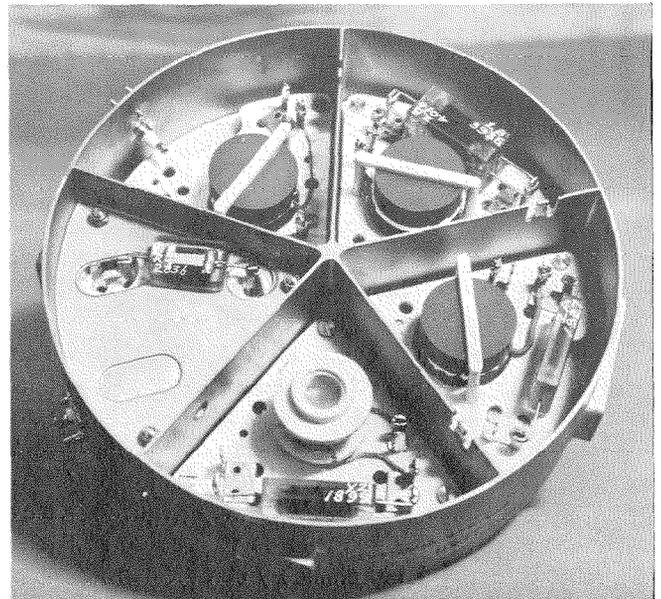


Fig. 5 Conjunto del filtro direccional.

de inductancia con valores de Q altos, se utilizaron conductores multifilares de 243 hebras.

Las dos mitades del núcleo en "pot" se unieron, con una resina epoxi que ya había sido usada satisfactoriamente durante muchos años en repetidores submarinos. La figura 5 muestra una vista de conjunto del filtro.

El coeficiente de temperatura de la autoinductancia es aproximadamente de -35 partes en 10^6 por grado C.

A fin de mantener la dispersión del valor de Q, tan bajo como fué posible, se introdujo un método especial de selección de hilos y núcleos empleando tablas de números aleatorios.

Se representaron gráficamente los valores de Q mediante histogramas con el fin de observar sus variaciones durante la fabricación. La figura 6 muestra la variación de Q de las bobinas individuales en el filtro paso alto.

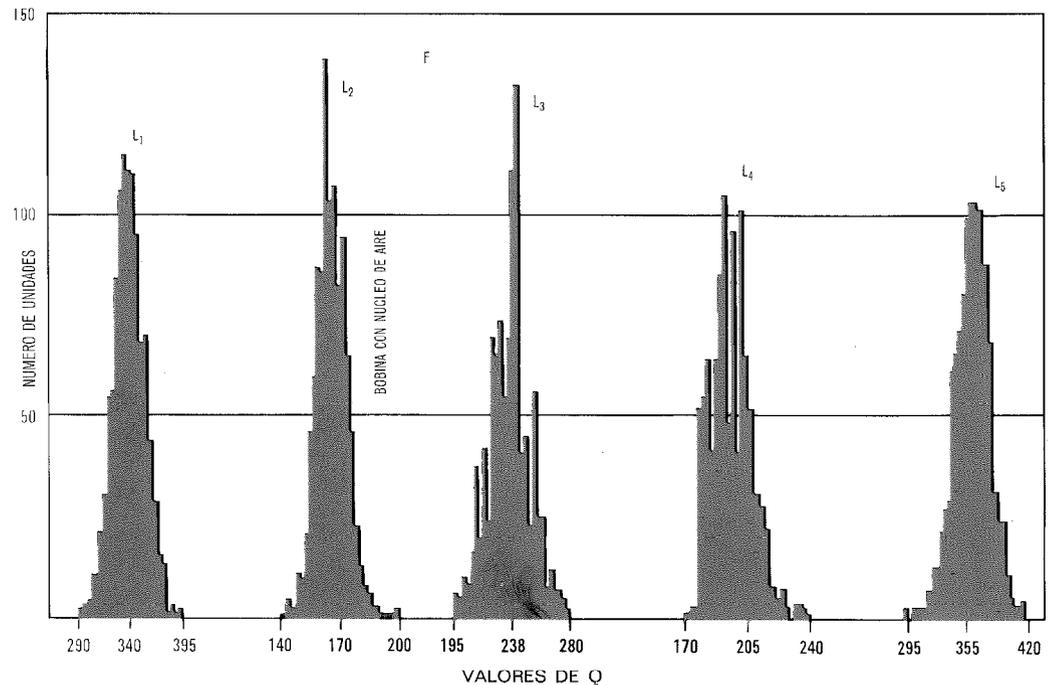


Fig. 6 Variación de Q en las bobinas del filtro direccional paso alto cada histograma representa unas 1000 bobinas.

3.4 Reactancias y transformadores para filtros de supervisión

La construcción de los filtros de portadora y de ruido para supervisión son en general semejantes a los filtros direccionales. Las unidades resonantes se montan en cajas de cinco sectores.

Estos filtros emplean núcleos en "pot" de ferrita Mn—Zn con permeabilidad efectiva de 25 y 50. Los filtros de ruido usan núcleos de polvo de hierro. Ambos filtros se montan en cajas de latón fundido.

Los filtros de portadora emplean núcleos de polvo de hierro y se montan en cajas de cobre. Debido a las condiciones tan rigurosas necesarias para estos filtros se usaron condensadores ajustables (trimmers) para permitir la sintonía final después de ensamblado el filtro. Para reducir las variaciones de la inductancia de dispersión de los dos transformadores, los devanados de baja se bobinan en unas muescas en espiral marcadas en el núcleo del carrete.

El conjunto consta de cuatro transformadores junto con el resto de los componentes en una placa común. Los núcleos son en "pot" de ferrita Mn—Zn de 18×11 mm con permeabilidad 1200. Uno de los transformadores tiene una pantalla electrostática entre los dos devanados.

3.5 Inductancias y transformadores de los igualadores

En los igualadores se emplean dos tipos de reactancias: solenoides sin núcleo sobre carretes cerámicos con cuatro ranuras y dispositivos de regulación de polvo de hierro y carretes cerámicos donde se necesita un Q más bajo.

Como las inductancias son solo del orden de unos pocos microhenrios con una precisión de $\pm 1/2\%$, la bobina solo tiene un pequeño número de espiras y es evidente que una espira en más o menos cambiará la

inductancia en una proporción apreciable. Esta dificultad se solucionó usando el carrete de la figura 7C lo que permite terminar el extremo exterior del devanado coaxialmente con el solenoide, permitiendo un ajuste hasta de $1/8$ de vuelta.

El valor de Q de estas inductancias es de aproximadamente 60 a la frecuencia de 1 MHz.

Hay dos casos de circuitos resonantes en los que una inductancia del orden de $0,2 \mu\text{H} \pm 10\%$ debe sintonizarse con un condensador del orden de 50.000 pF. Como tal condensador es voluminoso y caro, se introdujo un auto transformador para reducir el tamaño y por tanto el precio de tal condensador. Resultó imposible lograr la relación de transformación necesaria con número entero de vueltas y hubo de usarse devanados con fracciones de vueltas.

Un método conocido de realizar una fracción de vuelta, sería colocar un conductor que forma parte del devanado de forma que solo sea atravesado por parte del flujo magnético total del transformador. Este sistema tiene el inconveniente de que aumenta la inductancia de dispersión. Para reducir esta inductancia se desarrolló un devanado con fracciones de vuelta compuesto por varios sectores circulares colocados simétricamente alrededor del eje del devanado [2]. La disposición es tal que un plano axial cualquiera, que pasa por la periferia del arrollamiento corta a cada lado del eje conductores, en los cuales el sentido de la corriente es el mismo.

Los devanados están colocados en el entrehierro del núcleo y las conexiones se sacan a través del orificio central del núcleo. Este devanado se conecta en serie con un devanado con un número entero de vueltas atravesadas por el flujo magnético total (Fig. 7B).

Los transformadores usan núcleos, en "pot", de ferrita Mn—Zn de permeabilidad 1200.

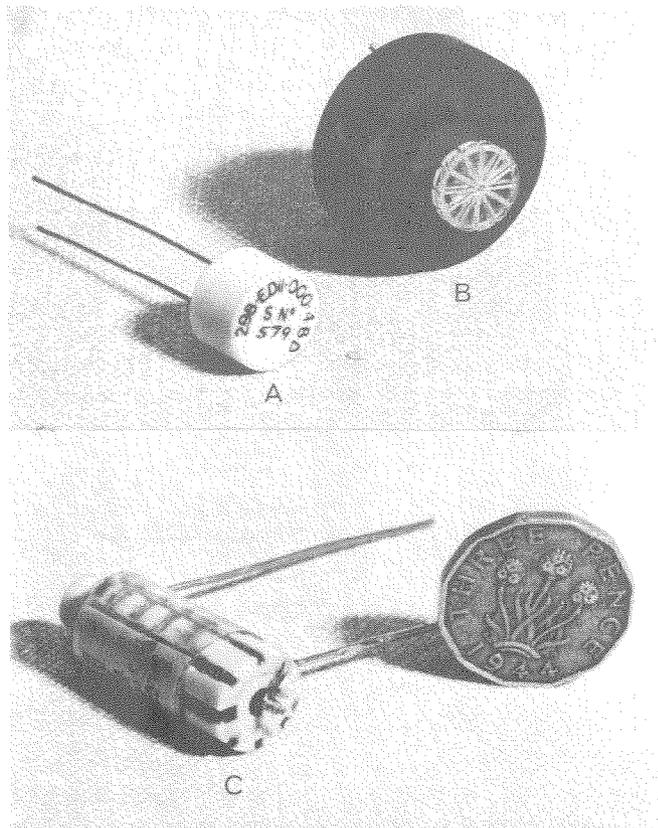


Fig. 7 Resistencia de alta frecuencia y devanados de fracciones de vuelta.

3.6 Reactancias para los filtros separadores de potencia

Se requieren dos reactancias para los filtros separadores de potencia. Una de ellas está atravesada por la corriente continua de alimentación y las corrientes de señalización de alto y bajo nivel, mientras que la otra está atravesada por la corriente continua, pero solo una pequeña fracción de las corrientes de señalización. Para evitar problemas de intermodulación las primeras son sin núcleo.

Hay muchas soluciones físicas a este problema pero se encontró como más conveniente un devanado convencional en capas para el primer caso y un núcleo de ferrita Mn—Zn en "pot" de 35 mm con entrehierro para el segundo.

3.7 Bobinas de separación longitudinal

Estas bobinas se emplean para conectar dos circuitos uno equilibrado y uno desequilibrado, así como para aislar de tierra los circuitos. Tienen dos devanados iguales. La condición fundamental es que deben tener una inductancia bastante alta, y que los dos devanados deben ser equivalentes a una línea de transmisión con impedancia igual a aquella con la que se conecta la bobina.

Para lograr esta condición de impedancia se diseñó un cuadrete especial. Cuando se conectan en paralelo los dos pares de conductores opuestos se forman dos devanados cuya capacidad distribuida y autoinducción entre devanados, simulan una línea de impedancia característica igual a aquella con la que se conecta la bobina.

Para lograr la condición de inductancia se empleó un núcleo de ferrita en "pot" de permeabilidad 1200.

4. Fiabilidad

Los detalles que se dan en este artículo, tienen por objeto poner de manifiesto las distintas precauciones que deben tomarse en el diseño y fabricación de los bobinados para repetidores sumergidos para conseguir los altos niveles de confianza necesarios.

Un principio esencial es de no utilizar más que componentes y métodos cuya seguridad se haya demostrado por una larga experiencia, así como hacer sufrir a cada pieza una inspección visual capaz de descubrir cualquier imperfección. Por ejemplo, todos los núcleos se examinan con una lupa de relojero para descubrir cualquier fisura, por pequeña que sea. La porosidad de los núcleos se mide también periódicamente. En el montaje se fijan los núcleos mediante pegamento pero luego se refuerza la fijación mecánicamente.

Los arrollamientos se protegen mecánicamente contra los detectores. Algunos se inspeccionan en diversas etapas del bobinado. Se ha visto como la elección juiciosa del diámetro óptimo de hilo ha disminuído los riesgos de que se dañe durante la fabricación. Los arrollamientos de los transformadores se prueban por métodos no destructivos, particularmente en alta tensión entre devanados o entre éstos y pantalla para comprobar la ausencia de ionización.

Todos los componentes nuevos se prueban (a vibración, en choques, y en prueba de vida) según normas establecidas. Una combinación de ensayos acelerados y medidas eléctricas muy precisas, permite establecer la estabilidad mecánica y eléctrica a largo plazo, mientras que algunas muestras sacadas al azar durante la fabricación se someten a las mismas pruebas y deben permanecer dentro de límites prefijados.

Todos los adhesivos nuevos han sufrido durante meses ciclos de humedad asociados con pruebas adecuadas de resistencia mecánica.

5. Conclusión

Los cambios mencionados han extendido el margen de los componentes disponibles para repetidores submarinos sin perjudicar su alta fiabilidad. El empleo de núcleos de ferrita en "pot" y en "E" en sustitución de los núcleos toroidales y laminados empleados anteriormente, ha proporcionado al repetidor una estructura más simple.

El empleo del esmalte auto fundente ha simplificado considerablemente la preparación de conexiones soldadas con un mínimo de mano de obra. El desarrollo de los devanados con fracciones de vuelta y las resistencias bobinadas para alta frecuencia fué facilitado en gran manera por la posibilidad de realizar conexiones satisfactorias con este tipo de hilo.

Se introdujeron satisfactoriamente dos nuevos materiales, DAP para el moldeado de piezas aislantes y la cinta de poliéster.

Agradecimiento

El autor desea agradecer a Mr. W. F. Glover por su ayuda en la preparación de este artículo y a Mr. R. Blakely por la preparación de los histogramas.

Referencias

- [1] W. F. Glover: Resistencias eléctricas, patente inglesa 1.021.779.
- [2] W. F. Glover: Devanados eléctricos, patente inglesa 1.073.080.

Vladimir Kaplanski nació en Polonia. Se graduó como ingeniero diplomado del Estado en el Instituto Politécnico de Varsovia en 1928.

Desde entonces hasta mediados de 1931 trabajó en diseño de subestaciones de potencia en las fábricas Skoda de Checoslovaquia, de aquí vino a Inglaterra. Hasta 1939 trabajó por cuenta propia.

En 1939 se unió al departamento de bobinas de la división de transmisión de Standard Telephones and Cables en North Woolwich. Desde entonces ha sido el responsable del desarrollo y diseño de bobinas y transformadores especiales incluidos los usados en los repetidores submarinos.

En 1967 fué transferido a la división de sistemas de repetidores submarinos donde es el jefe del grupo de diseño de bobinas.

V. Kaplanski es miembro del Institution of Electrical Engineers.

Nuevas Realizaciones

Servicio telefónico en el transatlántico "Hamburg".

En su viaje inaugural el 30 de Marzo de 1969, el transatlántico de lujo de 23.500 toneladas "Hamburg" ofreció a los pasajeros un servicio telefónico comparable al de los hoteles de primera clase. Se ha instalado una centralita de barras cruzadas "Grosscitomat" de Standard Elektrik Lorenz AG con trescientas treinta extensiones en las cabinas, salas de reunión y salones. Los pasajeros pueden llamarse unos a otros mediante un traductor que permite que el número de cabina se emplee como número telefónico. También los pasajeros tendrán acceso a 50 números del personal de servicio del barco. Además, podrán hacerse llamadas de larga distancia; en puerto a través de cinco líneas de enlace a la red local y en alta mar por dos líneas de enlace a la estación de radio del barco.

El personal de mando del barco tiene 50 extensiones adicionales para llamada al personal técnico y de servicio. Una oficina de información acepta los pedidos de los pasajeros y pasa las instrucciones a los camareros.

Un sistema separado de barras cruzadas telefónico "Citomat" que comprende 25 extensiones, interconecta las más importantes estaciones del barco. Este sistema está alimentado por un suministro de fuerza de emergencia de 24 voltios, de modo que pueda funcionar aunque falte el suministro principal del barco.

Los asuntos del barco en puerto pueden hacerse independientemente del tráfico telefónico del pasaje por medio de cinco prolongaciones de líneas de tierra que terminan en aparatos telefónicos.

Standard Elektrik Lorenz AG, República Federal Alemana

Instalación telefónica en el nuevo mercado central de París.

El traslado a Rungis (en los suburbios de París) del mercado central, que desde el siglo XII ha ocupado el centro de la ciudad, marcará un hito en la planificación de la capital de Francia.

En el campo particular de las comunicaciones, los promotores, con el deseo de proporcionar a los usuarios del nuevo mercado facilidades eficaces y rápidas, trataron de instalar sistemas complejos de enlaces de comunicación, no limitados a líneas telefónicas, solamente. Así, la Compagnie Générale de Construction Téléphoniques realizó 47 instalaciones, bien de centralitas privadas automáticas tipo Pentaconta* o sistemas de comunicación con altavoz, tubos neumáticos y equipos de interfonos. Las dos centralitas automáticas de la estación de carga y descarga y de mercado por sí solas, incluyen más de 500 estaciones del tipo Pentaconta 18 E.

Durante más de dos años se ha preparado la construcción e instalación.

También la energía eléctrica se distribuye con un sistema tipo IV de control a distancia instalado por CGCT.

Compagnie Générale de Constructions Téléphoniques, Francia

Exportación de equipos radio móviles "Star".

La primera instalación de exportación de equipo radioteléfono móvil *Star* (Standard Telephone Advanced Radiotelephone), se ha completado en Finlandia justamente 14 meses después que se inició el desarrollo del equipo.

Estos radioteléfonos de frecuencia ultra-elevada (UHF) se han instalado en 90 autobuses de los transportes de Helsinki. Se ha pasado un pedido para otros 90 equipos. Anteriormente la dirección de transportes ha empleado radio móviles de muy alta frecuencia (VHF) pero ahora intenta equipar todos sus 800 autobuses con radioteléfonos de ultra alta frecuencia para mejorar los horarios y el control de los servicios de autobuses con cualquier condición meteorológica.

Standard Telephones and Cables Limited, Reino Unido

* Marca registrada del sistema ITT.

Modems para transmisión de datos.

Una nueva serie de modems de transmisión de datos en el margen de 200 a 40.800 bits/segundo se ha presentado por Standard Radio and Telefon AB. Estos modems facilitan la rápida y exacta transmisión de datos sobre circuitos telefónicos.

La flexibilidad en la construcción combinada con la uniformidad en el interior y exterior facilita la conversión fácil de la velocidad de 200 bits/segundo a 1200 bits/segundo y 2400 bits/segundo y simplifica la conservación y disponibilidad de repuestos.

— *Modem GH-1101, 200 bits/segundo* que se ha diseñado para comunicación simultánea de datos en las dos direcciones sobre líneas a dos hilos en la red de teléfonos pública o sobre líneas privadas a dos hilos. Está de acuerdo con la recomendación del CCITT V.21 con circuitos de tráfico conformes con la recomendación del CCITT V.24.

— *Modem GH-2002, 600/1200 bits/segundo* que sirve para transmisión alternativa en una dirección sobre líneas a dos hilos o transmisión simultánea en dos direcciones sobre líneas a cuatro hilos. Puede emplearse cualquier velocidad de transmisión de datos hasta de 1200 bits/segundo; con unidades de reloj incluidas, la velocidad de transmisión de datos está controlada por cristal a 600/1200 bits/segundo. Puede incluirse un canal inverso de 75 bits/segundo, que facilita la transmisión de señales de supervisión en dirección inversa. También puede equiparse con un circuito para contestación automática y desconexión.

Los modems GH-2002 H, 2002 J y 2002 N pueden equiparse con un modulador y un demodulador con cualquier combinación de 1200 y 75 bits/segundo.

Los modems GH-2002 K, 2002 L y 2002 Q pueden equiparse con dos moduladores y dos demoduladores para 1200 y 75 bits/segundo respectivamente, y también unidades de reloj para 600/1200 bits/segundo y un igualador de línea.

Está de acuerdo con la recomendación del CCITT, V.23 con circuitos de tráfico de acuerdo con la recomendación V.24.

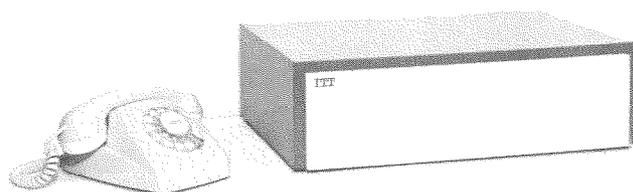
— *Modem GH-2003, 1200/2400 bits/segundo*, constituye una versión más rápida del modem GH-2002. Este tipo de modem puede equiparse con dos moduladores y dos demoduladores para 2400 y 75 bits/segundo respectivamente. También pueden equiparse unidades de reloj para 900/1800, 1000/2000 ó 1200/2400 bits/segundo y un igualador de línea.

— *Modem GH-3001, 40.800 bits/segundo* que se ha diseñado para transmisión simultánea de datos en las dos direcciones sobre circuitos conectados permanentemente de cuatro hilos sin carga en la red telefónica local o sobre un grupo de circuitos de 48 kHz en la red de portadoras. No es necesaria la igualación si la distorsión de retardo es menor de 80 microsegundos. El modem es también insensible a la interferencia de un simple tono. No es necesario ningún filtro anterior al modem de recepción. También pueden incluirse opcionalmente unidades de reloj.

— Construcción mecánica

Los modems anteriores se construyen mecánicamente de acuerdo con las normas ISEP (práctica de construcción de equipos de ITT). El subensamble puede colocarse encima de una mesa, en un armario de diseño moderno o bien en un bastidor de 482 mm.

Todos los modems, GH-1101, GH-2002 y GH-2003 pueden controlarse a distancia, ya sea con interconexión CCITT o



Equipo de modem dispuesto para sobremesa.
(Esta figura es representativa para todos los tipos de modem).

desde una unidad exterior de control. Esto hace que el módem pueda instalarse en cualquier sitio que convenga, con la unidad de control a distancia.

Standard Radio & Telefon AB, Suecia

Casquillos para tirar de cables locales cubiertos y aislados con politeno y válvulas de presión.

El Deutsche Bundespost ha venido usando durante algún tiempo cables en áreas locales, con aislamiento termoplástico, como alternativa a sus tipos normales con aislamiento de papel y cubiertos de plomo o protegidos con acero. Los conductores de cobre en la mayor parte de estos cables tienen un diámetro de 0,4 mm y se identifican por medio de anillos de colores sobre el aislamiento de politeno. El núcleo del cable es de una construcción tipo unitario y está cubierto por dos capas de politeno con una cinta rugosa de cobre entre ellas.

Una gran proporción de estos cables se instala en conductos. Para facilitar tirar de él, se ha desarrollado un casquillo especial (Fig. 1). Este tiene un extremo en forma de copa dentro de la cual se suelda el núcleo del cable empleando soldadura de plomo, estaño o plata de acuerdo con la tensión necesaria. La copa se llena primeramente con soldadura fundida dentro de la cual se introduce lentamente el extremo del cable. La soldadura caliente produce la fusión del aislante de politeno después de lo cual los hilos de cobre desnudos se unen a la soldadura. El núcleo encasquillado junto con la cubierta de politeno de la parte adyacente del cable se cubren con una pieza suplementaria cubierta de politeno y se sueldan juntos por medio de un proceso especial. Los cierres soldados del casquillo y cubierta del cable adyacente proporcionan una barrera muy eficaz contra la penetración de aire o agua y además la transferencia de parte de la fuerza de tensión desde el núcleo a la cubierta del cable. La parte superior de la figura 1 muestra la terminación ya completa de un cable apto para introducirse en el conducto. La vista inferior es una sección longitudinal que muestra la copa del casquillo. El casquillo preparado de este modo no se desprende fácilmente del cable a menos que esté sometido a un esfuerzo de tensión superior a 4 ó 5 toneladas. El esfuerzo a la tensión que se encuentra normalmente al introducir los cables en conductos es inferior a 2 toneladas.

El método normal de aplicación de gas a presión en los cables en servicio exige que la cubierta del cable sea completamente estanca al aire. Para probar la hermeticidad al aire de una cubierta de termoplástico, se inserta una válvula de presión en el núcleo del cable en el extremo distante.

La válvula empleada es del tipo Schrader en cuyo extremo interior hay fijado un delgado tubo de metal. Este tubo se extiende en una pequeña distancia dentro del núcleo y asegura la libre penetración del aire en el cable. Para evitar deformaciones

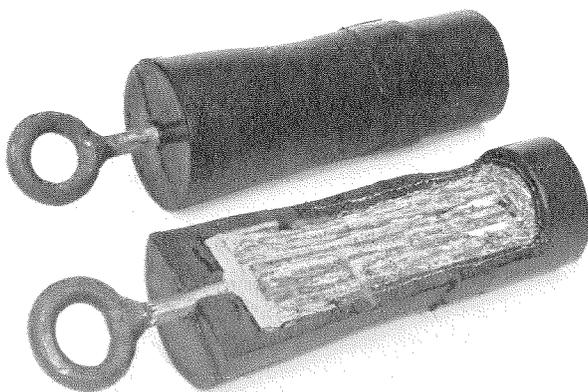


Fig. 1. Casquillo cerrado unido al extremo de cable. Parte superior: completo con la cubierta de politeno soldada completamente. Parte inferior: sección longitudinal mostrando la copa de anclaje y el núcleo del cable.

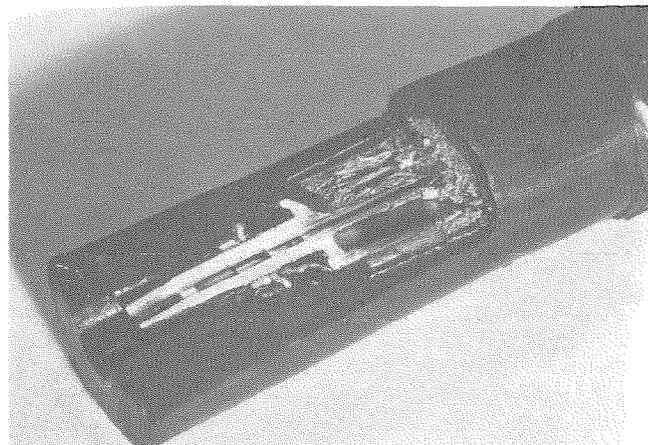


Fig. 2. Sección longitudinal del cable cerrado y mostrando la válvula de presión.

de la válvula se introduce una pletina delgada de acero, que sujeta la válvula al núcleo. Este extremo del cable se hace también hermético al aire por el proceso de soldadura que se aplica al extremo de tiro. La válvula de presión permite que el cable se llene de aire seco a la presión que se desee. Así pueden detectarse las pérdidas durante el almacenamiento, embarque o arrastre. En la figura 2 se muestra una sección longitudinal del extremo del cable que contiene la válvula. Los cables con los extremos cerrados por el método que se ha mencionado han retenido una presión de 3 atmósferas sobre la ambiente durante 24 horas. La presión que se aplica normalmente al embarcar el cable en la fábrica es sólo de 0,6 atmósferas sobre la normal.

Standard Elektrik Lorenz AG, República Federal Alemana

Radio altímetro para el Trident 3 B.

La compañía British European Airways ha ordenado equipos transmisor-receptor de radioaltímetro para instalarse en los aviones Trident 3 B. La compañía Hawker Siddeley Aviation, fabricante de los Tridents, ha ordenado antenas, equipo auxiliar y unidades de alarma. Los radioaltímetros son del tipo STR 40 y se emplean para medir la altura por el sistema "Autoland" que facilita al avión el aterrizaje con seguridad en condiciones de pobre visibilidad.

Todos los aparatos tipo Trident de BEA se equipan con el sistema "Autoland". El Trident fué el primer avión británico que ha obtenido el certificado para llevar pasaje en aterrizajes de categoría II. Esto significa que un avión equipado con este sistema puede aterrizar en aeropuertos convenientemente equipados cuando el techo de nubes es solamente 30,5 metros y la visibilidad de la ruta de 366 metros.

En los últimos dos años los aviones Trident de BEA han hecho más de 3000 tomas de tierra automáticas en 28 aeropuertos de Europa.

Standard Telephones and Cables Limited, Reino Unido

Red de microondas para India.

La división de radio transmisión de Bell Telephone Manufacturing Company ha recibido un importante contrato para el suministro e instalación de una red de microondas de 975 km, que enlazará Nueva Delhi y Mughalsarai, que son dos de los más importantes centros de enlaces de los ferrocarriles del norte de India.

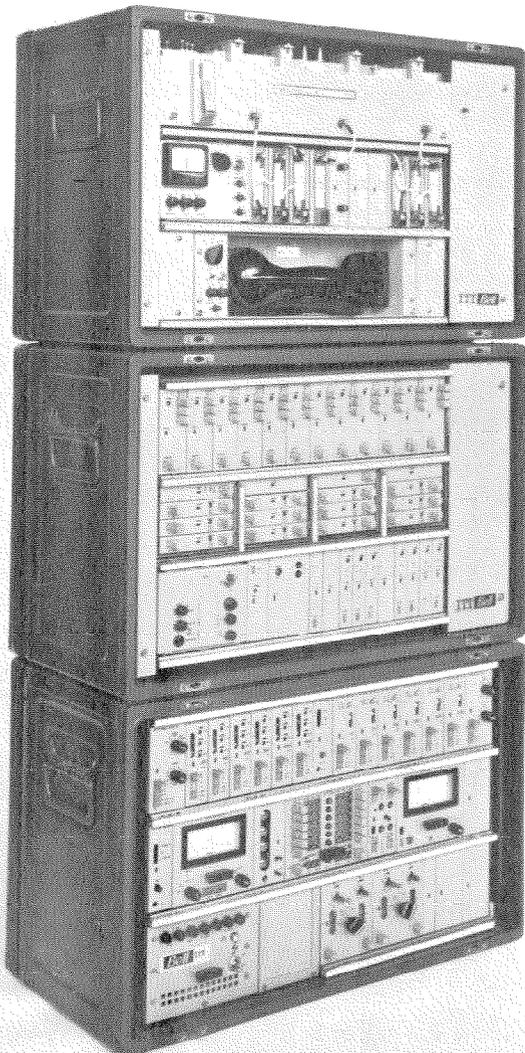
El sistema operará en la banda de 7 GHz y servirá para palabra, telegrafía y señalización por medio de sistemas múltiplex de 120 canales.

Bell Telephone Manufacturing Company, Bélgica

Sistema de transmisión integrado.

Este sistema de transmisión de estado sólido y poco consumo se ha desarrollado para cumplir con la creciente demanda de un equipo de "erección rápida" para enlaces no permanentes o de emergencia y comprende tres unidades apilables, autocontenidas, que se muestran en la figura y son de arriba a abajo:

- *FM 60-7000/P*, terminal de radioenlace con modulación de fase en la banda de SHF para múltiplex hasta 60 canales de audio. La salida del transmisor es de 0,1 vatio y opcionalmente 0,2 vatios; permite una transmisión estable entre dos puntos con visibilidad separados 50 km empleando reflectores parabólicos de 2 metros. Se pueden emplear en las bandas de 450, 900, 2000 y 4000 MHz.
- *TR-24/P*, sistema múltiplex por división de frecuencias para 12 ó 24 canales. La unidad *A* que se muestra contiene 12 modems con suministro de portadoras estabilizado con cristal y unidad de alimentación. La unidad *B* comprende también 12 modems, similares a los de la unidad *A* y el modulador de grupo del sistema. El suministro de portadoras se obtiene de la unidad *A* pero la unidad de suministro de fuerza está separada. Está dispuesto con señalización fuera de banda de alto o bajo nivel y puede suministrarse, si se desea, con señalización dentro de banda de una o dos frecuencias.
- *MTT-6/P*, sistema telegráfico de 6 canales con manipulación por cambio de frecuencia.



Sistema de transmisión integrado apilable.

Incorpora también una colección completa de equipos de prueba que facilita el mantenimiento del terminal sin la necesidad de aparatos de medida auxiliares. La entrada de corriente continua al modem es flotante y aceptará señales de doble corriente de 5 á 40 miliamperios, la salida del modem es completamente electrónica. Se pueden obtener otros modos de explotación empleando convertidores.

Todas las unidades están construídas según las normas ISEP (normas de equipos de ITT). Se usan tarjetas de circuitos impresos en todas partes y las conexiones se realizan con conectores con acabado de oro.

Es posible la operación desde la red comercial o baterías y el consumo de energía del sistema completo es de 120 vatios aproximadamente.

La calidad de transmisión está de acuerdo con las recomendaciones del CCITT y CCIR.

Bell Telephone Manufacturing Company, Bélgica

Equipo de prueba con ruido blanco.

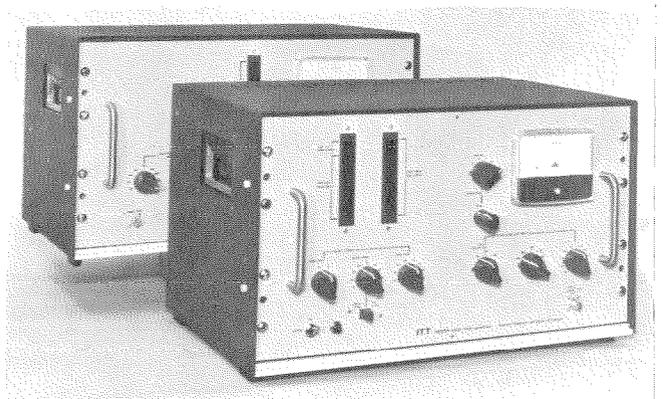
El equipo de prueba 74262 con ruido blanco mide ruidos básico y de intermodulación para sistemas con ancho de banda hasta 4 MHz (60 á 960 canales). Puede disponerse de una gran variedad de filtros para necesidades particulares.

Las dos unidades, generador de ruido blanco y receptor, son de estado sólido con dimensiones cada una de 489 X 343 X 305 mm. El generador produce una banda de ruido aleatorio con distribución de energía aproximadamente uniforme, el ancho de banda se fija por filtros de paso-alto y paso-bajo que cubren el número de canales en prueba. Esta banda de ruido se aplica al sistema al nivel de carga que se desee y un filtro de supresión de banda estrecha para el canal que se comprueba se conmuta en circuito y fuera del circuito del generador. El receptor se sintoniza a la frecuencia de la banda suprimida y el nivel de ruido se mide con y sin el filtro de supresión de banda en circuito. La diferencia entre los dos niveles da la relación de potencias de ruido.

Con un conmutador pueden seleccionarse uno o dos filtros de paso alto, de 4 disponibles. También pueden ponerse y seleccionarse con un conmutador hasta 8 o 9 filtros de paso bajo disponibles y hasta 9 de 14 filtros de supresión de banda. Cuando se ordena el equipo, se especifican los filtros de tal modo que se puedan equipar en el receptor los filtros de bandas de paso adecuadas, así como los osciladores de cristal.

El ancho de banda del ruido se extiende desde debajo de 12 kHz hasta por encima de 415 MHz y el nivel de ruido transmitido en la banda es ajustable de un modo continuo por encima de -36 dB relativos a 1 mW por kHz de ancho de banda de ruido. Pueden medirse relaciones de potencia hasta 65 dB. El voltaje de alimentación del equipo es 100 á 125 voltios ó 200 á 250 voltios de corriente alterna.

Standard Telephones and Cables, Reino Unido



Equipo de prueba con ruido blanco 74262.

Nuevo transmisor de televisión de alta potencia en Patscherkofel (Austria).

Varias partes del Tirol, así como del valle de Inn, y la ciudad de Innsbruck (Austria), pueden recibir el segundo programa de televisión desde que Standard Elektrik Lorenz AG instaló un transmisor de 20/4 kW en la montaña de Patscherkofel (2248 m) cerca de Innsbruck. Este transmisor se puso en servicio por la Austrian Broadcasting Company en Diciembre de 1968.

El transmisor, que trabaja en la banda IV, es apropiado para programas de televisión en color. Consta de dos unidades independientes de 10/2 kW cuya salida total se alimenta a la antena a través de un acoplador variable. Este permite el cambio a la operación de emergencia con la mitad de potencia sin interrupción del servicio. Las etapas del amplificador previo son transistorizadas con excepción de la del tubo de ondas progresivas y funcionan con una reserva "pasiva".

Esta serie de transmisores de SEL tiene salidas en radiofrecuencia de 2/0,4, 10/2 y 40/8 kW y es controlable a distancia. Sus características son de alta calidad y confiabilidad.

En el curso de este año se pondrán en operación un nuevo transmisor de televisión de SEL de idéntica salida en las montañas de Pfänder (1064 m) cerca de Bregenz (Austria).

Standard Elektrik Lorenz AG, República Federal Alemana

Pedidos importantes para equipos PCM.

La compañía mexicana, Teléfonos de México, ha pasado pedido de equipos de transmisión telefónicos con modulación por codificación de impulsos (PCM) para 56 sistemas, cada uno de 24 circuitos. Estos sistemas se instalarán en dos importantes rutas de 17 km de largo al nordeste de la ciudad de México. Se instalarán un total de 40 entre Vitoria y Santa Clara y el resto entre Vitoria y Tlalneplanta.

La orden que constituye el mayor pedido de exportación para PCM, recibido por una compañía británica, incluye 585 repetidores regenerativos.

También la Administración de Teléfonos de Suecia ha pedido 20 sistemas similares para ser instalados en 3 rutas sobre el área de Estocolmo.

Standard Telephones and Cables Limited, Reino Unido

Pedidos para equipos Sentrycal.

Detectores de humos "Sentrycal"* y sistemas de alarmas se han instalado en 10 almacenes de Thomas Board Mills Limited, 6 en Purfleet, Essex y 4 en Warrington Lancashire. Este pedido hace a la compañía el comprador más importante de nuestro equipo de alarma.

Cada almacén de 73 x 84 x 18,5 metros está protegido por 58 detectores montados en 6 grupos en el techo. Se da una alarma audible dentro del almacén y una luz intermitente brilla en el exterior. También se da una indicación en el panel de control principal y se hace una conexión automática con la brigada de incendios del distrito.

Los detectores de humos y calor "Sentrycal" se han instalado también en el centro de computadores de Southern Electricity en Havant, Hampshire. Además de las alarmas normales los detectores pueden activar un sistema extintor de bioxido de carbono de baja presión en algunas localidades. Hasta 3 toneladas de gas inundan las áreas afectadas 30 segundos después de producirse la alarma.

Cuando está presente el personal, los extintores pueden operarse sólo manualmente, después que se haya evacuado el personal. El cierre de las puertas principales cuando no están ocupadas las áreas protegidas prepara el sistema para su operación automática. Se da una indicación externa de la condición del sistema.

Standard Telephones and Cables Limited, Reino Unido

* Marca registrada del sistema ITT.

Observación de lanzamientos espaciales con cámaras de televisión.

Unas 60 cámaras con control a distancia observan continuamente, en el centro espacial de Kennedy, las áreas vitales de las torres de lanzamiento de cohetes antes y durante el lanzamiento. Sus salidas se suministran a más de 100 monitores en sitios muy separados y distantes hasta 8 km. Todas las cámaras pueden conmutarse a cualquier monitor y pueden inclinarse, enfocarse o elevarse para primeros planos. Este sistema se opera y mantiene como parte de nuestros servicios de comunicaciones espaciales para la National Aeronautics and Space Administration.

Un contrato reciente duplicará el tamaño de este sistema de televisión en circuito cerrado. Un segundo centro de conmutación se instalará como sistema suplementario para aumentar la seguridad durante los lanzamientos con tripulación. Además, nuestros ingenieros podrán usar un sistema completo para cada lanzamiento de Saturno V haciendo posible la prueba con el equipo duplicado cuando sea necesario.

Federal Electric Corporation, Estados Unidos de América

Contestador (transponder) microminiatura IFF, tipo NR-AI-4A.

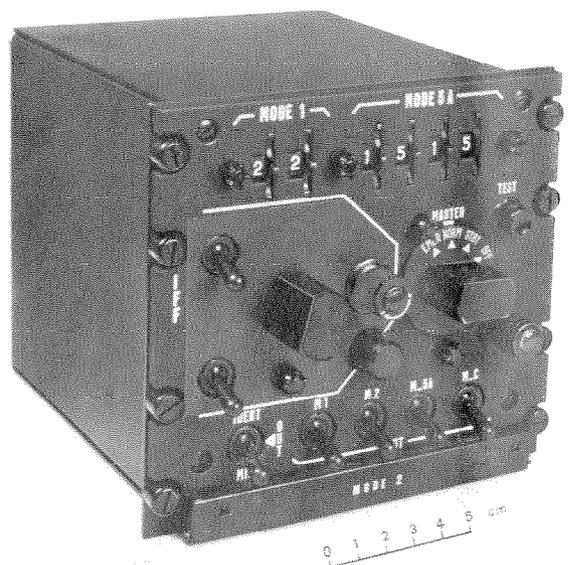
El contestador de identificación de amigo o enemigo (IFF) tipo NR-AT-4A, se ha seleccionado en 18 de Diciembre de 1968 por las fuerzas aéreas de Francia. Es un aparato microminiaturizado y representa la tercera generación de equipos de IFF desarrollados por Le Matériel Téléphonique. Su instalación está programada en los nuevos aviones y helicópteros del ejército, marina y fuerzas aéreas de Francia. Sus características particulares son:

- empaquetado en una simple caja de dimensiones reducidas (127 x 129 x 145 mm) del control y cajas de codificación y del mismo transmisor-receptor;
- un monitor interno, que evita el uso de cualquier otro equipo de prueba anterior al vuelo;
- no obstante sus pequeñas dimensiones, las condiciones del equipo NR-AI-4A son por lo menos equivalentes a las que tiene la generación anterior: los modos de interrogación 1, 2, 3A, C y 4 son compatibles. Son posibles 32 códigos de respuesta en el modo 1 y 4096 en los restantes.

El margen del NR-AI-4A corresponde a la clase II de la norma MIL-E-5400.

El proceso de la información de video se hace de acuerdo con técnicas digitales y utiliza 148 circuitos integrados, 40 de los cuales pertenecen al monitor interno.

Le Matériel Téléphonique, Francia



Contestador de IFF microminiaturizado NR-AI-4A.

Nuevas realizaciones

Contrato importante de comunicaciones por satélite.

Standard Elektrik Lorenz AG ha recibido un contrato para la instalación de una red de comunicaciones por satélite que ampliará la capacidad de comunicaciones de la NATO. Se instalarán doce estaciones de tierra de satélites.

El contrato se realizará con la cooperación de otras compañías, General Electric Company Ltd. de Stanmore (Inglaterra) y Brown Boveri & Co. AG, de Mannheim (Alemania) instalarán el sistema de antena. Rohde & Schwarz de Munich (Alemania) suministrará los generadores de frecuencia y equipos de prueba; Selenia de Roma (Italia) entregará el equipo de radiofrecuencia y modulación.

SEL será el contratista principal responsable de la planificación y dirección del proyecto y además suministra el equipo de portadoras y de telex.

Standard Elektrik Lorenz AG, República Federal Alemana

Pantallas alfanuméricas miniatura con semiconductores.

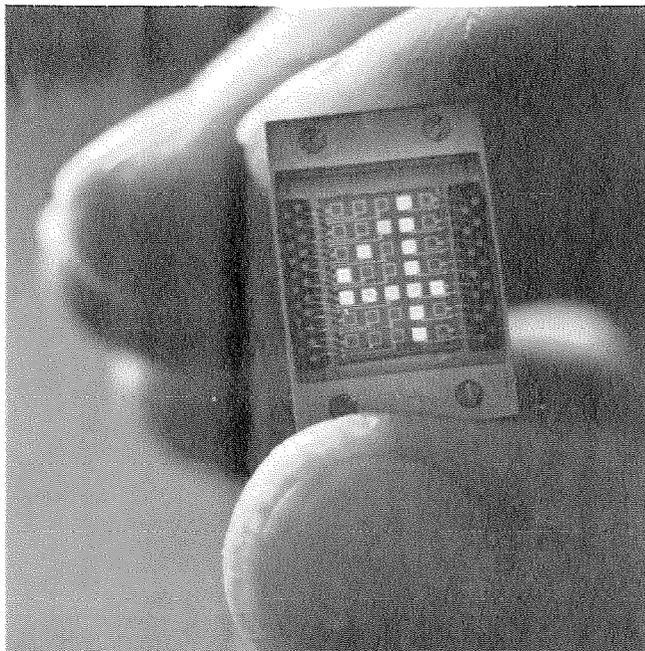
En un programa de investigación de pantallas con lámpara semiconductor, se han hecho lámparas por procesos "planar" y "mesa". Una de éstas, un dispositivo de 7×5 lámparas fosforadas de arseniuro de galio planar, se presentó en la exposición de física de Londres del 10 al 13 de Marzo de 1969. Cada lámpara tiene una dimensión en cuadrado de 0,66 mm y el dispositivo con 35 lámparas mide $10 \times 7,4$ mm.

Estas 35 lámparas se procesan en una placa con los conductores depositados por evaporación a través de la capa de pasivación de sílice para contactar con redes de contacto que rodean el dispositivo. Las lámparas necesitan 1,7 voltios de corriente continua y tienen un brillo de 250 pies-lamberts visibles en un salón con buena iluminación para una corriente de lámpara de 50 miliamperios. La luz emitida tiene un ancho de banda en el semi-pico de 160 angstroms aproximadamente y está en el margen de 6600 á 6800 angstroms. El tiempo de encendido es de solo 10 nanosegundos.

El dispositivo de lámparas opera como una pantalla alfanumérica excitada por un contador de circuito integrado, por medio de un decodificador y etapa de amplificación de corriente.

Las pruebas de vida en los dispositivos "planar" y "mesa" han excedido de 7000 horas sin fallos y pocos cambios en características, particularmente en los tipos "planar".

Standard Telecommunication Laboratories, Reino Unido



Pantalla de lámparas de arseniuro de galio planar miniatura.

Simulación de condiciones electrónicas del efecto Gunn a presiones de 70 kilobarrios.

Se han simulado las condiciones electrónicas que se presentan en el efecto Gunn (oscilación de microondas en materiales semiconductores que resultan de la aplicación de un campo eléctrico muy elevado) mediante la aplicación de presiones de hasta 70 kilobarrios.

Los experimentos se han realizado con el propósito de medir los parámetros de conducción relacionados con el efecto Gunn. Estas medidas son normalmente difíciles de efectuar debido a dificultades en el crecimiento del cristal y a los procesos dinámicos que se presentan.

Se ha encontrado que la presión es similar al campo eléctrico en que para el arseniuro de galio a 40 kilobarrios, los electrones pueden transferirse directamente al estado de baja movilidad. Se han empleado aparatos de efecto Hall de alta presión para determinar las propiedades de conducción de los electrones en este estado excitado para el crecimiento de cristales de GaAs bajo distintas condiciones y contenido de impurezas, así como la determinación de las propiedades eléctricas de estos electrones de baja movilidad, han demostrado anteriormente gran utilidad en el análisis de los cristales de GaAs usados para diodos Gunn.

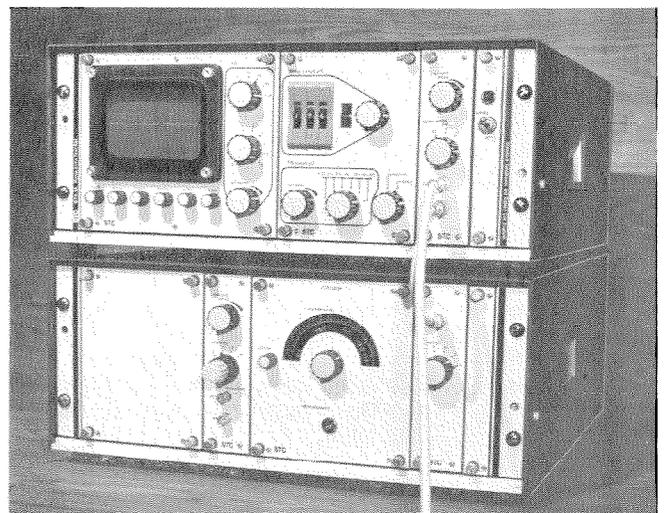
Los experimentos sobre la presión han revelado también que existen formas de relación fundamental entre los parámetros de red cristalina y las propiedades de conducción de los materiales semiconductores tipo diamante. La presión es un medio evidente de variar los parámetros de la red cristalina; el trabajo de Standard Telecommunication Laboratories ha mostrado que cristales semiconductores de distinta composición pero con estructuras semejantes, tienen propiedades eléctricas que pueden relacionarse directamente con las distancias inter-atómicas. Esto ha facilitado a los laboratorios predecir las propiedades eléctricas de nuevos materiales semiconductores de las medidas de las altas presiones, una vez que se conocen la estructura del cristal y los parámetros de la red cristalina.

Standard Telecommunication Laboratories, Reino Unido

Equipo de prueba con eco de impulsos.

La prueba de la mayor parte de tipos de cables coaxiales se simplifica por el equipo de prueba con eco de impulsos GTA-8A. Este compacto aparato, está encerrado en dos cajas portátiles, con circuitos integrados de estado sólido. Se ha conseguido la sencillez de operación con un diseño del circuito muy cuidadoso y una disposición funcional de los controles.

Las medidas de la impedancia terminal se hacen empleando unidades enchufables con las escalas calibradas en ohmios a una frecuencia especificada. El margen de medida es de 73,5 a



Equipo de prueba de eco de impulsos GTA-8A.

76 ohmios con una exactitud de 0,05 ohmios; pueden detectarse variaciones de impedancia de 0,01 ohmio.

Las irregularidades de impedancia se muestran en la pantalla de un tubo de rayos catódicos por ecos de impulsos cortos. Puede mostrarse irregularidades en longitudes de cable entre 50 metros y 10 kilómetros. La longitud máxima depende de la atenuación de los impulsos en el cable.

Para facilitar la localización de la posición de una falta en el cable, puede ampliarse la traza para examinar de una vez 360 metros. Puede medirse el signo y magnitud de cada irregularidad, dependiendo la exactitud del tipo de cable. La exactitud absoluta sobre el margen total es de 0,01 microsegundos, que corresponde a 2,74 metros de cable tipo 375 y la exactitud de la lectura está dentro de 0,003 microsegundos.

La construcción modular permite la sustitución de una unidad de medida de diafonía por el generador de impulsos y la adición de unidades extra de medida de impedancias para adaptarse a los distintos tipos de cables.

Las cajas miden $489 \times 197 \times 533$ milímetros cada una. La alimentación de fuerza es bien de 100 á 125 voltios ó 200 á 250 voltios de corriente alterna.

Standard Telephones and Cables Limited, Reino Unido

Radios salvavidas portátiles para la Real Marina Británica.

El ministerio británico de defensa ha pasado pedidos de radios portátiles salvavidas *Solas** 2 para la Royal Navy. Este equipo se ha instalado anteriormente en barcos en todo el mundo incluyendo el nuevo Queen Elizabeth 2.

La transmisión y recepción son posibles en cualquiera de las tres frecuencias obligatorias de petición de auxilio de 500, 2182 y 8364 kHz. Esta señal se envía automáticamente.

* Marca registrada del sistema ITT.

Tanto el transmisor como el receptor son de estado sólido. La potencia de salida del transmisor es de 3,5 vatios dependiendo de las características de la antena. Una antena plegable de 46 cm que se extiende a 5 metros y una antena de hilo desnudo de 9,1 metros se incluyen con el aparato.

El equipo mide $57 \times 29 \times 24$ cm, pesa 13,6 kg y tiene una caja de fibra de vidrio pintada con amarillo salvavidas. Todas las reglas de los convenios de seguridad de vida en la mar, del British Post Office y las de radios para barcos mercantes del Reino Unido se cumplen por el equipo de radio *Solas* 2.

ITT Marine, Reino Unido

Cable submarino de Sicilia a Libia en servicio.

El 11 de Febrero de 1969 se ha inaugurado oficialmente un nuevo cable telefónico submarino entre Libia y la red de Italia y de aquí a la mayor parte del mundo.

El cable de 480 kilómetros es capaz de 120 conversaciones simultáneas. El cable de aguas profundas es de peso ligero de 25,4 mm y se usa excepto en aguas de bajo fondo donde se utiliza cable armado. En el cable están intercalados 24 repetidores.

Están planeados otros 2 cables submarinos desde Italia. El primero para 480 conversaciones, entre Pisa y Barcelona. El segundo conocido como MAT 1, para 640 conversaciones, conectará el cable último con el Portugal—Sudáfrica y el nuevo Portugal—Reino Unido en Lisboa y con el 5º cable transatlántico que se tenderá entre Cádiz y Nueva York.

En el terminal de Libia un nuevo cable submarino a través del golfo de Sirte enlazará Trípoli con Bengasi. Este sistema de 417 millas náuticas (770 km) con 57 repetidores sumergidos tiene 480 circuitos de 4 kHz.

Standard Telephones and Cables Limited, Reino Unido