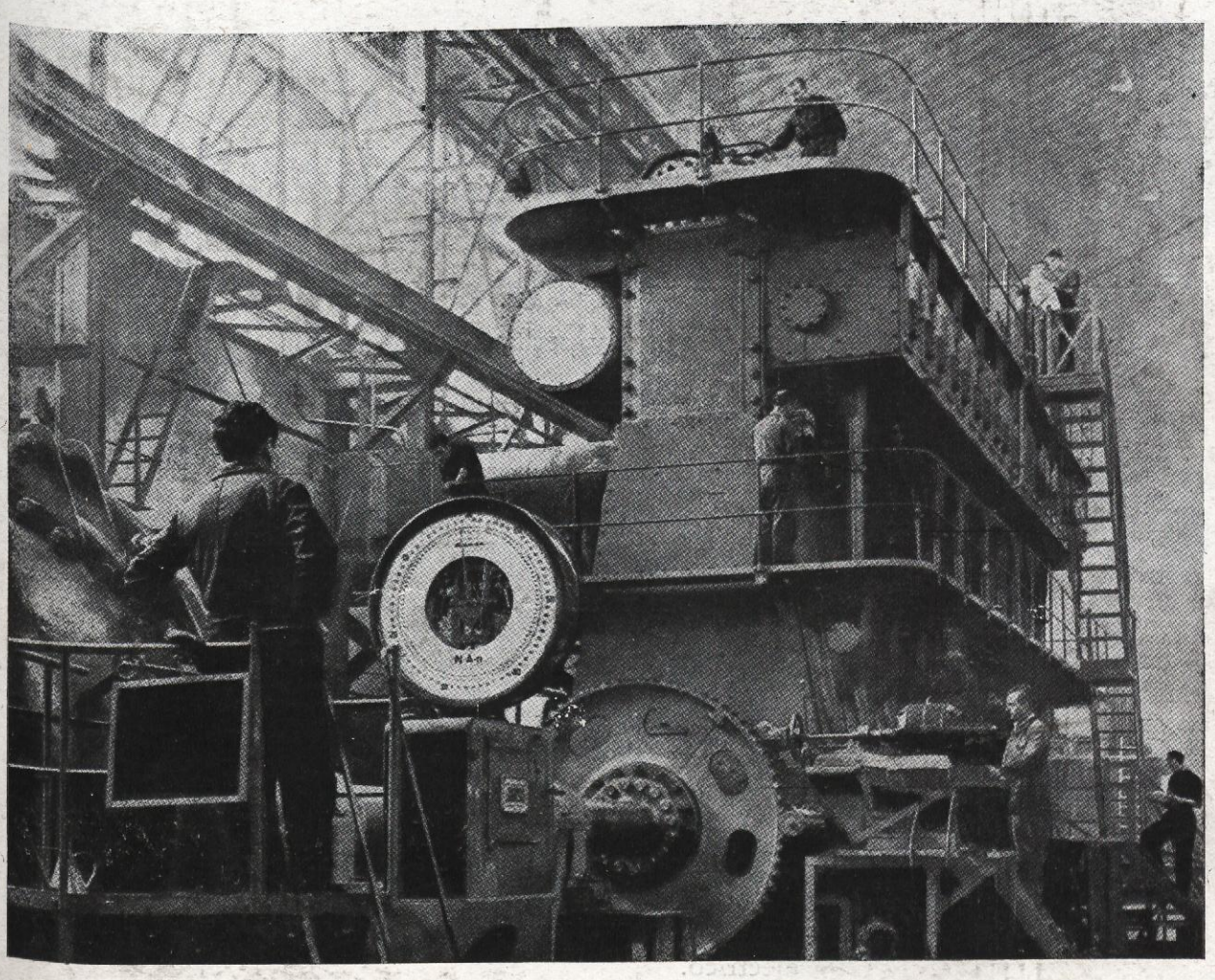
# Ingeniería Naval



Motor Diesel-Sulzer, de 7.300 HP, para la "Naviera Aznar", el de mayor potencia construído hasta la fecha por "La Maquinista Terrestre y Marítima, S. A."

AÑO XXIII — OCTUBRE 1955 — NUM. 244

PRECIO: 25 PESETAS — PUBLICACIÓN MENSUAL

# S. I. M. A., S. A.

## Suministros Industriales, Marítimos y Aéreos, S. A.

***Se encuentra en condiciones de suministrar, a Astilleros y Armadores, procedentes de sus representadas exclusivas:***

A.—Chapa de acero y perfiles.

B.—Motores Diesel para propulsión y grupos auxiliares.

C.—Cambiadores térmicos para refrigeración de motores.

D.—Cambios de marcha y reductores, mecánicos e hidráulicos.

E.—Líneas de ejes y hélices.

F.—Bombas.

G.—Compresores de alta presión.

H.—Separadoras centrífugas.

I.—Instalaciones frigoríficas y de acondicionamiento de aire.

J.—Maquinaria de cubierta, de accionamiento Diesel, hidráulico o eléctrico.

K.—Pescantes de gravedad.

L.—Aparatos de gobierno electro-hidráulicos.

M.—Electrónica (Radar, sondas, transmisores-receptores, radiogoniómetros, etc.).

N.—Grúas de grada.

**Príncipe, 12**

**Tel. 31 59 07**
**(3 líneas)**

**MADRID**

Pupitre de control con dos indicadores y sistema de comunicación por radiotelefonía.

Vista de frente del sistema de antena giratorio.

Unidad con transmisor, modulador, receptor y sistema automático de secado.

# PHILIPS

## *Radar*

**PARA APLICACIONES CIVILES Y MILITARES EN TIERRA, MAR Y AIRE**

**TELECOMUNICACION** ***y también...***

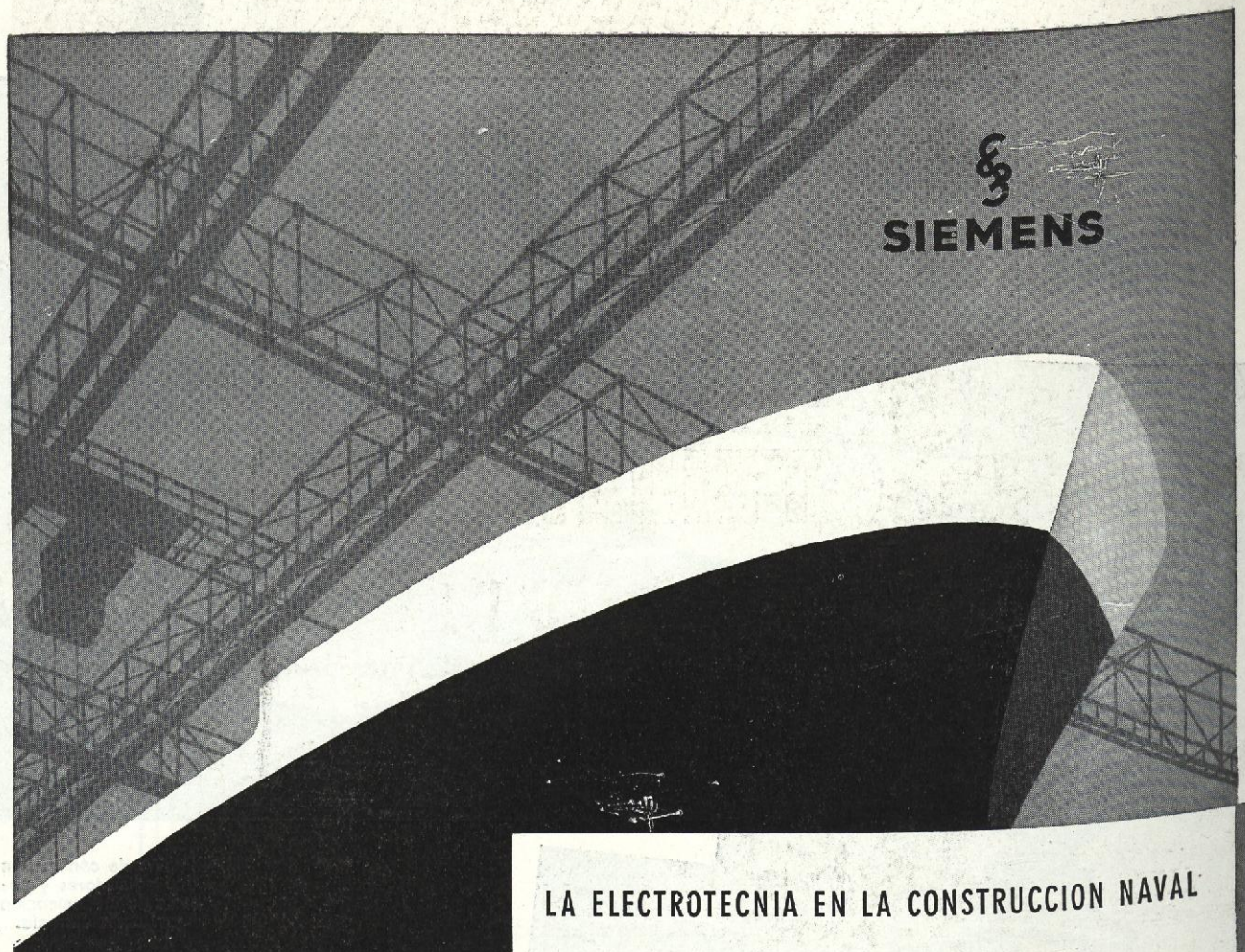
RADIO - LAMPARAS - RAYOS X - TELEVISION - CINE SONORO - AMPLIFICACION - GENERADORES A. F. APARATOS DE MEDIDA - ELECTROMEDICINA FLUORESCENCIA - ELECTRONICA - SOLDADURA

*Solicite informes a:*
**PHILIPS IBERICA, S. A. E.**

DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACION

PHILIPS

MADRID P.º de las Delicias, 65 — BARCELONA P.º de Gracia, 11 — BILBAO Diputación, 8 — VALENCIA Paz, 29 — LAS PALMAS Triana, 132 — S. CRUZ DE TENERIFE Castillo, 41





## LA ELECTROTECNIA EN LA CONSTRUCCION NAVAL

*Proyectos y construcción de instalaciones completas para barcos*

Accionamientos eléctricos para propulsores

Turbinas de vapor con reductores de engranaje

Generadores y grupos convertidores para la red de a bordo

Accionamientos eléctricos para máquinas de cubierta de todas clases

Accionamientos para servomotores de timón

Accionamientos eléctricos para máquinas auxiliares de a bordo de todas clases y tamaños

Aparatos electrotérmicos y servicios internos

Material de instalación

Cables y conductores

Aparatos de alumbrado

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT

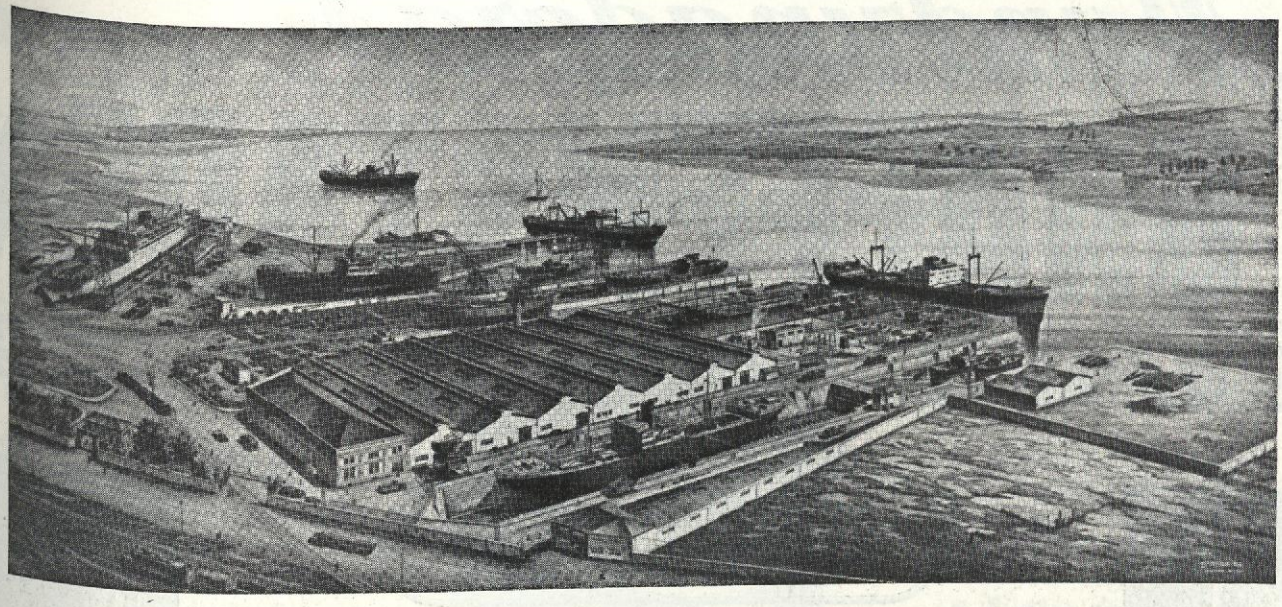
BERLIN · ERLANGEN

REPRESENTADAS POR:

SIEMENS INDUSTRIA ELECTRICA, S.A. · MADRID

FABRICA Y TALLERES CORNELLA (BARCELONA)

38/14 Sp



# TALLERES DEL ASTILLERO, S. A.

ASTILLERO (SANTANDER)

CONSTRUCCION Y REPARACION DE BUQUES

Dique seco núm. 1. Eslora: 123,40 m. Manga: 15,95 m. Calado: 5,37 m.
Dique seco núm. 2. Eslora: 132,25 m. Manga: 15,22 m. Calado: 6,81 m.
Grada.—Varadero para barcos hasta 300 Tm. de desplazamiento.

Quemadores «TODD» de Fuel-oil para buques e instalaciones terrestres - Material ferroviario - Aparatos de vía
Construcciones metálicas - Apisonadoras - Compactadores - Grandes remolques, etc.

# Constructora Nacional de Maquinaria Eléctrica, S. .A

CENEMESA

Licencias y Procedimientos **WESTINGHOUSE**

DOMICILIO SOCIAL:
Avenida José Antonio, 7
MADRID

SUCURSALES EN:
BILBAO - BARCELONA
SEVILLA - VALENCIA

FABRICAS EN: CORDOBA y REINOSA - Telegramas y Cables: «CENEMESA»

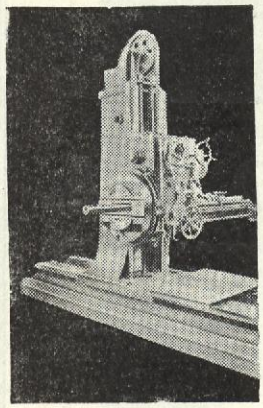
# *Mandrinadoras*
# GRAFFENSTADEN

## SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

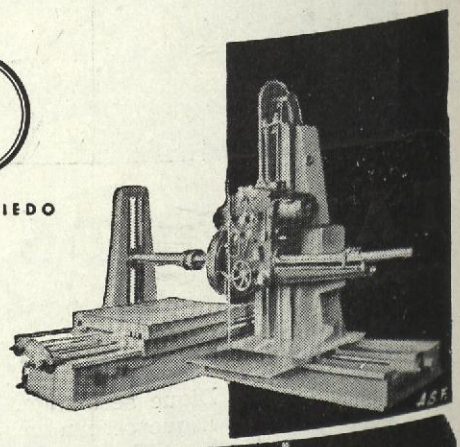
REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

## GUILLIET

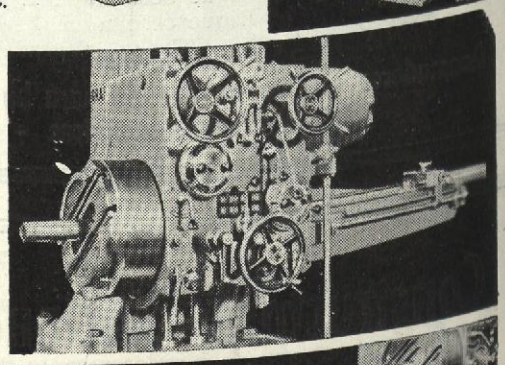
MADRID • BARCELONA • BILBAO • SEVILLA • OVIEDO



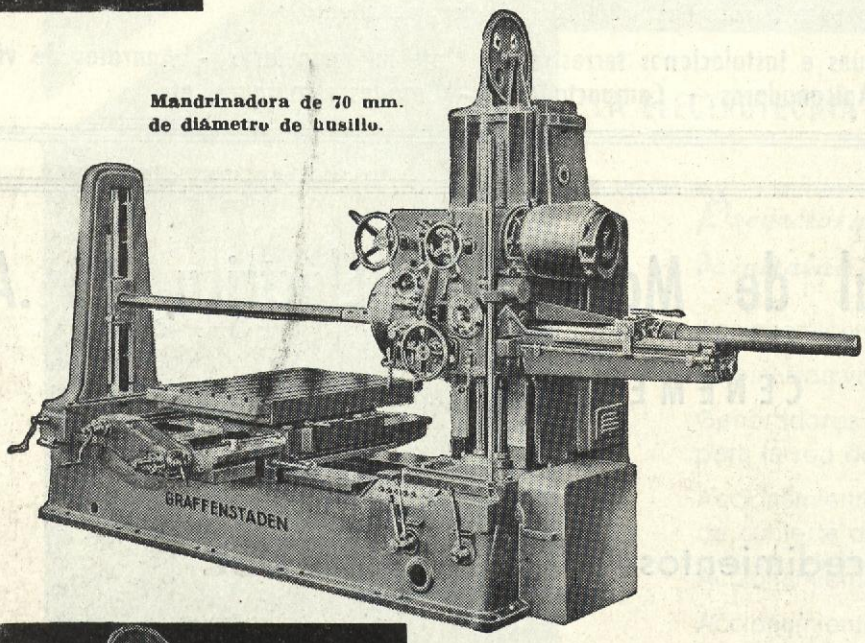
Mandrinadora de husillo perpendicular a la bancada.

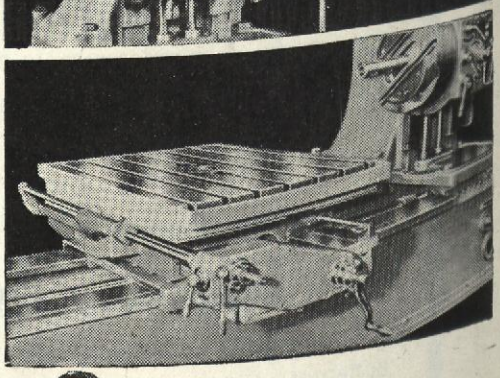


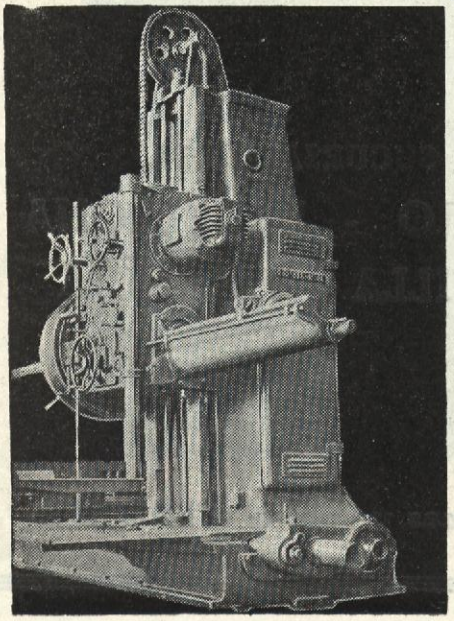
Mandrinadora de husillo paralela a la bancada.



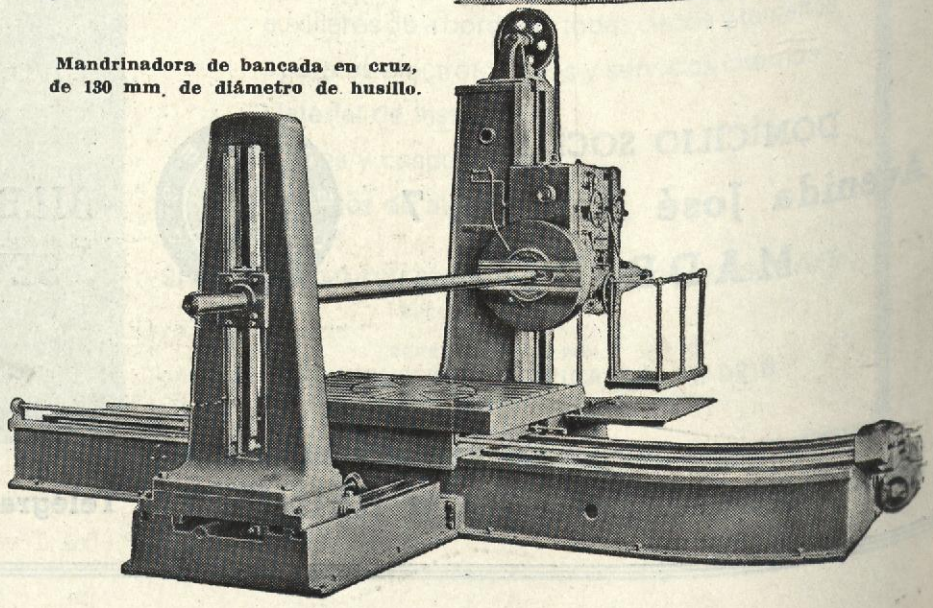
Mandrinadora de 70 mm. de diámetro de husillo.





Mandrinadora de bancada en cruz, de 130 mm. de diámetro de husillo.



# PREPAKT IBERICA, S. A.

CONCESIONARIA EXCLUSIVA EN ESPAÑA Y PORTUGAL DE LAS PATENTES INTRUSION PREPAKT, INC., DE CLEVELAND

**Castelló, núm. 55 — MADRID — Teléfonos 362105 / 6 / 7**

**MORTERO** para **INYECCIONES** de gran estabilidad y con alto poder de penetración.

**HORMIGON PREPAKT:** de árido precolocado que se inyecta posteriormente.

•

**Principales propiedades:**

Retracción de fraguado, nula.

•

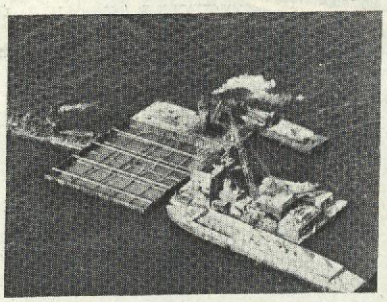
Alta resistencia e impermeabilidad, con 30 a 60 °/₀ menos de cemento que un hormigón normal.

•

Calor de fraguado inferior.

•

Alta resistencia a la acción de aguas de mar o selenitosas.



PUENTE DE MACKINAC

- PILAS -

ESTADOS UNIDOS

**Algunas aplicaciones:**

- Revestimiento de túneles.
- Blindaje de tuberías forzadas, tubos de aspiración y espirales de turbinas.
- Pilares de puentes.
- Hormigones sumergidos.
- Diques marítimos.
- Consolidación de terrenos.
- Cimentaciones.
- Pilotes in-situ.

# FRIO, EN TODAS SUS APLICACIONES ...

COMPRESORES **WORTHINGTON** DE AMONIACO Y FREON

•

REFRIGERACIÓN - CONGELACIÓN RÁPIDA - CÁMARAS PARA CONSERVACIÓN DE PRODUCTOS FRESCOS Y CONGELADOS - FÁBRICAS DE HIELO

PISTAS DE PATINAJE

•

ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

SECADO DE EMBUTIDOS

•

TRATAMIENTO DE ZUMOS - CENTRALES LECHERAS

•

INSTALACIONES MARINAS

•

ELEMENTOS ESPECIALES PARA LA INDUSTRIA QUIMICA, ELÉCTRICA Y DE LA ALIMENTACIÓN

•

CAMBIADORES DE CALOR

•

INSTALACIONES AUTOMÁTICAS HASTA LAS MAYORES POTENCIAS

•

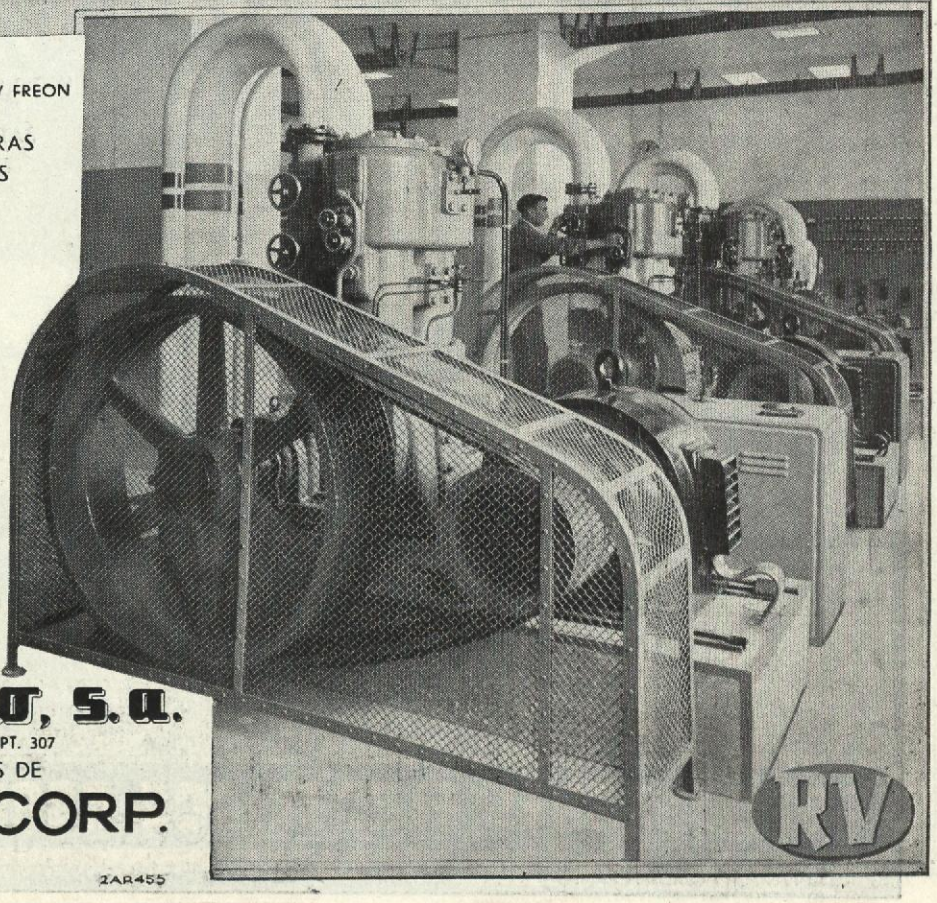
MAQUINARIA Y ELEMENTOS TOTALMENTE FABRICADOS E INSTALADOS POR

**Ramón Vizcaíno, s.a.**

INDUSTRIAS FRIGORIFICAS - SAN SEBASTIÁN - APT. 307

BAJO DISEÑOS, LICENCIAS Y PATENTES DE

**WORTHINGTON CORP.**




2AR455

# LA MAQUINISTA TERRESTRE Y MARITIMA S.A.

MOTORES DIESEL DE 10 A 10.000 CVE. - LOCOMOTORAS
AUTOMOTORES - TUBERIAS FORZADAS
ESTRUCTURAS METALICAS - CONSTRUCCIONES VARIAS

APARTADO, 94 BARCELONA TELEF. 22 87 27
DELEGACION EN MADRID — SERRANO, 5 TELEFONO 25 18 21

# Cables para buques

Una especialidad dentro de nuestra
Manufactura General de Conductores
Eléctricos Aislados

OFICINAS CENTRALES EN BARCELONA • DIPUTACION, 185 • TEL. 23 41 36

**CONDUCTORES ELECTRICOS ROQUÉ S.A. ★ MANLLEU**

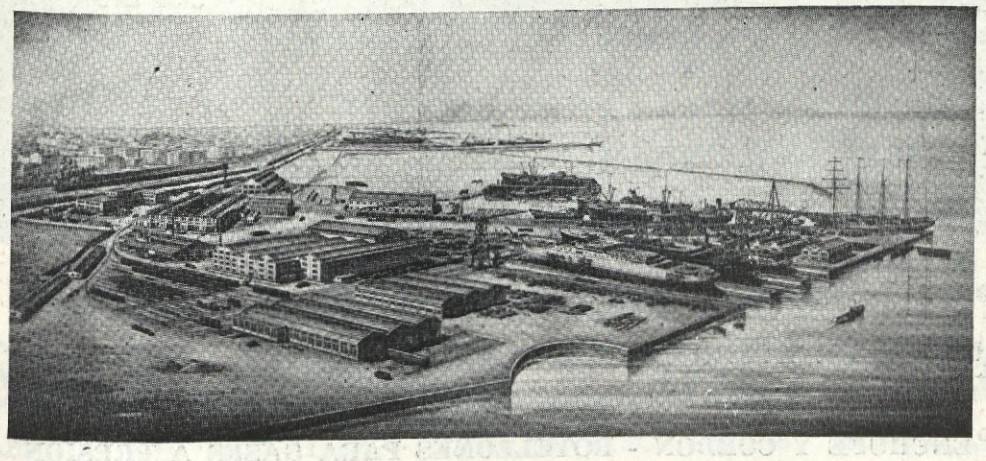
DE GUSA-54

# ASTILLEROS DE CADIZ, S. A.

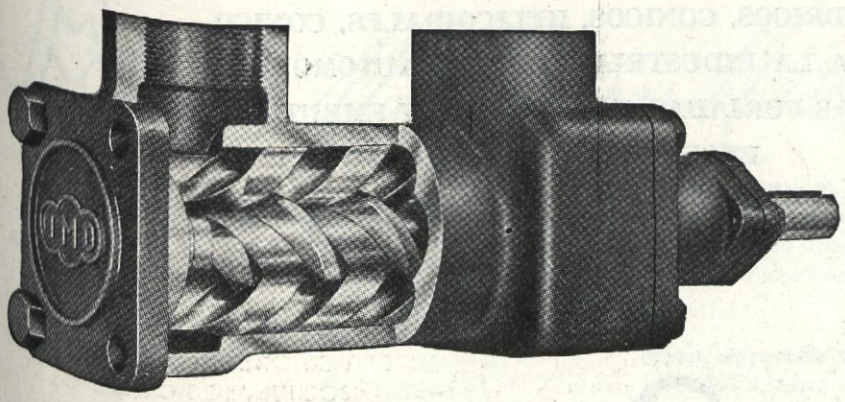
Construcción y reparación de buques, material ferroviario, Motores Diesel y obras metálicas en general

Dique flotante hasta 2.000 toneladas

Concesionario del Dique Seco «NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO» (I. N. I.)



Apartado, 39. - CADIZ. - Teléfono 2259. - Dirección Telegráfica: "Astilleros"
Domicilio Social: MADRID - Zurbano número 70 - Teléfono 232791.



# BOMBAS IMO

CARACTERISTICAS

*ALTO RENDIMIENTO, hasta 90 %*
*SENCILLEZ Y SEGURIDAD*
*ALTA VELOCIDAD*
*ALTA PRESION, hasta 175 kg/cm²*
*MARCHA SUAVE Y SILENCIOSA*
*AUTOASPIRANTE*

El grabado reproduce los elementos fundamentales de IMO, integrados por un tornillo central y dos tornillos laterales.

PARA ACEITES Y TODA CLASE DE LIQUIDOS LUBRICANTES - ADECUADAS PARA TODA CLASE DE PRENSAS HIDRAULICAS - INDISPENSABLES PARA ENGRASE DE MOTORES DIESEL Y TURBINAS DE VAPOR, ETC.

ADOPTADAS EN LAS MARINAS DE GUERRA DE: SUECIA, NORUEGA, DINAMARCA, HOLANDA, INGLATERRA, ITALIA, U. S. A. y JAPON

Caudales desde 5 hasta 10.000 lit/min., y presiones hasta 175 kg/cm².

EXISTENCIAS EN ALMACEN DE MADRID

Representante exclusivo: ROBUR, S. A. de Maquinaria (antes DE LAVAL, S. A. E.) - Juan de Mena, 8 - MADRID

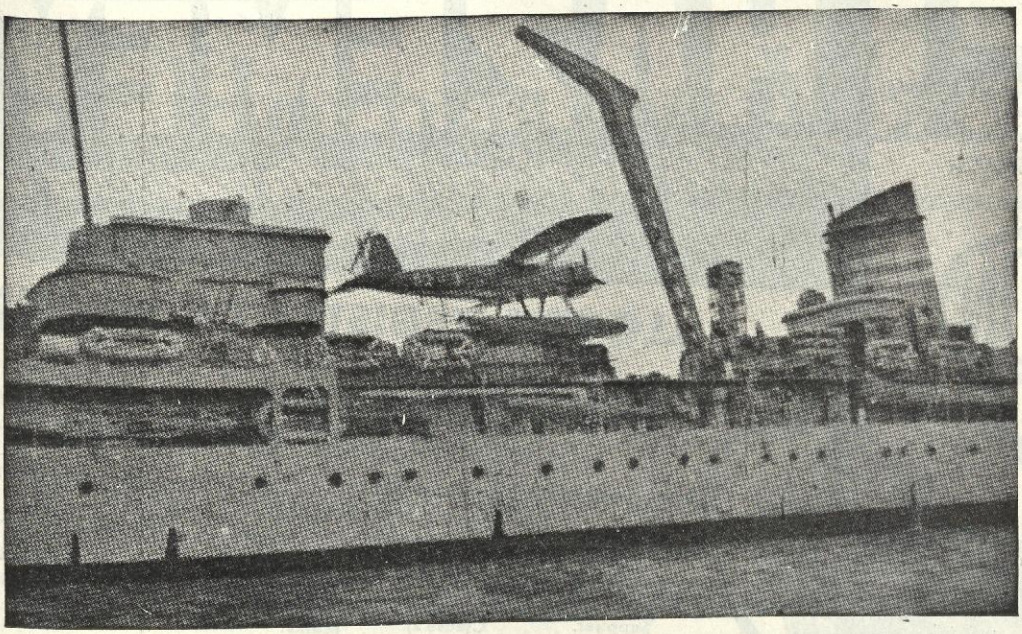
# SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CONSTRUCCIONES

# BABCOCK & WILCOX

CALDERAS DE VAPOR Y MARINAS - LOCOMOTORAS DE VAPOR, ELECTRICAS CON MOTOR DIESEL Y DIESEL-ELECTRICAS - TUBOS DE ACERO ESTIRADO SIN SOLDADURA - TUBOS DE CHAPA DE ACERO SOLDADOS - TUBOS DE HIERRO FUNDIDO DE ENCHUFE Y CORDON - BOTELLONES PARA GASES A PRESION MOTORES DIESEL ESTACIONARIOS, MARINOS Y DE TRACCION CAMIONES CON MOTOR DIESEL - TRACTORES AGRICOLAS E INDUSTRIALES - GRUAS, TRANSPORTADORES Y ELEVADORES CONSTRUCCIONES METALICAS Y MECANICAS EN GENERAL FUNDICIONES DE HIERRO, DE ACERO Y BRONCE - ENGRANAJES DE PRECISION CILINDRICOS, CONICOS, HELICOIDALES, CONICO-HELICOIDALES, PARA LA INDUSTRIA, PARA EL AUTOMOVIL Y DE TRACCION - PIEZAS FORJADAS, ESTAMPADAS Y EMBUTIDAS, ETCETERA

Domicilio Social: Ercilla, núm. 1 - BILBAO - Teléfono 12006

Talleres Generales: GALINDO (Sestao - Vizcaya) - Teléfono 98055



Grúas instaladas en los cruceros «GALICIA» y «MIGUEL DE CERVANTES», construídas por los talleres

# MAS, GOBERNA Y MOSSO ING. S. L.

APARATOS DE ELEVACION, GRUAS, ASCENSORES, MONTACARGAS,

Teléfono 250843 POLIPASTOS **"MAGOMO"**

BARCELONA

PAMPLONA, 95, 97 y 99
(antes Castillejos, junto a Pedro IV)

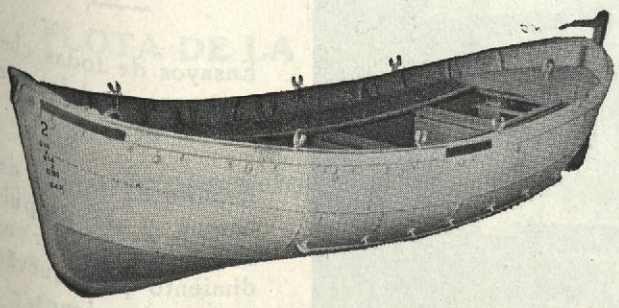
---

MMMSA

# *Manufacturas Metálicas Madrileñas, S. A.*

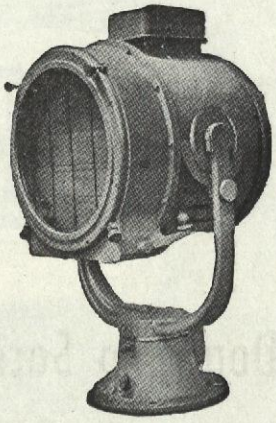
(ANTES MANUFACTURAS DE ALUMINIO, S. A.)

FÁBRICA Y OFICINAS CENTRALES: MADRID
TENIENTE CORONEL NOREÑA, 26 - APARTADO 660 - TELÉFONO 28-15-00



**Botes salvavidas con propulsores accionados a mano (Pat Fleming), embarcaciones menores, piraguas, etc., de aleaciones de aluminio. Candeleros, portillos, escalas, manguerotes y accesorios de cubierta, construídos en aleaciones ligeras.**
**Maquinaria auxiliar para buques.**
**Proyectores.**

Proveedores de la Empresa Nacional Bazán, Unión Naval de Levante, Sociedad Española de Construcción Naval, Empresa Nacional Elcano, etc.



**Máquinas aprobadas por el LLOYD'S REGISTER Y BUREAU VERITAS.**

*SUCURSALES: Barcelona, Valencia, Sevilla, Coruña, Bilbao, Oviedo, Las Palmas, Pamplona, Murcia y Tetuán (Marruecos)*

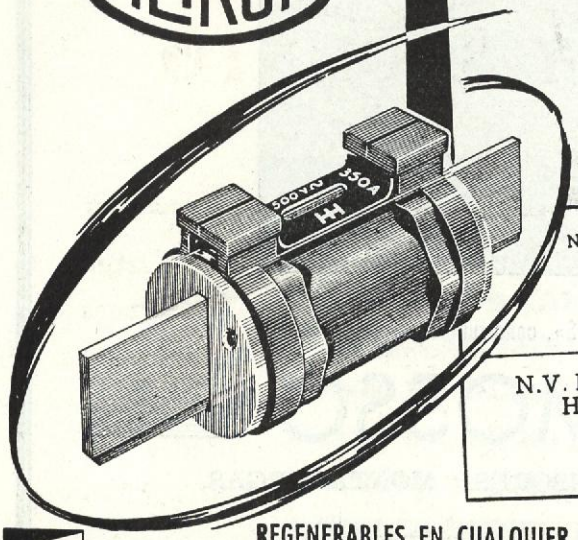
# HAZEMEYER

MARCA REGISTRADA

*Fusibles inexplosivos de alta capacidad de ruptura.*

50.000 A. a 500 V.

METRON




## LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

SUPPLEMENT N.° 1 TO LIST OF APPROVED FUSES - NOVEMBER, 1953

Schedule A: Filled Cartridge Fuses

Approved for all types of vessels including those carrying oil having a flash point less than 150° F. (65.5° C.)

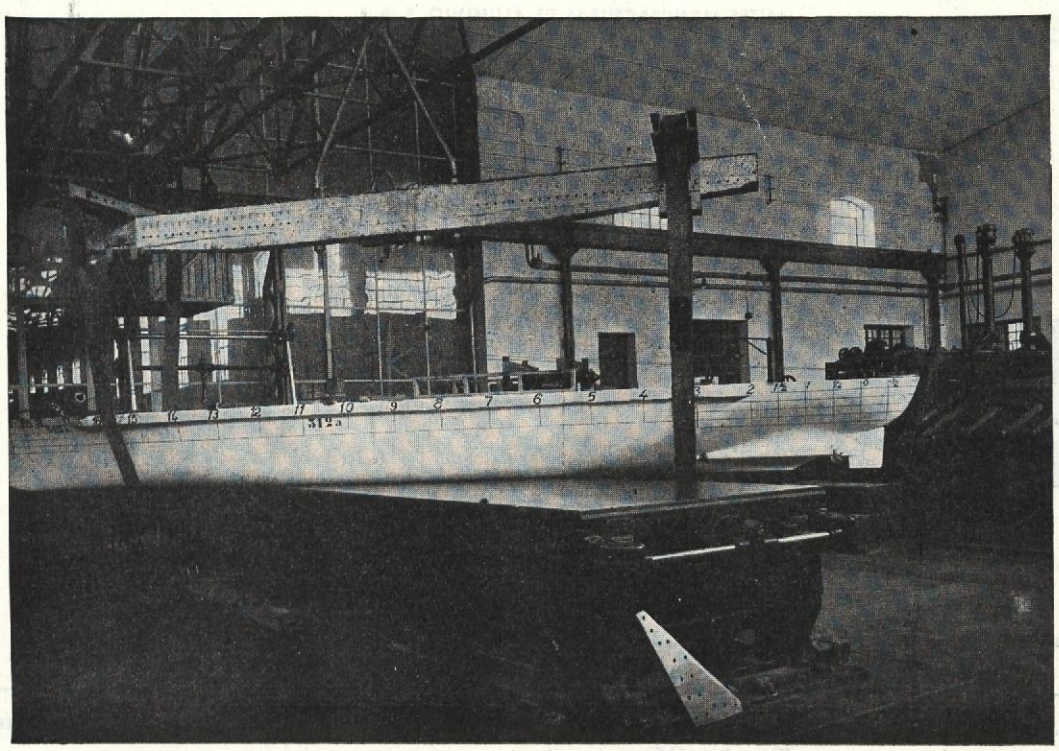
| Name and Address of Manufacturer or Supplier. 1 | Category of Duty (Appendix 5, Clause 2). 2 | Manufacturer's Nomenclature and/or Distinguishing Marks. 3 | Materials. 4 | Nominal Rating in Amps. 5 | Description 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| N.V. Hazemeyer, Hengelo, Holland | 4 | H.H. Type 92c | Moulded cartridge body | 15 to 100 | Black moulded base. Detachable handle. |
| | 4 | Type 92d | | 35 to 200 | |
| | 4 | Type 92e | | 35 to 300 | |
| | 4 | Type 92f | | 225 to 300 | |

REGENERABLES EN CUALQUIER FABRICA HAZEMEYER: ESPAÑA, HOLANDA, FRANCIA, INGLATERRA, BELGICA, etc.

FABRICADOS EN ESPAÑA POR S. A. E. METRON BARCELONA - MADRID
PL. CATALUÑA, 9 - MAESTRO VICTORIA 8



# CANAL DE EXPERIENCIAS HIDRODINÁMICAS: EL PARDO (MADRID)



DIMENSIONES PRINCIPALES:

| | | |
|---|---|---|
| Longitud.... | 210 | mts. |
| Anchura.... | 12,50 | » |
| Profundidad. | 6,50 | » |

Ensayos de todas clases con modelos de buques.

Estudio de formas de carena y de propulsores de alto rendimiento para nuevas construcciones.

Estudio de modificaciones de buques ya en servicio, para mejorar económicamente su explotación.

# Altos Hornos de Vizcaya

SOCIEDAD ANONIMA

Fábricas en:

## BARACALDO, SESTAO Y SAGUNTO

LINGOTE al cok, de calidad superior, para Fundiciones y Hornos Martin-Siemens. - ACEROS Bessemer y Siemens-Martin, en dimensiones usuales para el comercio y construcciones. - ACEROS ESPECIALES (aceros al carbono, al níquel, al cromoníquel, etc.). - Aceros "Kuplus". — CARRILES VIGNOLE, pesados y ligeros, para Ferrocarriles, Minas y otras industrias. CARRILES POENIX o BROCA para tranvías eléctricos. - VIGUERIA para toda clase de construcciones. - CHAPAS gruesas y finas de todas clases y especialidad en chapas de alta tensión para la construcción de buques. - CHAPAS MAGNETICAS para dínamos y transformadores. GRANDES PIEZAS DE FORJA (ejes rectos, cigüeñales, herrajes de timón, rodas, codastes, elementos para cañones, proyectiles, etc.). CONSTRUCCIONES DE VIGAS armadas para puentes y edificios. FABRICACION especial de HOJA DE LATA - CUBOS Y BAÑOS galvanizados.

FABRICACIÓN DE COK METALÚRGICO Y SUBPRODUCTOS:

**Sulfato Amónico, Alquitrán, Brea, Naftalina, Benzol y Toluol**

**FLOTA DE LA SOCIEDAD: Cinco vapores con 23.000 toneladas de carga**

**Explotaciones mineras.** { **Hulla..... 600.000 Toneladas año**
**Hierro ..... 400.000 — —**

**Dirigid toda la correspondencia a**

**ALTOS HORNOS DE VIZCAYA**

**BILBAO** **Apartado 116**

# ALGUNAS PECULIARIDADES DE LAS DISTRIBUCIONES ELECTRICAS DE LOS BUQUES A BASE DE CORRIENTES ALTERNATIVAS (*)

POR

JOSE MARIA GONZALEZ-LLANOS

INGENIERO NAVAL

Son ya bien conocidas las razones que hoy conducen a la adopción de las corrientes trifásicas a bordo, y nosotros mismos hemos tenido también ocasión de exponerlas en otros trabajos (1). No es ahora nuestro objeto el ocuparnos de ellas, sino tan sólo el insistir sobre algunos aspectos particulares de sus distribuciones, que las diferencian, tanto de las de corriente continua utilizadas para los mismos fines, como de las de corriente alternativa empleadas en las redes terrestres. Recordaremos, sin embargo, que los motivos principales de la moderna adopción de esta forma de corriente en los buques estriban en el menor peso y empacho que para potencias relativamente importantes representa a bordo—donde de tanta importancia resultan estas cualidades—, así como en las ventajas de robustez, baratura y sencillez de sus medios de arranque, que reúnen los motores de inducción que con ella pueden emplearse, siempre que se trate de receptores con régimen continuo de funcionamiento. No ocurre, sin embargo, lo mismo cuando se trata de aparatos que requieren trabajar a distintos regímenes de velocidad y con frecuentes maniobras de arranque, como sucede, entre otros, con las maquinillas de cubierta.

Esta última circunstancia, así como la de que los buques con mayor potencia eléctrica instalada son hoy los de turbinas de vapor con maquinaria auxiliar accionada eléctricamente, hacen que en España, donde los buques construídos en estos últimos años y los que se construyen en la actualidad, son en su casi totalidad del tipo de carga, o de carga y pasaje, y siempre propulsados por motores Diesel, se haya conservado hasta ahora para sus distribuciones eléctricas la corriente continua. Por ello, seguimos todavía sin experiencia directa de los problemas inherentes a la adopción de la corriente trifásica a bordo; pero, sin embargo, abordamos este tema a base de la experiencia ajena y de los trabajos publicados sobre el mismo, exponiendo algunas ideas u opiniones que su consideración nos sugiere, por estimar todo ello de utilidad posible en el futuro de nuestras construcciones navales.

Los aspectos a que nos vamos a referir atañen principalmente a los procedimientos de regulación para mantener constante la tensión eficaz de alimentación de la distribución, al cálculo del poder de ruptura de sus medios de interrupción en caso de averías y a los sistemas de protección más convenientes. La consi-

(*) Memoria presentada en el V Congreso de Ingeniería Naval, mayo 1955.

(1) "Tendencias actuales en las plantas eléctricas auxiliares de los buques a base de corrientes alternativas". INGENIERÍA NAVAL, núm. 205, julio 1952.

"Corrientes alternativas polifásicas a bordo de los buques". INGENIERÍA NAVAL, núm. 180, junio 1950.

deración de todos estos factores nos proporcionará elementos de juicio para llegar a definir en líneas generales los sistemas de instalación que, a nuestro parecer, podrían resultar más aconsejables en este caso, así como algunas de las características más adecuadas, desde este punto de vista, para sus generadores y motores.

*Regulación de la tensión.*

En las distribuciones de corriente continua los sistemas de autoexcitación de sus dínamos les confieren, tanto en el caso de máquinas shunt como muy especialmente en las compound, características de tensión constante con la carga, que resuelven plenamente el problema. A ello se añade, por otra parte, la menor importancia de la caída de potencial con la carga en el caso de corriente continua, en el que, en primer lugar, por lo que concierne a la línea, sólo hay que tener en cuenta su resistencia óhmmica, mientras que con la corriente alterna actúa también su reactancia, influyendo además acentuadamente el factor de potencia de la instalación; en cuanto a los generadores, se tiene que en corriente continua, aparte de la resistencia óhmmica de la armadura, influye la reacción de inducido transversal—en el caso general de utilizarse polos de conmutación—por su efecto, entre otros de menor importancia, de saturar los cantos de salida de los polos inductores, mientras que en los alternadores la influencia de la reacción del inducido es mucho más notable por el efecto antagonista de su reactancia síncrona directa, esto es, por el efecto desmagnetizante del campo del inducido, tanto más considerable cuanto menor sea el factor de potencia del circuito de utilización. Por último, las puntas de corriente en las instalaciones de continua, en las que los arranques de sus motores se hacen a través de un reostato que las limita a términos prudenciales, son muchísimo menos considerables que en las distribuciones trifásicas, en las que los arranques directos de los motores de inducción pueden significar intensidades de cinco a siete veces la de régimen normal y, por añadidura, con los enormes desfases correspondientes al bajo factor de potencia del motor en este momento, que es del orden de 0,3 a 0,4.

Podría pensarse en resolver el problema como en las dínamos—aun con las mayores dificultades inherentes a la corriente alterna, que acabamos de señalar—, acudiendo a la autoexcitación compensada de los alternadores a base del empleo de rectificadores electrónicos; pero, aunque efectivamente existen dispositivos susceptibles de llenar esta misión, hoy por hoy no reúnen todavía las condiciones de solidez y seguridad que las instalaciones de a bordo reclaman fundamentalmente.

Resulta así preciso disponer reguladores automáticos de tensión en los alternadores de a bordo, como, por otra parte, es también lo general en las instalaciones terrestres; pero en aquel caso estos accesorios tienen que reunir algunas condiciones particulares que responden a la peculiaridad del servicio de los barcos. Efectivamente, en primer lugar, la índole especial de este servicio requiere el correcto funcionamiento del regulador aun con la contingencia de que tenga que sufrir los choques y vibraciones inherentes a su montaje a bordo; la necesidad de que dicho funcionamiento sea independiente de los cambios de posición del regulador con los movimientos de balance y cabezada del barco, así como insensibilidad a los esfuerzos de inercia que estos últimos movimientos pueden introducir en sus órganos móviles; además, es también condición muy favorable la sencillez del dispositivo y sus facilidades de conservación y entretenimiento, así como la de ofrecer la mayor ligereza y menor empacho posibles. Por otra parte, en las instalaciones marinas, en las que la importancia relativa de la potencia aparente de muchos de sus motores respecto a la de los generadores, es incomparablemente mayor que en las centrales terrestres, se tiene que las maniobras de arranque o, en general, las variaciones de carga de estos motores significan caídas de tensión relativas mucho más considerables que en aquel caso, por lo cual la actuación de los reguladores de tensión tiene que ser sumamente rápida y enérgica para lograr, a pesar de todo, que las oscilaciones de la tensión de los alternadores se mantengan, en amplitud y duración, dentro de límites compatibles con el correcto funcionamiento de la instalación que, si bien en el aspecto de la estabilidad del sincronismo entre los diversos generadores conectados en paralelo, quizá imponga condiciones menos severas que en las instalaciones de tierra, puede suponer, en cambio, desde el punto de

vista de los requerimientos de algunos receptores utilizados a bordo, mayores dificultades que en aquéllas.

Por todas estas razones resultan sumamente indicados a bordo de los buques los reguladores de tensión de tipo estático, es decir, sin órganos móviles y sin inercias mecánicas, por tanto, y provistos, además, de la amplificación que sea precisa para aumentar su sensibilidad. Existen múltiples dispositivos de esta índole, siendo los más sensibles los que funcionan a base de tubos electrónicos que, sin embargo, no son los preferidos a bordo, por no reunir en el grado requerido las condiciones de robustez y seguridad que este servicio exige.

Los más empleados son los que convierten y preparan, y a veces además amplifican, las variaciones de la tensión en los bornes del alternador, para hacerlas actuar en forma de variación de tensión continua en el circuito de mando de un amplificador dínamoeléctrico—amplidina o rototrol de dos pasos—, que, a su vez, sirve para excitar la excitatriz del alternador—en el caso de alternadores de potencias considerables—, con lo que la *señal de entrada* en el regulador puede ser muy pequeña, es decir, el regulador muy sensible, ya que existen tres etapas de amplificación: la propia del regulador, la de la amplidina o rototrol y la amplificación dínamoeléctrica de la propia excitatriz. Las constantes de tiempo de todas estas amplificaciones, si no tan reducidas como las que se obtienen con los tubos de vacío, o de gas en los que lo que se mueve son electrones carentes de inercia, resultan de todas maneras sumamente pequeñas, ya que reflejan solamente la inercia de los movimientos moleculares de los hierros al variar de imantación y, desde luego, incomparablemente menos importantes que las constantes de tiempo de otros reguladores de tensión que funcionan a base de movimientos mecánicos de órganos móviles, de masa muy considerable relativamente.

Otras veces, cuando se trata de alternadores de potencias más bien reducidas, suele utilizarse la amplidina o el rototrol, no sólo como amplificador dínamoeléctrico, sino también como excitratriz propiamente dicha, proveyéndole del correspondiente campo de autoexcitación, y, por último, en los casos en que no se requiera una sensibilidad del regulador extremada, es posible contentarse solamente con la amplificación dínamoeléctrica de la amplidina o rototrol, prescindiendo de la amplificación del regulador propiamente dicho, que suele obtenerse siempre a base de un amplificador magnético.

Antes de describir esquemáticamente el montaje de este tipo de reguladores de tensión, haremos observar que su sensibilidad y rapidez de respuesta implican que su funcionamiento sobrevenga siempre en el período transitorio consecuente a la variación de la carga del alternador, así como, naturalmente, en el derivado de la actuación del propio regulador. En el momento inicial de estos períodos transitorios, la variación de la tensión en los bornes depende, no de la acción desmagnetizante o magnetizante —según los casos—del incremento del flujo principal del inducido, que exige cierto tiempo —unas 20 a 50 alternancias—para establecerse, sino que solamente actúa el flujo de dispersión de este órgano—su incremento—, al mismo tiempo que también interviene el flujo del inductor—tanto de su devanado principal como el correspondiente a los circuitos amortiguadores y a las masas polares—, con leyes de variación amortiguadas exponencialmente y dependientes de las constantes de tiempo de todos estos circuitos; la influencia de las f. e. m. debidas a estos flujos se refleja, no en una variación de la reactancia síncrona total, sino sólo en la parte de ella que corresponde al flujo de dispersión, dando así lugar a variaciones de tensión que dependen—aparte de las caídas óhmmicas inherentes a las variaciones de carga—de la *reactancia subtransitoria* en el momento inicial, la cual varía, por otra parte, durante el período subtransitorio, función de la constante de tiempo de los circuitos amortiguadores; al final de éste, y todavía en régimen transitorio, sigue interviniendo la *reactancia transitoria* debida al circuito inductor principal, con el valor instantáneo correspondiente a su amortiguamiento durante el *período subtransitorio,* y su acción se prolonga, también variando exponencialmente, durante el *período transitorio,* que es función de la constante de tiempo del circuito inductor principal, mucho mayor que la que corresponde a los amortiguadores; al final de este período transitorio la caída de tensión originada por la variación en la carga depende ya de la reactancia síncrona, mucho más grande que las anteriores, a causa de haberse establecido ya la variación del flujo principal—a

través de los hierros—de reacción del inducido, y dicha caída de potencial pierde ya su carácter variable, cesando el régimen transitorio para establecerse el permanente. Debe advertirse que aunque sólo nos hemos referido a una sola reactancia, habrá que considerar, en el caso más frecuente de los alternadores de polos salientes—sobre todo cuando no se trata de variaciones de carga del tipo de un cortocircuito en el que el factor de potencia se hace próximo a cero—, las dos reactancias, directa y transversal en cada caso, esto es, para las reactancias subtransitorias, transitorias y síncronas, en los períodos subtransitorios, transitorios y permanentes, respectivamente.

La caída de tensión que a través de las reactancias subtransitorias y transitorias—o mejor dicho, a través de las impedancias correspondientes—origina la variación de la corriente de carga, tiene, pues, un régimen transitorio que depende tanto del valor cambiante durante él, de las reactancias, como del régimen también variable de la corriente durante el mismo, y que se debe precisamente a esta variación de las reactancias; pero, además, y superponiéndose a esta caída de tensión simétrica inherente al régimen transitorio de la componente sinusoidal de la corriente, de amplitudes decrecientes logarítmicamente en función del tiempo, hay que tener en cuenta también la caída de tensión unidireccional y amortiguada, derivada de la componente análoga de la corriente en el régimen transitorio, la cual depende del momento del período en que sobrevenga la variación de la carga y que hace que en el régimen subtransitorio la caída de tensión inicial sea, en general, sensiblemente mayor y que afecte en su amortiguamiento una forma asimétrica respecto al eje de los tiempos.

La índole de este trabajo no persigue, por supuesto, el estudio de estos regímenes transitorios de las máquinas; por ello, nos contentaremos con citar aquí sucintamente esta forma de variar la tensión al variar la carga, aunque en el Apéndice I se recuerdan los conceptos a que responden las reactancias subtransitorias y transitorias de los generadores síncronos, así como se indican los medios de medir experimentalmente de una manera aproximada la primera de ellas.

En el estudio de los reguladores de tensión que ahora nos ocupa, nos basta con saber que la caída inicial de tensión, que es instantánea, viene regida por la reactancia subtransitoria, que, desde este punto de vista, nos convendrá sea lo más reducida posible, aunque, como veremos más adelante, hay otros aspectos muy importantes de las distribuciones que aconsejan todo lo contrario. Así, pues, por muy sensible que el regulador sea, es inevitable que en el momento inicial, y suponiendo, por ejemplo, que la variación de la carga sea en el sentido de aumento de la caída de tensión interna del generador, se registre una disminución brusca del voltaje de alimentación (fig. 1), contra la cual

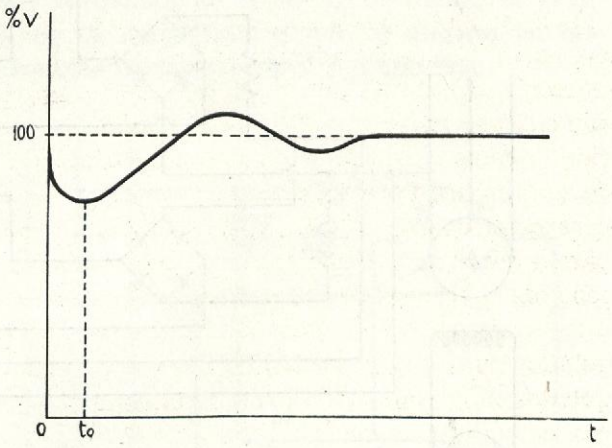



Fig. 1

debe reaccionar rápidamente el regulador, midiéndose su sensibilidad en este aspecto por el intervalo $Ot_0$, en que vence este efecto reforzando la excitación, para volver a alcanzar el valor de la tensión de régimen; inevitablemente, y aunque las constantes de tiempo del sistema son mínimas, esta tensión de régimen será rebasada en sentido contrario, volviendo de nuevo a actuar el regulador, con lo que aquélla sólo se alcanzará al cabo de algunas oscilaciones. Importa sobremanera que este período transitorio de restablecimiento de la tensión sea lo más corto posible y que durante él la amplitud de las oscilaciones no rebase las tolerancias admisibles, para lo cual el sistema debe ofrecer el amortiguamiento necesario, que tampoco debe ser excesivo para conseguir restablecer la tensión lo antes posible, todo lo cual exige un estudio cuidadoso de las constantes de tiempo de los diversos circuitos que componen el sistema de regulación.

En todo lo anterior hemos supuesto implícitamente que lo que el regulador trata de con-

seguir es el restablecimiento exacto de la misma tensión en bornes, con independencia de la carga de que se trate; en realidad, este sería el caso si la distribución se alimenta con un solo generador; pero, en cambio, cuando existen varios de éstos acoplados en paralelo, la estabilidad del régimen de sincronismo entre ellos exige, como se sabe, que la tensión en bornes varíe con la carga entre ciertos límites, a fin de repartir equitativamente entre sí la potencia —tanto la activa como la reactiva—, lo cual se alcanza modificando automáticamente, y en función de la carga, las características de algún circuito del sistema de regulación.

Como dijimos antes, los más empleados de estos últimos a bordo de los buques están constituídos a base de la amplificación dínamoeléctrica proporcionada por el rototrol de dos pasos o por la amplidina. No cabe en los límites de este estudio el ocuparnos de la teoría y propiedades de estas máquinas, que, por otra parte, son ya clásicas, y nosotros mismos nos hemos ocupado de ellas, estudiándolas de una manera elemental, pero suficiente para comprender sus propiedades, en algunas publicaciones (1).

Por análogas razones omitimos la descripción y la consideración de los principios en que se basan los amplificadores magnéticos (1), limitándonos a recordar que su circuito de mando se alimenta por medio de una tensión continua, mientras que el de carga, provisto de su correspondiente rectificador de contacto, necesita una tensión alternativa para hacer recorrer la curva de imantación al hierro del amplificador.

La figura 2 representa esquemáticamente un sistema de regulación estática de la tensión del alternador, y se refiere al caso de una máquina importante con excitatriz, excitada, a su vez, independientemente por un amplificador dínamoeléctrico. Se trata de un sistema de gran sensibilidad en el que, aparte de la amplidina o rototrol, hay otra etapa previa de amplificación por medio de un amplificador magnético en el propio regulador. Derivados directamente—o más generalmente por intermedio de los oportunos transformadores de medida—de los bornes del alternador, existen dos circuitos rectificadores de onda completa en puente, uno de ellos en serie con una resistencia $R$ y el otro con una inductancia saturable $L$. El primero de ellos alimenta en continua las bobinas $M_2$ y $B_1$, que pertenecen, respectivamente, a los circui-

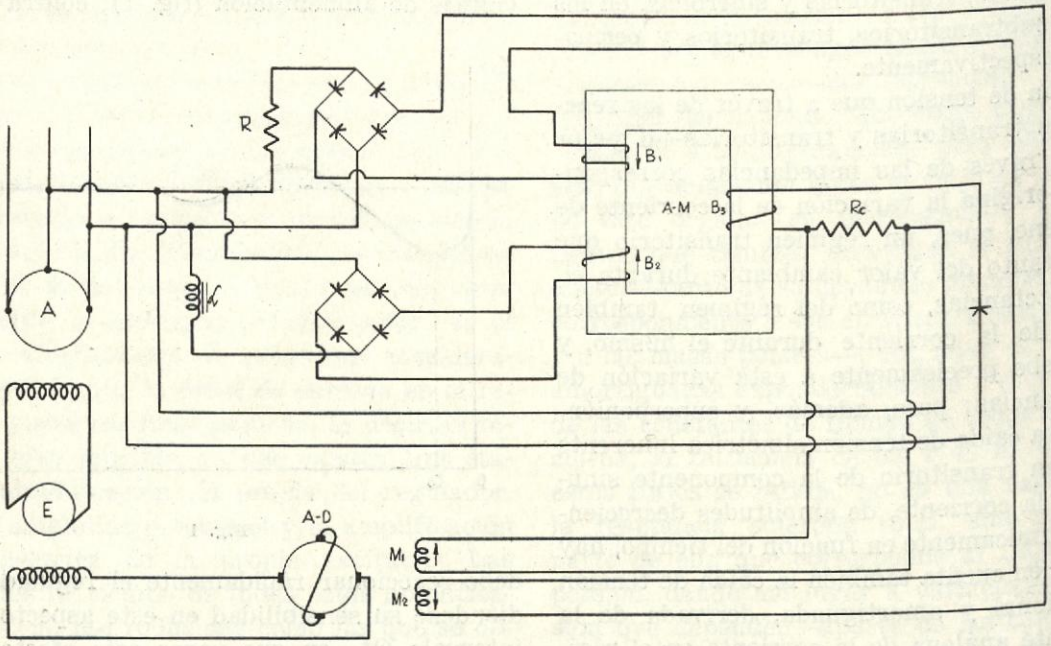



Fig. 2

(1) "Amplificación dínamoeléctricas". INGENIERÍA NAVAL, núm. 185, noviembre 1950. "Curso de Máquinas Eléctricas", tomo I, capítulo X.

(1) Véase, por ejemplo, "The magnetic amplifier", por V. J. Louden, en *General Electric Review*, de marzo de 1953.

tos de mando del rototrol y del amplificador magnético, los cuales constan de otras dos bobinas $M_1$ y $B_2$, de acción magnética contraria a las anteriores. Esta última está en serie con el segundo de los circuitos rectificadores que comprende la inductancia saturable, de manera que la *señal* del amplificador magnético es debida a la diferencia de f. m. m. de $B_1$ y $B_2$. Teniendo en cuenta las características de estas f. m. m. en función de la tensión del alternador, que son de la forma indicada en la figura 3, se com-

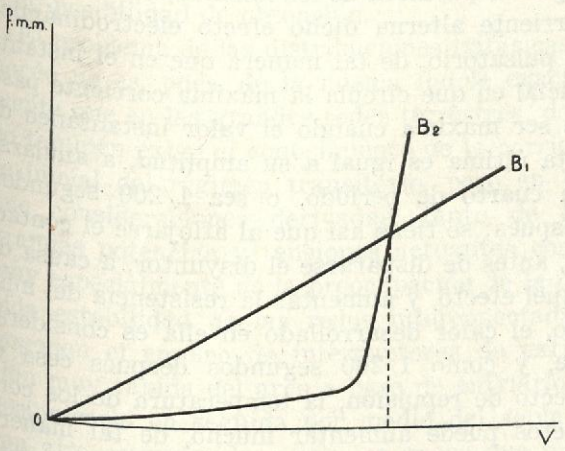



Fig. 3

prende que dimensionando las bobinas y sus circuitos de tal manera que para la tensión de régimen sus f. m. m. sean iguales, se tiene que si aquélla disminuye prepondera el efecto de $B_1$, y, viceversa, prepondera $B_2$ para el caso de aumento de tensión por encima del valor de régimen, disponiéndose las cosas de tal manera que los sentidos opuestos de las f. m. m. de las dos bobinas, $B_1$ y $B_2$ se traduzcan, en definitiva, en el campo del rototrol, por una acción magnetizante de $B_1$ y por otra desmagnetizante de $B_2$.

En estas condiciones, la bobina $B_3$ del amplificador magnético $A \cdot M$, alimentada, a través del rectificador correspondiente, por las alternancias positivas de la tensión del alternador, como se indica en la figura, y en serie con la resistencia de carga $R_c$, cuyos terminales alimentan la otra bobina del mando del rototrol $M_1$, amplificará la diferencia que sobre la caída de potencial en $R_c$ que corresponda a la tensión normal, envuelve la variación de esta última, gracias a la señal que supone la acción diferencial entre $B_1$ y $B_2$. De esta manera, la acción de la bobina de mando $M_1$ se apartará de la de $M_2$, ambas dimensionadas adecuadamente, precisamente en la magnitud de aquella diferencia amplificada, y como dichas acciones son de sentido opuesto, la única magnitud que actuará sobre el mando del rototrol para ser amplificada por éste será así la variación de tensión que tratamos de corregir.

Un esquema análogo es el de la figura 4, que se refiere al caso en que la propia amplidina es la excitratiz del alternador y en que además se suprime la amplificación magnética en el regulador, y, como se ve, resulta mucho más sencillo, y aunque evidentemente su sensibilidad es más reducida que la del anterior, es, sin embargo, muy satisfactoria, teniendo en cuenta el gran factor de amplificación que se alcanza en las máquinas de tipo rototrol y amplidina.

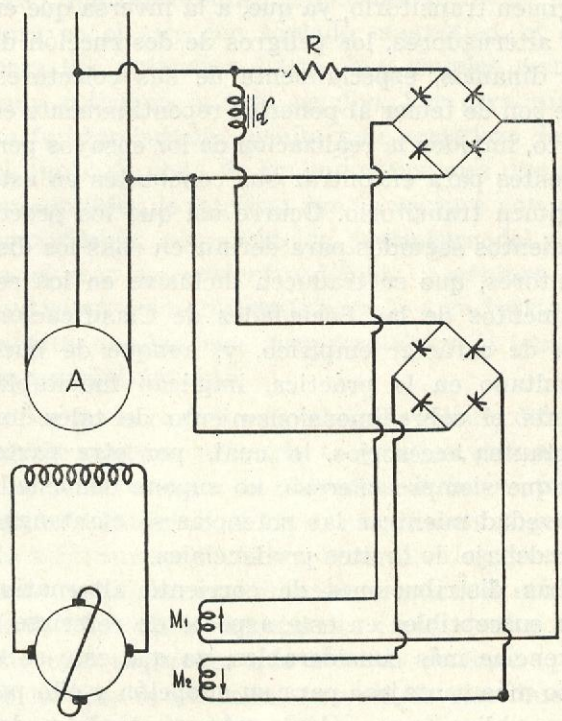



Fig. 4

*Cálculo del poder de ruptura necesario en los disyuntores.*

El dimensionamiento de un disyuntor o, en general, de cualquier seguridad, depende, como es sabido, no de la intensidad normal de su servicio, sino de la corriente que tiene que interrumpir en caso de avería en las peores condiciones que puedan sobrevenir, la que depende esencialmente de la situación que el disyuntor ocupa en la distribución, de tal manera que disyuntores de la misma intensidad nominal de

servicio pueden ser totalmente diferentes en su estructura, según cual sea su situación en la red, pues de ella depende la impedancia del cortocircuito que en él se suponga, que comprenderá la combinada de todas las máquinas que contribuyan a mandar corriente a su través en el régimen transitorio inherente a la avería, así como la de las canalizaciones que las conectan a ésta, es decir, al disyuntor, que es en donde se supone que aquella avería sobreviene.

En las distribuciones de corriente continua a bordo de los buques no es fácil calcular certeramente el poder de ruptura de sus disyuntores, debido al defectuoso conocimiento que se tiene del comportamiento de las dínamos en cortocircuito súbito, a causa de la ausencia de datos experimentales de su funcionamiento en este régimen transitorio, ya que, a la inversa que en los alternadores, los peligros de destrucción de las dínamos, especialmente de sus colectores, que son de temer al ponerlas repentinamente en corto, impiden la realización de los ensayos pertinentes para encontrar sus constantes en este régimen transitorio. Ocurre así que los procedimientos seguidos para definir en ellas los disyuntores, que se traducen inclusive en los reglamentos de las Sociedades de Clasificación, son de carácter empírico, y, aunque de buen resultado en la práctica, implican inevitablemente el sobredimensionamiento de tales importantes accesorios, lo cual, por otra parte, aunque siempre oneroso, no supone demasiada gravedad mientras las potencias se mantengan por debajo de límites prudenciales.

Las distribuciones de corriente alternativa son susceptibles en este aspecto de referirse a potencias más considerables, ya que este es el caso más ventajoso para su adopción y ello pudiera obligar a un cálculo más exacto del poder de ruptura de los disyuntores necesarios, el cual es más factible que en el caso de corriente continua por el mejor conocimiento que se tiene de sus máquinas cuando funcionan a régimen transitorio; pero, en realidad, no es esta consideración principalmente la que aconseja la realización de tales cálculos, pues, por otro lado, la ruptura de los arcos en corriente alterna es mucho más fácil que en continua, a causa de la periódica anulación de la corriente en cada alternancia, con la consiguiente desaparición de la energía de su campo magnético, el que en corriente continua siempre existe y en el momento de la ruptura implica mayor dificultad, tanto por las sobretensiones que su desaparición provoca como por la mayor violencia del arco a través del cual se libera esta energía. Ahora bien; en corriente continua, en cambio, al lado de estas perjudiciales condiciones, se da la circunstancia favorable de que el efecto electrodinámico importante debido a la circulación de las grandes corrientes de corto, que tiende a separar los contactos del disyuntor en los primeros momentos, actúa siempre, facilitando la rápida separación de los mismos; en cambio, en corriente alterna dicho efecto electrodinámico es pulsatorio, de tal manera que en el instante inicial en que circula la máxima corriente pasa de ser máxima cuando el valor instantáneo de esta última es igual a su amplitud, a anularse un cuarto de período, o sea 1/200 segundos después; se tiene así que al aflojarse el contacto, antes de dispararse el disyuntor, a causa de aquel efecto, y aumentar la resistencia del mismo, el calor desarrollado en ella es considerable, y como 1/200 segundos después cesa el efecto de repulsión, la temperatura de los contactos puede aumentar mucho, de tal manera que al cebarse el arco en los primeros momentos de su separación, con la consiguiente gran aportación de calor, la temperatura puede llegar a ser tal que sobrevenga la fusión y soldadura de los contactos, inutilizándose el disyuntor si no está adecuadamente dimensionado para resistir todo esto.

Esta consideración es la que impone el cálculo de la corriente de cortocircuito lo más aproximadamente posible para elegir con seguridad el disyuntor conveniente; pero al mismo tiempo se aprovecha su conocimiento para no escoger disyuntores de capacidad excesiva, limitándola a la necesaria. Esto tiene importancia, no sólo desde el punto de vista económico y desde el de peso y empacho, siempre interesantes, sino especialmente, al tratarse de potencias considerables, desde el punto de vista de la posibilidad de utilizar disyuntores de ruptura en el aire que, con sus dispositivos de extinción por soplado magnético y, a veces, con dispositivos especiales de eliminación del calor del arco, son los que permiten los reglamentos de las Sociedades de Clasificación, que, en cambio, proscriben la utilización de los dispositivos de extinción rápida del arco, a base de aceite.

Vemos, pues, que la corriente de cortocircuito

a tener en cuenta en el cálculo del disyuntor, tiene que ser la inicial de su período subtransitorio, es decir, que deben hacerse intervenir para su predeterminación las constantes correspondientes a dicho régimen, e inversamente si existe posibilidad de elegir adecuadamente los valores de estas últimas, en especial las que se refieren a los generadores y motores, resulta factible variar en cierta medida la *severidad* del cortocircuito, es decir, disponer de cierto margen para elegir el disyuntor que más convenga en los aspectos de economía, de ligereza y de posibilidad de obtención.

El problema de las distribuciones trifásicas a bordo no es, pues, de la misma índole exactamente que en las grandes redes terrestres, donde también exige el conocimiento de la corriente inicial del régimen transitorio, pero en las que consideraciones derivadas, tanto de las grandes potencias y tensiones actuantes como muy especialmente de la preocupación de la debida estabilidad de las redes interconectadas, imponen el empleo de interruptores de extinción muy rápida del arco a base de enfriarlo y desionizarlo en seguida por medio del soplado con aire comprimido o con los gases que procura la disociación y vaporización del aceite en los de este último tipo (1), persiguiéndose entonces la extinción definitiva del arco a ser posible, al anularse la corriente por primera vez y dependiendo las condiciones de esta extinción de la *severidad del circuito,* esto es, de la corriente de cortocircuito que se trata de romper, que, por tanto, será la inicial del período subtransitorio, así como también de la tensión de restablecimiento que aparece en los contactos del interruptor al romperse el arco, magnitudes ambas que, aunque no coexisten, definen por su producto la potencia aparente del cortocircuito, o sea el *poder de ruptura* del disyuntor, expresado en K. V. A.; dichas dos magnitudes dependen de las constantes del circuito, es decir, de la impedancia—resistencia, inductancia y capacidad—, que, aparte de imponer el valor máximo de la corriente, rigen también su desfase respecto a la tensión de alimentación, del que depende fundamentalmente la tensión de restablecimiento.

El cálculo del poder de ruptura en estos casos exige, pues, también el de la corriente subtransitoria máxima de corto circuito, pero por motivos diferentes que en las instalaciones de a bordo, en las que la lentitud relativa de la extinción del arco—que hay que alargar para enfriarlo y aumentar su resistencia—hace menos interesante el cálculo del poder de ruptura desde el punto de vista de su extinción definitiva una vez cebado, que desde el de considerar el peligro de fusión y soldadura de los contactos en los instantes iniciales del corto. Claro está que a bordo se podrían utilizar disyuntores de aire comprimido que, en el aspecto de seguridad contra incendios que imponen las Sociedades de Clasificación, no presentan los inconvenientes de los interruptores de aceite; pero, que nosotros sepamos, no se ha adoptado aún tal sistema, sin duda por la complicación y aumento de peso que representa comparado con el de ruptura en el aire con soplado magnético, el que para las potencias hasta hoy usuales resulta muy suficiente y más sencillo. Por otra parte, su funcionamiento resulta más ventajoso desde el punto de vista de las sobretensiones que son susceptibles de implicar los de ruptura con aire comprimido, por extinción prematura del arco en el caso de corrientes débiles, y siempre por la desionización rápida inherente a su funcionamiento, que los hace muy sensibles a la tensión de restablecimiento.

Sea como sea, el problema del cálculo del poder de ruptura necesario es igual en ambos casos, y se reduce a la obtención de la corriente inicial asimétrica de corto circuito en el período subtransitorio. Ahora bien; con las grandes redes múltiplemente interconectadas, el cálculo de la impedancia del circuito corto resulta mucho más engorroso que a bordo de los buques en los que se utiliza el sistema de distribución *ramificado,* y por ello (1) es preciso sentar hipótesis simplificativas que desprecian la resistencia de los elementos del circuito corto, tomando sólo en cuenta sus reactancias, lo que supone una simplificación muy sensible de los cálculos que, a pesar de todo, resultan sumamente laboriosos, conduciendo, además, al sobredimensionamiento de los disyuntores. Modernamente, con la utilización de los analizadores de redes, es posible acortarlos enormemente y tener, además, en cuenta las resistencias y

(1) Véase González-Llanos: "Curso de Máquinas Eléctricas", tomo III, capítulo VII.

(1) Véase González-Llanos: "Curso de Máquinas Eléctricas", tomo III, capítulo VI.

capacidades del circuito con la mayor precisión consiguiente.

A bordo de los barcos, como decimos, el problema resulta menos engorroso, aunque siempre laborioso, y, desde luego, la utilización del cálculo automático valiéndose de un analizador, simplificaría grandemente la cuestión.

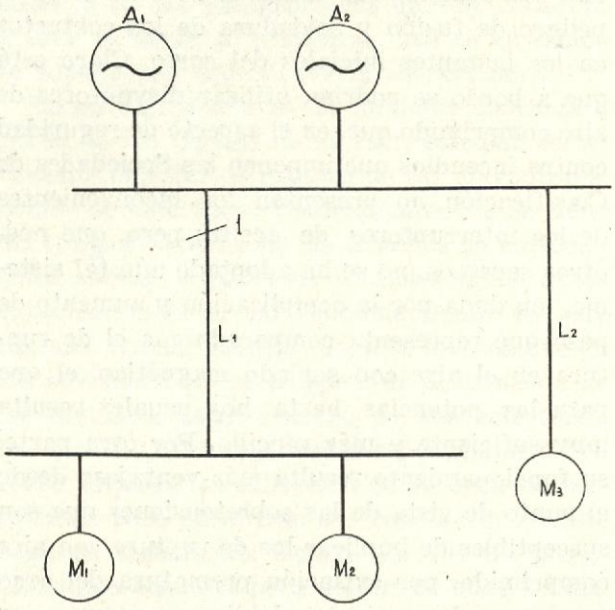



Fig. 5

Otra diferencia que conviene hacer notar se refiere a que en las redes de alta tensión, dada la importancia de las potencias de las máquinas en juego, sólo se toman en consideración para el cálculo de la corriente de corto circuito las máquinas síncronas—generadores, condensadores síncronos, grandes motores síncronos y conmutatrices—, mientras que a bordo, y dada la importancia relativa de los motores asíncronos respecto a los generadores, es necesario también tener aquéllos muy en cuenta, ya que, debido al magnetismo remanente de sus hierros, funcionan como generadores enviando corriente a la avería durante los primeros instantes, aunque amortiguándose con un decremento rapidísimo.

Indicamos a continuación la manera de efectuar los cálculos en el caso de las instalaciones de a bordo, suponiendo primeramente que se trata de un corto circuito equilibrado y franco.

*Corto equilibrado.*—Supongamos el caso sencillo de la figura 5, en la que existen dos generadores, $A_1$ y $A_2$, alimentando a través del feeder $L_1$ un cuadro de fuerza del que se derivan dos motores de inducción, $M_1$ y $M_2$, y a través del $L_2$ otro motor $M_3$, y que queremos calcular el poder de ruptura del disyuntor de salida 1. Llamando $V$ la tensión de los alternadores $A_1$ y $A_2$, tendremos que la corriente que éstos envían a través de la avería en 1 será:

$$|I_A| = \frac{|V|}{\dfrac{1}{Z_{A1}} + \dfrac{1}{Z_{A2}}}$$

donde $Z_{A1}$ y $Z_{A2}$ son las impedancias subtransitorias de las dos máquinas; al mismo tiempo, los motores $M_1$, $M_2$ y $M_3$ envían también sobre $l$ corrientes, cuyo valor inicial es en cada uno igual a la corriente que la máquina tomaría en el arranque, con toda la tensión aplicada, siempre que la avería fuese en sus mismos bornes, o sea que la impedancia a considerar para cada uno será

$$Z_M = \frac{V}{I_{aM}}$$

donde $I_{aM}$, como decimos, es la corriente de arranque a plena tensión, con independencia de que en la realidad a las máquinas haya que arrancarlas con tensión reducida o con reostato de arranque rotórico, si son de rotor devanado, circunstancias que no hay que tomar en cuenta para deducir el valor de $I_{aM}$, el cual se obtendrá, pues, fácilmente de las características de funcionamiento $I = f(\delta)$ de los motores. En estas condiciones, se tendrá para las corrientes aportadas en 1 por los motores:

$$|I_M| = \frac{|V|}{\dfrac{1}{Z_{M_1}} + \dfrac{1}{Z_{M_2}} + Z_{L_1}} + \frac{|V|}{Z_{M_3} + Z_{L_2}}$$

siendo $Z_{L_1}$ y $Z_{L_2}$ las impedancias de los feeders; y para la corriente total de corto circuito en 1:

$$|I_{cc}| = |I_A| + |I_M|$$

que nos permitirá calcular su valor eficaz $I_{cc}$, en función de las resistencias internas de alternadores y motores, que pueden despreciarse, de las reactancias subtransitorias directas de los primeros y de los segundos, así como de las impedancias de los feeders.

De todas estas magnitudes hemos dicho ya cómo se calculan las reactancias de los motores; en cuanto a los feeders, los catálogos de los fabricantes dan las resistencias y las reactancias por unidad de longitud de los cables de las canalizaciones; queda, pues, la determinación de las reactancias subtransitorias directas de los alternadores, las que son susceptibles de medirse aproximadamente por los ensayos que se citan en el Apéndice I de este trabajo. Ahora bien; los resultados que así se obtienen son sólo aproximados; en primer lugar, porque el circuito equivalente que sirve de base para el ensayo lo es también, y sobre todo, porque en las condiciones en que éste se efectúa los hierros están mucho menos saturados que en un corto real, y aunque las reactancias subtransitorias directas se originan únicamente por los flujos de dispersión, hay que tener en cuenta que los circuitos a través de los que éstos se cierran no son sólo de aire, sino que también comprenden hierros cuya saturación influye sensiblemente en el valor de los flujos, o sea en el de las reactancias. Por ello, convendría determinar estas últimas directamente mediante un ensayo en corto circuito del alternador, levantando los oscilogramas de tensiones y corrientes que nos permitirían medir con seguridad las reactancias. Como primera aproximación puede contarse que la reactancia subtransitoria directa, normal en los alternadores de tipo marino, no debe tomarse menor que un 15 por 100, midiéndola en función de la caída de tensión interna que origina, en tanto por ciento de la f. e. m. desarrollada, es decir, que es sensiblemente mayor que en los grandes alternadores terrestres donde suele ser, por término medio, de un 10 por 100.

La corriente $I_{cc}$ así calculada es la componente sinusoidal de la corriente inicial máxima; para obtener la corriente asimétrica correspondiente es preciso tener también en cuenta su componente unidireccional, con lo cual se tiene que la corriente asimétrica $I_{as}$ en las peores condiciones será:

$$I_{as} = 1{,}5\ I_{cc}$$

Para tener el poder de ruptura necesario hay que considerar que las corrientes calculadas son corrientes transitorias originadas por la avería, y que a ellas hay que sumarle geométricamente la corriente nominal de régimen.

En todo lo anterior hemos supuesto que la avería considerada es un corto circuito franco, es decir, que no presenta impedancia alguna. Evidentemente, en caso contrario, las corrientes de corto circuito disminuirían en la medida correspondiente, y desde este punto de vista, y teniendo en cuenta que en las instalaciones de a bordo las causas de avería se deben siempre a defectos de aislamiento que llevan consigo arcos voltaicos que ofrecen su resistencia correspondiente, no cabe duda que, de poderla estimar correctamente, su introducción en la expresión de la corriente de corto circuito nos permitiría calcular con mayor precisión el poder de ruptura del disyuntor y evitar el sobredimensionamiento de éste. Sin embargo, y aunque, por lo menos en Francia, C. F. Maupas y R. Guerinet han llevado a cabo algunas mediciones sobre el particular (1), no parece disponerse de la experiencia suficiente para fijar con seguridad las impedancias de los defectos, y además, tratándose de instalaciones en las que los alternadores puedan acoplarse en paralelo, existe siempre un riesgo indudable de corto circuito franco, al efectuar una falsa maniobra y acoplarlos en oposición de fase. Por todo esto, nos parece más prudente, hoy por hoy, hacer caso omiso de la posible impedancia de los defectos o averías.

*Corto desequilibrado.*—Hemos supuesto en lo anterior un corto trifásico; pero, evidentemente, el disyuntor hay que preverlo para el peor caso que se pueda presentar en la práctica. La consideración de las componentes simétricas de los sistemas trifásicos desequilibrados, cuya teoría es ya clásica y de la que, sin embargo, hacemos una ligera mención recordatoria en el Apéndice II de este trabajo, nos permite calcular las corrientes de corto circuito en el caso de averías desequilibradas, que en lo que se refiere a su componente sinusoidal obedecen en los distintos tipos de corto circuito que pueden presentarse, a las siguientes expresiones:

$$\text{Corto por una fase a tierra} = I_{cc} = \frac{3\,V}{Z_o + Z_i + Z_d}$$

$$\text{Corto entre dos fases} = I_{cc} = \frac{\sqrt{3}\,V}{Z_d + Z_i}$$

(1) "Les courants de court-circuit dans les installations électriques de bord a courant alternatif". Volumen 53, año 1954, del *Bulletin de la ATMA.*

Corto entre dos fases a través de tierra =

$$= I_{ss} = I_o + h^2 I_i + h I_d \left| \begin{array}{l} I_d = \dfrac{V}{Z + Z_d} \\ I_o = I_d \dfrac{Z}{Z_o} \\ I_i = I_d \dfrac{Z}{Z_i} \end{array} \right. \quad \text{con } Z = \frac{Z_o + Z_i}{Z_o Z_i}$$

en las cuales $Z_o$ , $Z_d$ y $Z_i$ son las impedancias que el circuito corto presenta a las tres sucesiones de componentes simétricas, es decir, las impedancias homopolar, directa e inversa, respectivamente, que pueden calcularse o medirse para los distintos elementos del circuito.

En realidad, a bordo de los buques en que las distribuciones suelen ser siempre a base de tres hilos con neutro aislado, el único corto desequilibrado a considerar resulta el corto bifásico; además, afortunadamente para la simplicidad de los cálculos del poder de ruptura, dadas las características de estas distribuciones, la severidad máxima del circuito corto resulta para el corto trifásico o equilibrado, que así es el único a considerar siempre en estos casos

## Distribución por alimentaciones independientes.

Antes de considerar el último de los aspectos que nos hemos propuesto, el de los sistemas de protección de las distribuciones de a bordo, podemos deducir ya, como consecuencia del que acabamos de examinar, la conveniencia de repartir los distintos circuitos de utilización del buque entre varios cuadros de distribución (figura 6), cada uno de los cuales tiene asignado un determinado número de receptores, a los cuales alimenta a través de los correspondientes feeders, provistos de los oportunos interruptores o disyuntores $a_1$ , $a_2$ , $a_3$ ... en la forma que se indica. En el caso de tener en funcionamiento los tres generadores $A_1$ , $A_2$ y $A_3$ que se han supuesto en la figura, cada uno de ellos alimenta independientemente su propio cuadro, pudiendo, no obstante, interconectarse uno cualquiera de éstos, cuyo alternador se desconecte fuera de servicio, con alguno de los otros que tenga en servicio su propio generador; pero nunca se interconectan entre sí cuadros que estén alimentados por generadores diferentes, es decir, que nunca se acoplan estos últimos en paralelo, con excepción, naturalmente, de los períodos de maniobra de parada o puesta en servicio de cualquier alternador.

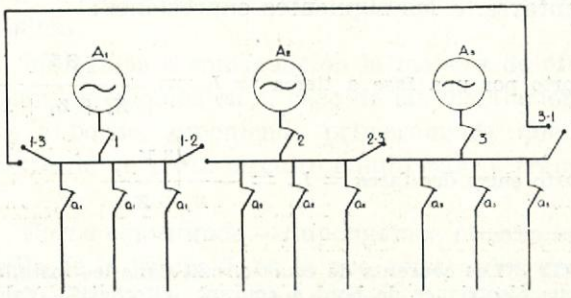



Fig. 6

Las cualidades de este dispositivo, así como las condiciones que en él deben tenerse en cuenta, son las siguientes:

1.ª El poder de ruptura de los disyuntores de acometida necesarios se reduce en función del número de alimentaciones independientes, ya que también se reduce en función de éstas la potencia aparente de los generadores que pueden actuar sobre un corto circuito, a condición, bien entendido, de que existan más de dos y de que las maniobras de su parada o puesta en servicio, se hagan siempre teniendo cuidado de no acoplar entre sí simultáneamente más que dos alternadores, lo cual es factible, cualquiera que sea el número de ellos. Esta ventaja resulta tanto más acentuada cuantos más alternadores tenga la distribución, no obteniéndose ninguna, en cambio, como ya indicamos antes, si se trata de una instalación con dos generadores, aunque a éstos se les haga trabajar en servicio normal con alimentaciones independientes.

2.ª Fuera de los períodos de maniobra, la corriente de corto circuito máxima que se presenta será siempre muy inferior al poder de ruptura del disyuntor en servicio, con la mayor garantía consiguiente en la interrupción.

3.ª En condiciones normales no existe preocupación acerca de la estabilidad del funcionamiento, lo cual repercute en la mayor seguridad del servicio.

4.ª La misma consideración permite la utilización de rapideces de extinción en los disyuntores, que quizá resultasen demasiado largas

desde el punto de vista del mantenimiento del sincronismo de los generadores en paralelo.

5.ª Aunque el acoplo en derivación de los alternadores no es la única circunstancia que aconseje en ellos la provisión de circuitos amortiguadores, es, sin embargo, una de las más influyentes; de manera que el hacerlos trabajar con independencia pudiera contribuir en gran medida a estudiar su abolición, con la ventaja consiguiente, no sólo en el precio, sino también en el aumento de reactancia subtransitoria que supondría, con favorable repercusión en el poder de ruptura de los disyuntores; en cambio exigiría reguladores de tensión de mayor sensibilidad, a lo que se prestan ciertamente los tipos estáticos a base de amplificación dínamoeléctrica. De todas maneras, para poder prescindir de los amortiguadores sería preciso disponer de reguladores de la velocidad de las motrices, dotados de gran precisión y, en todo caso, la cosa será más factible cuando se trata de turbogeneradores que con motores Diesel, de par más irregular.

Al lado de todas estas cualidades favorables, la puesta fuera de servicio fortuita de un alternador significa la interrupción de todos los circuitos de utilización a él asignados, por lo que es preciso en lo que atañe a los servicios vitales —timón, bombas de lubricación, bombas de circulación de las calderas, etc.—, todos los cuales están atendidos por duplicado, que cada par de ellos se distribuya entre dos cuadros diferentes, para dejar siempre el servicio asegurado; análogamente se debe proceder con el alumbrado de los locales importantes. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que en el caso de trabajar en paralelo dos alternadores, por ejemplo, suponiendo, como es normal, que lo hagan próximos a la plena carga, la puesta fuera de servicio súbita de uno de ellos significa inevitablemente la supresión de muchos servicios, corriéndose, además, el riesgo más o menos remoto de que al sobrecargarse repentinamente el otro salte también su automático, con lo que el apagón sería mucho más grave.

El funcionamiento independiente de los alternadores repercute, aunque también quizá de manera más aparente que real, en la importancia relativa de cualquier receptor respecto a la potencia de alimentación, con la consiguiente mayor caída de tensión en caso de sobrecargarse, por ejemplo, en el arranque. En general, con una atinada distribución de los motores importantes entre los diversos cuadros, será posible aminorar este inconveniente, y, de tratarse del arranque de un motor extraordinariamente importante, se podría, en todo caso, acoplar momentáneamente en paralelo dos generadores, hasta que, una vez llevada a cabo aquella maniobra, se vuelva a hacerlos trabajar con independencia.

*Observación.*—Muchas de las buenas cualidades que reconocemos al sistema de distribución por alimentaciones independientes, no son sólo privativas de las instalaciones de corriente alternativa, sino que son aplicables igualmente al caso de las de corriente continua. De hecho, y por razones militares de protección y seguridad, este sistema es muy empleado en los barcos de guerra dotados de esta forma de corriente, en ocasión de zafarrancho de combate.

*Sistema de protección.*

Debido al tipo de distribución ramificada que se emplea a bordo de los buques, el problema de su protección selectiva resulta mucho menos complicado que en el caso de las redes terrestres múltiplemente interconectadas, reduciéndose así el número de tipos de relés a emplear, según veremos ahora.

En comparación con las distribuciones de continua de a bordo—también de tipo ramificado—, la principal diferencia a favor de estas últimas, en lo que concierne a su protección, se debe a la posibilidad de emplear en ellas los fusibles en los circuitos de fuerza no principales, mientras que en corriente alternativa las puntas de corriente de sus motores son de tanta importancia, que no es fácil protegerlos con un fusible contra las sobrecargas y contra los cortocircuitos al mismo tiempo.

Las condiciones a satisfacer por el sistema de protección a bordo de los buques se refieren, como siempre, a dos aspectos: uno de protección contra las sobrecargas y el otro de protección contra los cortocircuitos, o, en general, contra las averías, debiendo ser esta protección, además, una protección selectiva.

La selectividad debe entenderse, a su vez, en varias modalidades: selectividad en el sentido

de que, en caso de sobrecarga, el único disyuntor o seguridad que salta sea el inmediatamente más cercano al elemento sobrecargado, colocado entre él y el cuadro de alimentación, a fin de que todo el resto de la instalación pueda quedar en servicio, aunque indefectiblemente, y por la índole ramificada de la distribución, todos los receptores del mismo circuito situados más allá del elemento sobrecargado quedarán fuera de servicio; selectividad en caso de sobrecarga de un generador o, en general, de un feeder de alimentación que atienda a varios servicios, para eliminar automáticamente los menos importantes de estos últimos, disminuyendo así la carga para que puedan, en cambio, seguir en circuito los servicios vitales por él alimentados y sin que salte el disyuntor de protección; selectividad en el funcionamiento de las seguridades en caso de cortocircuito, con el mismo fin de que sólo salte la que protege al ramal averiado, a pesar de que las que le preceden desde el cuadro de alimentación hayan de ser recorridas también por la corriente del corto; selectividad de la índole de la sobrecarga, para que el disyuntor no se abra cuando se trate solamente de sobrecargas intensas, pero momentáneas.

Un sistema de protección muy recomendable en las instalaciones alternativas de a bordo puede obtenerse a base del tipo de distribución indicado esquemáticamente en la figura 7, que se refiere a un sistema por alimentaciones independientes.

Del cuadro alimentado por el generador $G$ salen distintas clases de feeders, según sean los servicios que haya de alimentar.

Los servicios de fuerza se alimentan por feeders del tipo 1, protegidos por disyuntores $I_1$ provistos de su correspondiente relé $R_1$, de tal manera que la protección obtenida sea tanto para sobrecarga como para cortocircuito. Los feeders tipo 1 alimentan a aparatos de arranque $A_1$ dispuestos agrupados, generalmente, en forma de cubículos, que maniobran diversos motores $M_1$. La protección contra sobrecargas de estos últimos y de sus aparatos de arranque se asegura por medio de contactores dispuestos en ellos, accionados por relés $R_{t1}$, los cuales, en cambio, no son capaces de romper un cortocircuito, so pena de aumentar desmesuradamente el tamaño y el precio de los aparatos de arranque. Por ello, se encomienda la protección contra éstos a fusibles calibrados $F_1$, capaces de resistir las puntas de corriente, pero dimensionados de tal manera que limitan la corriente de cortocircuito y con poder de ruptura suficiente para interrumpirlo. La agrupación de los motores a alimentar por cada feeder debe elegirse conjugando de tal modo las potencias de estos últimos y su factor de carga, que las dimensiones del feeder y del disyuntor $I_1$ encargado de protegerlo contra sobrecargas resulten al mismo tiempo suficientes, dentro de las proporciones normales en función de su potencia nominal, para ofrecer el poder de ruptura necesario al cortocircuito en el sitio de su emplazamiento.

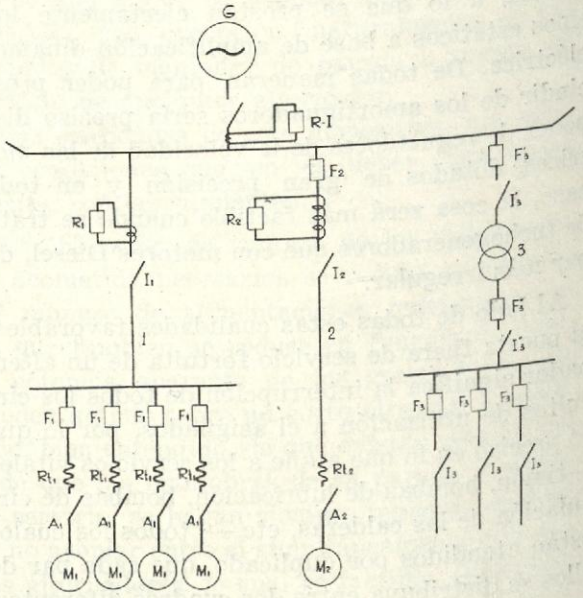



Fig. 7

Ocurre a veces, sin embargo, que los Reglamentos, por razones de garantía de continuidad en su alimentación, imponen que los motores de algunos servicios vitales se deriven directamente de las barras del cuadro principal, como se indica en la figura para el motor $M_2$. En este caso, el disyuntor $I_2$, que protege a su feeder 2 contra sobrecargas, si lo ha de hacer también contra cortocircuitos, resultará en general de un tamaño totalmente desproporcionado para su potencia nominal, así como la sección del feeder, y puede haber ventaja en buscar la protección contra el corto mediante la intercalación del fusible $F_2$ de poder de ruptura adecuado, y calibrado para resistir con holgura las puntas de corriente. La protección del motor contra sobrecargas se hará como antes, a base de contactor y relé.

Para los circuitos de alumbrado y similares, desprovistos de puntas de corriente y alimentados a través de transformadores reductores de tensión, puede seguirse el mismo sistema de protección que en corriente continua, a base de fusibles, como se ve en 3 en la figura, con los correspondientes interruptores $I'_3$ „ $I''_3$ „ $I_3$ que también se indican.

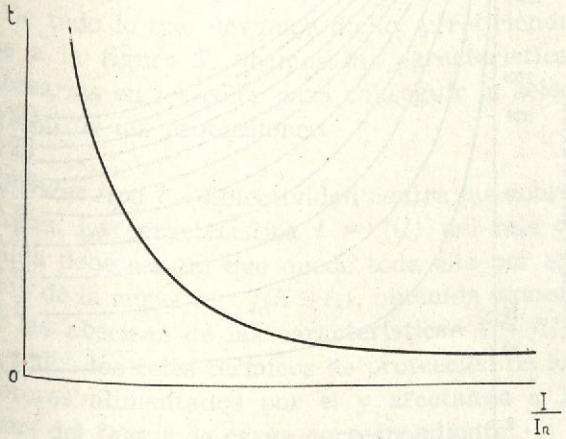



Fig. 8

*Relés.*—Los disyuntores de salida del cuadro principal protegen los feeders correspondientes mediante relés de máxima, y, como hemos dicho, tanto contra las sobrecargas como contra los cortos. Aunque la mejor protección contra las primeras se obtiene a base de relés magnetotérmicos, que, como es sabido, tienen en cuenta directamente la propia temperatura del elemento protegido, en este caso en que, dada la longitud del feeder, es difícil reproducir su imagen térmica, se prefiere la utilización de *relés electromagnéticos de tiempo inverso a la sobrecarga,* cuya característica $I = f(t)$ es de la forma indicada en la figura 8, en la que el eje de abscisas graduado en sobrecargas, es decir, en valores de la relación $I/I_n$ de la intensidad de la sobrecarga a la intensidad nominal. De esta manera, según sea aquélla así será automáticamente la temporización del relé, debiéndose ajustar este último de acuerdo con la carga nominal del feeder; en caso de cortocircuito en éste, el funcionamiento del relé es instantáneo en la medida que el tiempo muerto de su constante de tiempo—0,02 a 0,03 segundos—impone.

En las distribuciones de a bordo, que suelen ser siempre con punto neutro aislado, se disponen dos relés por disyuntor, excitados por sus correspondientes transformadores de intensidad, y cuando, en su funcionamiento, cierran los contactos de sus circuitos, éstos ponen en corto la bobina de disparo del disyuntor. La excitación de esta última puede ser a base de corriente alternativa, con los inconvenientes de menor fuerza portante y funcionamiento ruidoso, o, lo que es preferible, con corriente continua, que es posible obtener a base de rectificadores secos, si se prefiere evitar el empleo de baterías de acumuladores.

Los relés $R_{t1}$ (fig. 7) de los contactores de acometida de los motores, por el contrario, es ventajoso que sean de tipo magnetotérmico, que permite proteger el circuito de acuerdo con el calentamiento real del motor, cuya imagen térmica se reproduce en las celdas de aquellos relés, que deberán ser siempre trifásicos. Al cerrarse los contactos del circuito del relé y, como siempre, se provoca el corto de la bobina del contactor que, por tanto, se dispara. La característica en función del tiempo de un relé térmico, de forma análoga a la del electromagnético, presenta sobre ella la diferencia de no ser única, pues depende de dos parámetros, que son: la temperatura alcanzada por el elemento

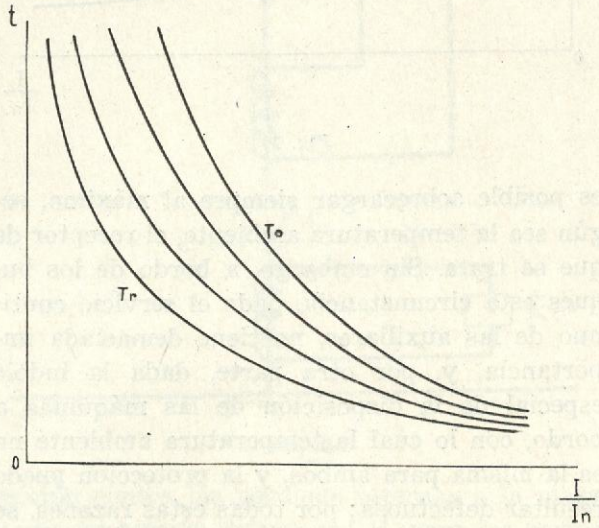



Fig. 9

termostático, según el tiempo que lleva en funcionamiento y la temperatura del ambiente. En lo que concierne al primero, y para una temperatura ambiente constante, la característica está constituída por una familia de curvas (figura 9), de parámetro $T$, tiempo de funcionamiento, correspondiendo la $T_o$ al caso de iniciarse aquél y la $T_r$ cuando el tiempo transcu-

rrido es igual o mayor que el necesario para llegar a la temperatura de régimen normal del elemento; siempre, para ajustar el relé, debe partirse de esta última curva. En lo que se refiere a la temperatura del ambiente, y suponiendo que se parte ya de la temperatura a régimen normal del elemento sensible, se obtiene también otra familia de curvas, limitadas, suponiendo que $T_1$ y $T_2$ sea, respectivamente, las temperaturas ambientes mínima y máxima que puedan registrarse por las curvas homólogas de la figura 10, que, como es natural, demuestran que la temporización para una determinada sobrecarga es tanto mayor cuanto más baja sea la temperatura ambiente, con lo cual

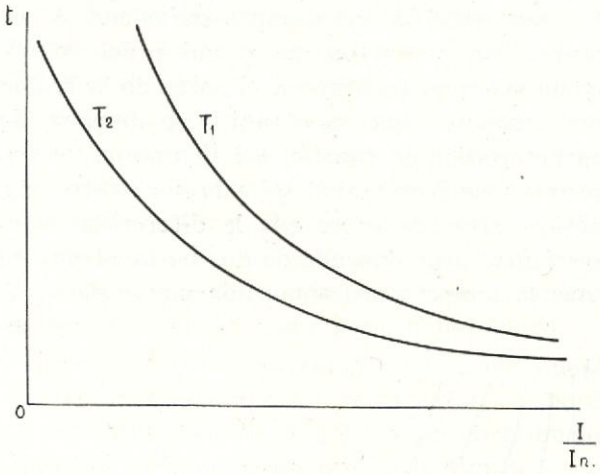



Fig. 10

es posible sobrecargar siempre al máximo, según sea la temperatura ambiente, el receptor de que se trate. Sin embargo, a bordo de los buques esta circunstancia, dado el servicio continuo de las auxiliares, no tiene demasiada importancia, y, por otra parte, dada la índole especial de la disposición de las máquinas a bordo, con lo cual la temperatura ambiente no es la misma para ambos, y la protección puede resultar defectuosa; por todas estas razones, se prefiere a menudo *compensar* los relés térmicos, independizándolos de la temperatura ambiente.

*Fusibles.*—Como es sabido, las características de los fusibles vienen definidas por las curvas de fusión $I = f(t)$ de la corriente que produce su fusión en función del tiempo en que la lleva a cabo, viéndose en la figura 11 una familia de estas curvas cuyo parámetro es la intensidad nominal del fusible; contra la falta de sensibilidad del fusible—muy inferior a la de los disyuntores—aquéllos presentan dos ventajas muy valiosas, que son: gran poder de ruptura comparado con sus dimensiones y gran

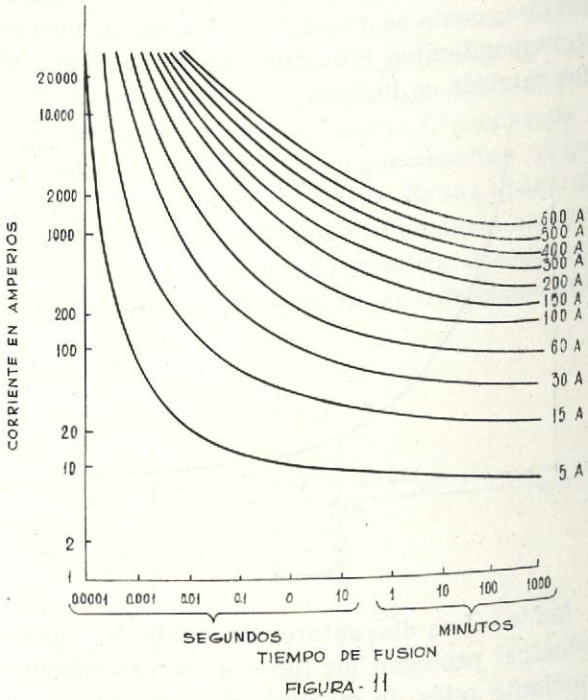



Fig. 11

rapidez de fusión y de interrupción del circuito, por tanto; de tal manera, que al sobrevenir un corto, mucho antes de que la corriente en el período subtransitorio llegue a su valor máximo, ya el fusible se funde, cebándose el arco, con lo que se limita grandemente la intensidad

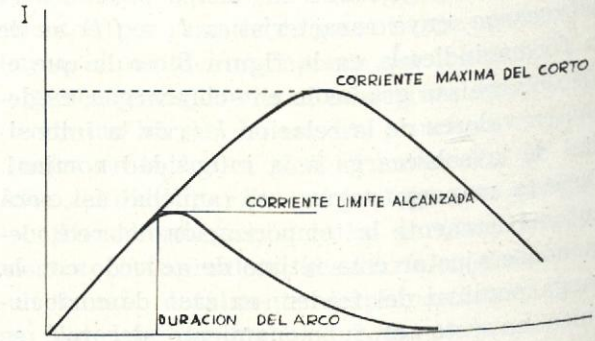



Fig. 12

de cortocircuito alcanzada, tal como se indica en la figura 12, proporcionando, pues, una protección verdaderamente efectiva.

Como demuestran las curvas de fusión de la figura 11, el fusible constituye una seguridad

de tiempo inverso a la sobrecarga, que permite, además, calibrando adecuadamente las protecciones de las distintas ramas, obtener automáticamente la selectividad necesaria.

*Selectividad de las protecciones.*

De todo lo que llevamos dicho, y refiriéndonos a la figura 7, veamos las características necesarias en los relés para conseguir la selectividad de las protecciones.

*Feeder tipo 1.*—Selectividad contra las sobrecargas. La característica $t = f(I)$ del relé de salida debe ser tal que quede toda ella por encima de la curva $t = f(K \Sigma I_t)$, obtenida sumando las abscisas de las características $t = f(I_t)$ de todos los relés térmicos de protección de los motores alimentados por él y afectando a la suma del factor de carga correspondiente.

*Selectividad contra cortocircuito.*—La rapidez de fusión del fusible $F_1$, mucho mayor que la de funcionamiento del disyuntor $I_1$, asegura la debida selectividad de esta protección.

*Feeder tipo 2.*—En lo que afecta a las sobrecargas, es de aplicación lo que hemos dicho en el caso anterior, y en cuanto al cortocircuito, hay que asegurarse de que la rapidez de fusión del fusible $F_2$, comparada con las características de los relés $R_2$ y $R_{t2}$, asegura la protección del disyuntor $I_2$ y del contactor $A_2$.

*Feeder tipo 3.*—A la vista de las curvas de fusión de los distintos calibres de fusibles conectados en serie, de capacidades decrecientes, se comprueba la selectividad del sistema.

*Protección de los generadores.*

En primer lugar, cada alternador se protege con el disyuntor de acometida al cuadro provisto de un relé de máxima $R - I$ (fig. 7), de tiempo inverso a la sobrecarga, el cual generalmente se elige de tipo electromagnético y cuya característica $t = f(I)$ debe quedar por encima que la $t = f(K \Sigma I_f)$, que corresponde al conjunto de los relés de los feeders que salen del cuadro.

Aparte de esto, hay que proveer un relé vatimétrico de inversión de potencia para los momentos de la maniobra de sustitución de los alternadores.

Con estos dispositivos quedan sin protección interna el generador y su acometida al cuadro, lo cual se admite a menudo; pero, caso de desearla, se puede disponer un relé $R$ sensible a la componente homopolar (fig. 13) para pro-

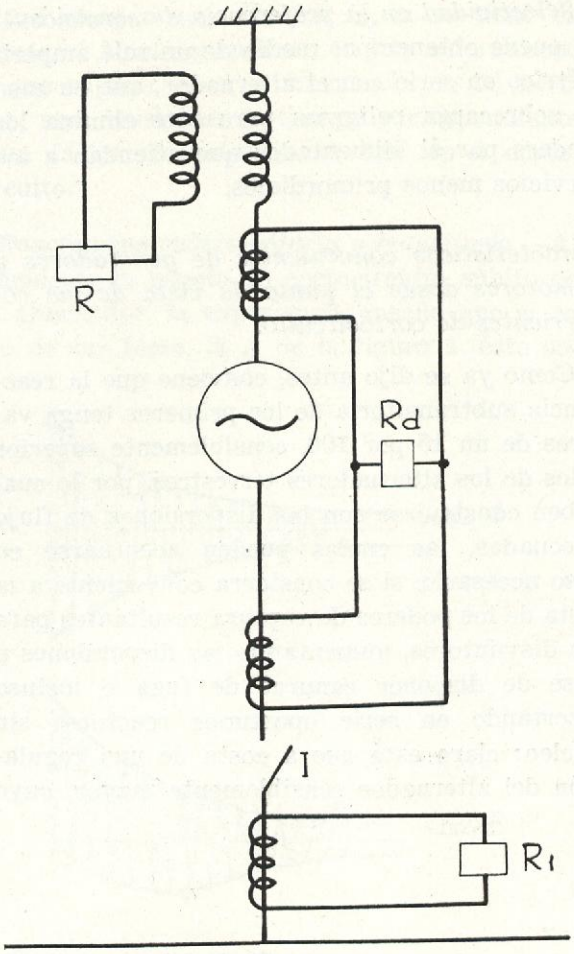



Fig. 13

tección contra las pérdidas internas a la masa y una protección diferencial $R_d$ para los cortos internos que, aparte de abrir el disyuntor de acometida $I$, provoque el corto del campo inductor para desexcitar el alternador.

*Protección de los motores.*—Aunque sus relés térmicos de protección sirven también para los calentamientos debidos al funcionamiento de un motor con una fase interrumpida, sin embargo la imagen térmica no tiene en cuenta el debido a la componente simétrica inversa; es decir, el

producido por el flujo giratorio, componente del único alternativo existente en el entrehierro, de velocidad contraria a la de giro del motor, por lo cual éste puede alcanzar temperaturas peligrosas sin que el relé funcione. Se puede evitar esto, aunque a costa de hacer accesibles los seis bornes del estator, intercalando los relés térmicos entre los terminales de cada una de las fases.

*Selectividad en la preferencia de servicios.*— Se puede obtener por medio de un relé amperimétrico en serie con el alternador, que en caso de sobrecarga peligrosa para éste elimina los feeders por él alimentados que atiendan a los servicios menos primordiales.

*Características convenientes de generadores y motores desde el punto de vista de las corrientes de cortocircuito.*

Como ya se dijo antes, conviene que la reactancia subtransitoria de los primeros tenga valores de un 15 por 100, sensiblemente superior a los de los alternadores terrestres, por lo cual deben construirse con las dispersiones de flujo adecuadas, las cuales pueden acentuarse en caso necesario, si se considera conveniente a la vista de los poderes de ruptura resultantes para los disyuntores, aumentando las dispersiones a base de disponer ranuras de fuga o incluso insertando en serie oportunos reactores sin núcleo; claro está que a costa de una regulación del alternador sensiblemente mayor, cuyo efecto sea capaz de vencer debidamente el regulador de tensión, que debe ofrecer la mayor sensibilidad correspondiente.

En lo que concierne a los motores cuya reactancia subtransitoria es función de la corriente de arranque, como dijimos, se ve la conveniencia de adoptar para su rotor el sistema de doble jaula o el de ranuras profundas para conseguir mayor efecto Kelvin, lo cual, por otra parte, y solamente a costa de ligeros decrecimientos del par de desenganche y del factor de potencia en plena carga resulta también muy aconsejable desde el punto de vista de la disminución de las puntas de corriente en el arranque.

BIBLIOGRAFIA

González-Llanos: "Curso de Máquinas Eléctricas", tomos I, II y III.

A. Mauduit: "Installations Electriques a Haute et Basse Tension. Production, transport et distribution de l'énergie électrique".

W. A. Coates and H. Pearce: "The Switchgear Handbook", vols. I y II.

Liwschitz-Garik: "Electric Machinery", tomos I y II.

Trencham: "Circuit Breaking".

R. Courault: "Distribution de Courant Alternatif a Bord des Navires Marchands". *A. T. M. A.*, 1954.

L. Carpentier: "La Régulation de Tension des Alternateurs a Bord des Navires". *A. T. M. A.*, 1954.

Maupas y Guérinet: "Les Courants de Court-Circuit dans les Installations électriques de Bord a Courant Alternatif". *A. T. M. A.*, 1954.

# APENDICE NUMERO I

Recordaremos en esta ocasión la ley que rige el valor de la corriente en función del tiempo, durante su período variable de establecimiento, por una parte, y además insistiremos también algo sobre el concepto de las reactancias subtransitoria y transitoria en las máquinas síncronas.

*Régimen transitorio de una corriente alternativa.*—Suponiendo el caso de un circuito monofásico inductivo en el que actúa una f. e. m. $e = E_o \text{ sen } \omega t$ de pulsación $\omega$, tendremos, aplicando la ley de Ohm,

$$i = \frac{e + \varepsilon}{r} = \frac{e - L\dfrac{di}{dt}}{r}$$

y

$$L\frac{di}{dt} + ri = e$$

Si ahora tomamos como origen de los tiem-

pos el momento de cierre del interruptor, es decir, el de establecimiento de la corriente, y suponemos que esto ocurra un tiempo $t_o$ después de que $e$ se ha hecho nulo, su valor instantáneo será

$$e = E_o \text{ sen } \omega (t + t_o) = E_o \text{ sen } \alpha$$

llamando $\alpha$ el ángulo eléctrico correspondiente, con lo cual

$$L \frac{di}{dt} + r i = E_o \text{ sen } \alpha$$

La integración en esta ecuación nos da, como sabemos,

$$i = A e^{-\frac{r}{L} t} + B \text{ sen } \alpha + C \cos \alpha = A e^{-\frac{r}{L} t} + \frac{E_o}{Z} \text{ sen } (\alpha - \varphi) \qquad [1]$$

donde

$$Z = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2} \quad , \quad \text{tg } \varphi = \frac{\omega L}{r} \quad \text{y} \quad \alpha = \omega (t_o + t)$$

que nos demuestra que el régimen transitorio, hasta el establecimiento del permanente, en el que:

$$i_p = \frac{E_o}{Z} \text{ sen } (\alpha - \varphi)$$

depende del término exponencial

$$i_t = A e^{-\frac{r}{L} t}$$

que teóricamente no se anula jamás, pero que en la práctica se hace rápidamente despreciable, y tanto más cuanto menor sea la constante de tiempo del circuito. En el período transitorio, sin embargo, la corriente

$$i = i_t + i_p$$

resulta de superponer a la de régimen permanente $i_p$ la corriente unidireccional $i_t$, cuyo valor inicial se deduce haciendo $t = 0$ , $i = 0$ en la expresión [1], con lo cual,

$$O = A + \frac{E_o}{Z} \text{ sen } (\alpha - \varphi)$$

de donde,

$$i_t = \frac{E_o}{Z} \text{ sen } (\alpha - \varphi) = - i_p$$

Suponiendo ahora el caso de un cortocircuito en el momento en que $\alpha = 0°$ y con $\varphi = 90°$, siendo, por tanto, $i_p = I_m$, a esta amplitud de la corriente de régimen se le suma en la alternancia siguiente—en que $i_p$ cambia de signo mientras que $i_t$ conserva el mismo sentido y el mismo valor, si se desprecia el amortiguamiento—otra magnitud igual a ella; es decir, que la corriente alcanza una amplitud doble de la del régimen permanente. En la práctica esta amplitud viene a ser sólo 1,8 $I_m$, si se tiene en cuenta el amortiguamiento en una alternancia, lo que supone, para la frecuencia de 50 hertzios, una constante de tiempo correspondiente a un factor de potencia de 0,07 en el cortocircuito.

*Reactancias subtransitoria y transitoria.*—Al considerar la puesta en cortocircuito súbito de un alternador, la experiencia enseña que si en una de sus fases, la $A$ de la figura 1, éste so-

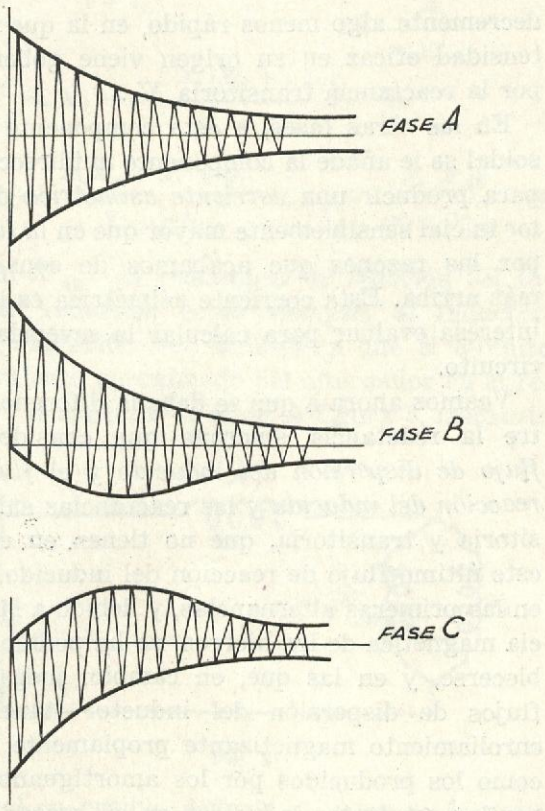



Fig. 1

breviene en el momento de ser máxima la f. e. m. debida al inductor, y nula, por tanto, la corriente, esta última en el régimen transitorio afecta la forma sinusoidal y su amplitud, máxima en la primera alternancia, decrece des-

pués logarítmicamente, hasta llegar al régimen permanente, en que su valor eficaz viene determinado por la relación $E_0/X_s$ de la f. e. m. a vacío a la reactancia síncrona. En el período transitorio existen dos etapas: la primera, en que el decremento es brusco y cuya intensidad eficaz inicial viene definida por la reactancia subtransitoria $X''_s$ (fig. 2), seguida de otra de

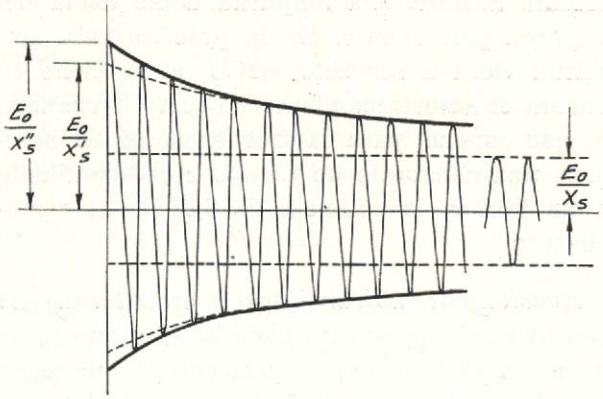



Fig. 2

decremento algo menos rápido, en la que la intensidad eficaz en su origen viene gobernada por la reactancia transitoria $X'_s$.

En las otras fases, a esta componente sinusoidal se le añade la componente unidireccional, para producir una *corriente asimétrica* de valor inicial sensiblemente mayor que en la fase $A$, por las razones que acabamos de considerar más arriba. Esta corriente asimétrica es la que interesa evaluar para calcular la severidad del circuito.

Veamos ahora a qué se debe la diferencia entre la reactancia síncrona que considera el *flujo de dispersión del inducido* y el *flujo de reacción del inducido* y las reactancias subtransitoria y transitoria, que no tienen en cuenta este último flujo de reacción del inducido, pues en las primeras alternancias, y debido a la inercia magnética de los hierros, no ha podido establecerse, y en las que, en cambio, juegan los flujos de dispersión del inductor—tanto del enrollamiento magnetizante propiamente dicho como los producidos por los amortiguadores y por las corrientes inducidas en las masas polares—, los cuales, a régimen permanente, eran inoperantes, e independiente de ellos, por tanto, la reactancia síncrona.

Para esto consideraremos, en primer lugar, que se trata de un alternador no saturado y de entrehierro constante, y supongamos que estando en corto su inducido, el inductor gira sin excitación, pero que lo excitamos repentinamente en el momento en que una de las fases de la armadura—la $A$, por ejemplo—no esté atravesada por ningún flujo del inductor, es decir, en el momento en que la f. e. m. debida a éste sea máxima, con lo cual, y admitiendo que la resistencia de la fase sea nula, la corriente en ella será igualmente cero. En estas condiciones, el flujo a través del circuito inductor será:

$$\nu\Phi = \Phi + (\nu - 1)\,\Phi = I_{ex}\,(L_i + L_{fi}) =$$

$$= L_i\,(1 + \sigma_i)\,I_{ex}$$

$$\text{con} \quad \sigma_i = \nu - 1 = \frac{L_{fi}}{L_i}$$

donde $L_i$ y $L_{fi}$ son los coeficientes de autoinducción que corresponden al flujo útil del inductor y a su flujo de dispersión. En la hipótesis sentada de ser nulas las resistencias de todos los circuitos, el teorema de Doherty nos dice que el flujo a través del inductor ha de ser siempre el mismo e igual a $L_i(1 + \sigma_i)I_{ex}$, cualquiera que sea después la posición relativa del inducido y del inductor a consecuencia del movimiento de este último; e igualmente que el flujo a través de la fase $A$ debe permaner nulo, al variar la corriente que la atraviesa con el movimiento del rotor.

Si consideramos ahora el instante $t$, en que el inductor ha girado el ángulo eléctrico $\alpha$, el flujo del inductor a través de la fase $A$, ya no es máximo, y la corriente en ella tendrá un cierto valor $i_a$, que dará lugar al correspondiente *flujo de reacción del inducido* y también al correspondiente flujo de dispersión. Reduciendo el número de vueltas de la fase $A$ a las del inductor, tendremos que el flujo a través de la armadura, debido a la corriente que la atraviesa, será

$$L_a\,i_a + L_f\,i_a = i_a\,L_a\left(1 + \frac{L_f}{L_a}\right) =$$

$$= i_a\,L_a\,(1 + \sigma_a) = i'_a\,L_i(1 + \sigma_a)$$

ya que en la hipótesis sentada,

$$L_a = L_i \qquad \text{siendo } \sigma_a = \frac{L_{sf}}{L_a} = \frac{X_f}{\omega L_a} = \frac{X_f}{X_{AR}}$$

donde $X_f$ y $X_{AR}$ son las reactancias de dispersión y de reacción del inducido, respectivamente.

El flujo a través del inductor, que debe conservarse constante, viene ahora influenciado por el flujo de reacción del inducido $i_a L_i$ sen $\alpha$, por lo cual a la corriente $I_{ex}$ de excitación se superpondrá una componente transitoria $i_{ex}$, tal que

$$I_{ex} L_i (1 + \sigma_i) + i_{ex} L_i (1 + \sigma_i) + i'_a L_i \operatorname{sen} \alpha = I_{ex} L_i (1 + \sigma_i) \quad [1]$$

El flujo total a través de la fase que, según lo dicho, debe conservarse nulo, será, pues,

$$i'_a L_i (1 + \sigma_a) + L_i (I_{ex} + i_{ex}) \operatorname{sen} \alpha = 0 \quad [2]$$

De estas dos ecuaciones se deduce:

$$i'_a = I_{ex} \frac{(1 + \sigma_i) \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen}^2 \alpha - (1 + \sigma_a)(1 + \sigma_i)} \quad [3]$$

$$i_{ex} = - I_{ex} \frac{\operatorname{sen}^2 \alpha}{\operatorname{sen}^2 \alpha - (1 + \sigma_a)(1 + \sigma_i)} \quad [4]$$

que nos dan los valores de la corriente en la fase—reducida al inductor—en el período de transición y la componente transitoria de la corriente en el inductor.

Como se ve, $i'_a$ sólo depende de los flujos de dispersión del inducido y del inductor (de la proporción de éstos definida por $\sigma_a$ y $\sigma_i$), pero es independiente de la reacción del inducido $L_i i'_a$, que no ha tenido tiempo de establecerse. Su valor máximo corresponde al momento $\alpha = \pi/2$, ó sea un cuarto de período después del corto, y viene dado por

$$I_{a\,max} = I_{ex} \frac{(1 + \sigma_i)}{1 - (1 + \sigma_a)(1 + \sigma_i)} = - I_{ex} \frac{1 + \sigma_i}{\sigma_a + (1 + \sigma_a)\sigma_i}$$

Mientras que la corriente $i'_a$ de la armadura es una corriente sinusoidal alternativa, la corriente transitoria $i_{ex}$ de la excitación es unidireccional y su papel es el de ayudar a la corriente continua $I_{ex}$ para conservar constante en todo momento el flujo a través del inductor, a pesar del efecto de la reacción del inducido.

Multiplicando los dos términos de la fracción del segundo miembro por $\omega L_i$ y teniendo en cuenta que $\omega L_i \sigma_a = X'_f$ y que $\omega L_i \sigma_i = X_i$ designando por $X_i$ la *reactancia de dispersión del inductor* y por $X'_f$ la del inducido, referida al inductor, se tiene:

$$I_{a\,max} = - I_{ex} \omega L_i \frac{1 + \sigma_i}{X'_f + (1 + \sigma_a) X_i} = E'_{o\,max} \frac{1 + \sigma_i}{X'_f + (1 + \sigma_a) X_i} \quad [5]$$

siendo $E'_{o\,max}$ la amplitud de la f. e. m. a vacío, reducida al inductor, ya que $-\omega L_i I_{ex}$ no es otra cosa que la variación máxima del flujo útil del inductor a través de la fase.

De la ecuación [5] puede escribirse:

$$|I'_a| = \frac{|E'_o|}{Z} = \frac{|E'_o|}{X'_s}$$

siendo $X'_s$ la *reactancia transitoria*—también reducida al inductor—, cuyo valor resulta así:

$$X'_s = \frac{X'_f + (1 + \sigma_a) X_i}{1 + \sigma_i} = \frac{X'_f + \left(1 + \dfrac{X'_f}{\omega L_i}\right) X_i}{1 + \dfrac{X_i}{\omega L_i}} \approx X'_f + \frac{X_i (X'_f + \omega L_i)}{X_i + \omega L_i} =$$

$$= X'_f + \frac{X_i X'_f + X_i \omega L_i}{X_i + \omega L_i} \approx X'_f + \frac{X_i X'_{AR}}{X_i + X'_{AR}} \quad [6]$$

siendo $X'_{AR}$ la *reactancia de reacción del inducido* reducida, como siempre, al inductor. Esta expresión nos demuestra que el circuito equivalente aproximado del alternador en el régimen transitorio es el de la figura 3, mediante

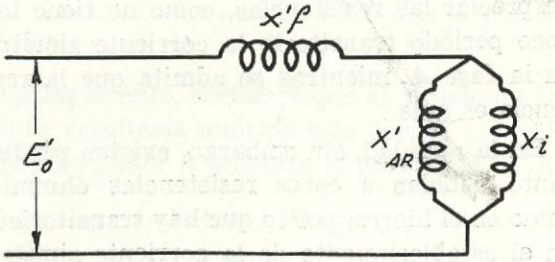



Fig. 3

el cual es posible deducir el valor de la reactancia transitoria $X'_s$.

Ahora bien; en todo lo anterior hemos considerado únicamente el flujo de dispersión del inductor debido a su devanado magnetizante; pero en el régimen transitorio no es este último lo único que está atravesado por corrientes in-

ducidas, sino que también se originan éstas en los amortiguadores y en los hierros del inductor, y habrá, pues, que tener en cuenta también los flujos de dispersión a ellas debidos, que darán así lugar a otra *reactancia de dispersión del inductor* $X'_i$, que hace que el circuito equivalente aproximado se transforme en el de la figura 4, que nos demuestra que la reactan-

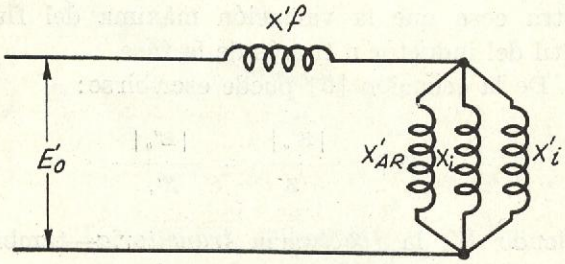



Fig. 4

cia $X''_s$ en este régimen transitorio es menor que la $X'_s$, siendo, por consiguiente, mayor la corriente de cortocircuito; esta reactancia $X''_s$ es precisamente la que hemos llamado *reactancia subtransitoria,* y tiene en cuenta el efecto de los amortiguadores y de los hierros del inductor.

Si consideramos las otras fases, la corriente, como ya dijimos, será doble de la simétrica en la fase *A,* como resulta de la superposición en ellas a una corriente alterna igual a la de *A,* de la corriente unidireccional que se origina en el período transitorio de su establecimiento. Este período de establecimiento, por otra parte, no resulta transitorio en la hipótesis supuesta de despreciar las resistencias, como no tiene tampoco período transitorio la corriente simétrica en la fase *A,* mientras se admita que la resistencia es nula.

En la realidad, sin embargo, existen pérdidas tanto debidas a estas resistencias óhmmicas como en el hierro, por lo que hay transitoriedad en el establecimiento de la corriente simétrica de todas las fases, y también en las unidireccionales en las fases *B* y *C,* con lo cual el teotema de Doherty no es cierto y las corrientes permanentes de las tres fases, regidas entonces por la reactancia síncrona, se establecen en la forma de la figura 1, dando lugar a la apreciación de tres etapas en la variación de la reactancia del alternador: la primera se inicia con la reactancia subtransitoria, que aumenta rápidamente y que produce, por tanto, un decremento exponencial acusado, a causa de la pequeñez relativa de la constante de tiempo de los amortiguadores y de los hierros, comparada con la del devanado inductor, cuya reactancia de dispersión se dejará, pues, sentir todavía, una vez anulado el efecto de aquéllos, durante la segunda etapa en que actúa sólo la reactancia transitoria, aunque ya aumentada, pues realmente ha habido también pérdida de energía en el devanado del inductor durante la etapa subtransitoria; el efecto de la reactancia de dispersión del devanado inductor continúa así amortiguándose al menor ritmo consiguiente a su mayor constante de tiempo, hasta que por fin se anula también y queda sólo actuando en la derivación del circuito equivalente, la reactancia de reacción del inducido, en serie con la de dispersión de éste, o sea, queda sólo actuando la reactancia síncrona, alcanzándose así el régimen permanente de cortocircuito. En definitiva, y como corresponde a la naturaleza física de los fenómenos, los períodos transitorios se caracterizan por la actuación de las reactancias de dispersión de ambos órganos de la máquina; la de dispersión del inducido, que actúa siempre, y la de dispersión del inductor, que sólo lo hace transitoriamente *shuntando* la de reacción del inducido, y como es mucho menor que ésta, la corriente transitoria es mucho mayor que la de régimen.

*Caso de un alternador de polos salientes.*—La reactancia transitoria es *reactancia directa,* ya que hemos considerado el caso de un inductor liso; pero si éste fuese de polos salientes, habría que considerar también la *reactancia transitoria transversal.* Sin embargo, de poderse despreciar la resistencia del corto ante su reactancia, sólo habría que considerar la directa, puesto que la corriente está en cuadratura y toda la reacción del inducido resulta directa; pero en caso contrario de que la resistencia sea sensible, entonces se puede estudiar el régimen transitorio, como el permanente, a base de dos reactancias transitorias, una directa y la otra transversal, obteniéndose para esta última el circuito equivalente aproximado de la figura 5, igual al de régimen permanente, ya que ahora no actúa el flujo de dispersión del inductor, cuya dirección es normal a la del circuito transversal.

*Determinación experimental de las reactancias subtransitorias directa y transversal.* — Es posible determinar de una manera aproximada estas dos magnitudes por medio de dos ensayos con el rotor trincado.

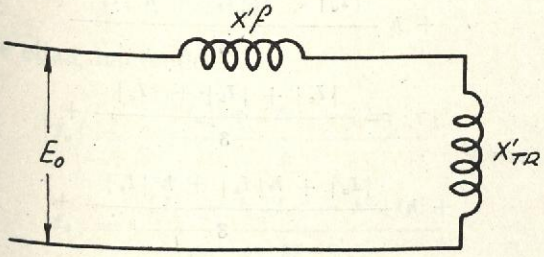



Fig. 5

En ambos, con el devanado del inductor en cortocircuito, se aplica una tensión de la frecuencia de régimen a dos de los tres terminales de las fases del inducido, que se suponen, como es normal, montadas en $Y$. El primer ensayo consiste en buscar la posición del rotor para la cual la corriente inducida en el inductor es nula, lo que demuestra que el circuito magnético en que actúa la f. m. m. creada por la corriente de las dos fases es el circuito transversal, es decir, que la única reactancia que se opone al paso de esta corriente será la reactancia transversal subtransitoria $X''_T$, la cual será la mitad del cociente de la indicación del voltímetro que mide la tensión aplicada y de la del amperímetro que mide la corriente.

El segundo ensayo consiste en buscar la posición del rotor, para la cual la corriente inducida en el inductor es máxima, que será la correspondiente al circuito magnético directo y que estará así a 90° eléctricos de la anterior, obteniéndose la reactancia subtransitoria directa $X''_D$ dividiendo, como antes, la indicación del voltímetro por la del amperímetro.

# APENDICE NUMERO II

*Método de las componentes simétricas.*

Supongamos que las tensiones de alimentación constituyen el sistema equilibrado de la figura 1, en el cual se toma como origen de las fases la de $E_a$, siendo, pues, la sucesión de las fases en el sentido positivo trigonométrico: $E_a$ ,, $E_c$ ,, $E_b$ , o sea, que el de sucesión de valores iguales a partir de $E_a$ será:

$$E_a \quad ,, \quad E_b \quad \text{y} \quad E_c$$

Si ahora consideramos un vector unidad en fase con el origen elegido, su expresión simbólica será:

$$|1| = \cos O + j \operatorname{sen} O = 1$$

Si, por el contrario, suponemos que su fase avanza un ángulo $2\pi/3$, su valor simbólico, que representaremos por $h$, será:

$$h = \cos \frac{2\pi}{3} + j \operatorname{sen} \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

es decir, que para hacer avanzar al primero en ángulo de 120°, bastará multiplicarlo por $h$.

De la misma manera, para avanzarlo un ángulo de 240° sería preciso multiplicarlo por

$$\cos \frac{4\pi}{3} + j \operatorname{sen} \frac{4\pi}{3} = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

o sea, por $h^2$, ya que

$$h = \frac{1}{4} - \frac{3}{4} - j \frac{\sqrt{3}}{2} = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Análogamente, veríamos que al girarlo un ángulo $2\pi$ resultaría multiplicado por $h^3$.

Este *operador* $h$ presenta la propiedad de que

$$1 + h + h^2 = 0$$

como se deduce de las igualdades anteriores.

Igualmente podría verse que:

$$h^4 = h^2 \times h \qquad h^2 = \frac{h^3}{h} = \frac{1}{h}$$

etcétera, indicándose en la figura 2 los exponentes del operador que corresponden a los ángulos de giro del vector unidad que en ella se indican.

Considerando de nuevo el sistema de tensiones equilibrado antes indicado, se podrá escribir:

$$|E_a| = E_a$$

$$|E_b| = h^2 E_a$$

$$|E_c| = h E_a$$

y

$$|E_a| + |E_b| + |E_c| = E_a(1 + h^2 + h) = 0$$

Si llamamos $|I_a|$ ,, $|I_b|$ ,, $|I_c|$ las corrientes en las fases respectivas y suponemos que las impedancias de éstas, por tratarse de un corto

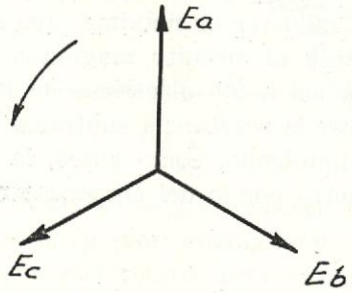



Fig. 1

desimétrico, o en general de cargas desequilibradas, no son las mismas, el sistema de co-

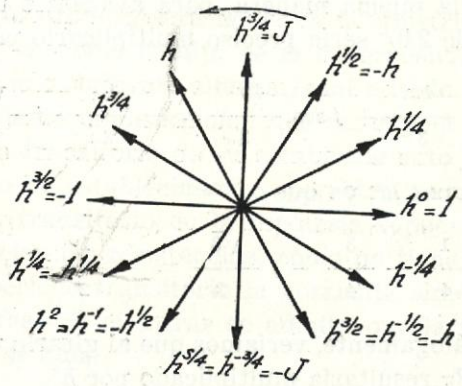



Fig. 2

rrientes será un sistema desequilibrado cualquiera, que supondremos sea el de la figura 3. Escribamos

$$|\alpha| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3} + \frac{|I_a| + h|I_b| + h^2|I_c|}{3} + \frac{|I_a| + h^2|I_b| + h|I_c|}{3}$$

$$|\beta| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3} + h^2\frac{|I_a| + h|I_b| + h^2|I_c|}{3} + h\frac{|I_a| + h^2|I_b| + h|I_c|}{3}$$

$$|\gamma| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3} + h\frac{|I_a| + h|I_b| + h^2|I_c|}{3} + h^2\frac{|I_a| + h^2|I_b| + h|I_c|}{3}$$

hagamos las operaciones indicadas, teniendo en

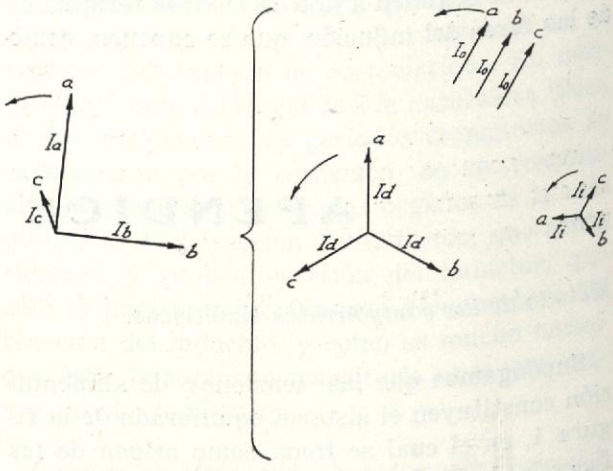



Fig. 3

cuenta la propiedad $1 + h + h^2 = 0$, y obtendremos las tres identidades siguientes:

$$|\alpha| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3} + \frac{|I_a| + h|I_b| + h^2|I_c|}{3} + \frac{|I_a| + h^2|I_b| + h|I_c|}{3} = |I_a|$$

$$|\beta| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3} + h^2\frac{|I_a| + h|I_b| + h^2|I_c|}{3} + h\frac{|I_a| + h^2|I_b| + h|I_c|}{3} = |I_b|$$

$$|\gamma| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3} +$$

$$+ h \frac{|I_a| + h\,|I_b| + h^2\,|I_c|}{3} +$$

$$+ h^2 \frac{|I_a| + h^2\,|I_b| + h\,|I_c|}{3} = |I_c|$$

De ellas, haciendo

$$|I_o| = \frac{|I_a| + |I_b| + |I_c|}{3}$$

$$|I_d| = \frac{|I_a| + h\,|I_b| + h^2\,|I_c|}{3}$$

$$|I_i| = \frac{|I_a| + h^2\,|I_b| + h\,|I_c|}{3} \qquad [2]$$

se deduce:

$$|I_a| = |I_o| + |I_d| + |I_i|$$

$$|I_b| = |I_o| + h^2\,|I_d| + h\,|I_i|$$

$$|I_c| = |I_o| + h\,|I_d| + h^2\,|I_i| \qquad [3]$$

Este grupo de ecuaciones nos enseña que el sistema desequilibrado en cuestión es equivalente a los tres sistemas siguientes:

| | FASE A | FASE B | FASE C |
|---|---|---|---|
| 1.º | $\|I_o\|$ | $\|I_o\|$ | $\|I_o\|$ |
| 2.º | $\|I_d\|$ | $h^2\,\|I_d\|$ | $h\,\|I_d\|$ |
| 3.º | $\|I_i\|$ | $h\,\|I_i\|$ | $h^2\,\|I_i\|$ |

que pueden representarse gráficamente en la forma indicada en la figura 3, en la que se ve que es equivalente a: un sistema de tres corrientes alternativas de valor eficaz $I_o$, en fase las tres y representadas por tres vectores paralelos, giratorios en el sentido positivo; a otro sistema regular trifásico de valor eficaz $I_d$, representado por tres vectores a 120°, giratorios en el sentido positivo, y en los que la sucesión de máximos es la misma que en el desequilibrado de que proceden, es decir: $a$ „ $b$ „ $c$ ; y, por último, otro sistema regular trifásico, de valor eficaz $I_i$, representado por tres vectores a 120°, giratorios en el sentido positivo, y en los que la sucesión de máximos es *inversa* que en el desequilibrado de que proceden, o sea: $a$ , $b$ , $c$ ; de tal manera que el vector $|I_a|$ debe ser resultante de

$$|I_o| \;„\; |I_d| \;„\; |I_i|$$

el vector $|I_b|$ de

$$|I_o| \;„\; h^2\,|I_d| \;„\; h\,|I_c|$$

y $|I_c|$ resultante de

$$|I_o| \;„\; h\,|I_d| \;\text{ y }\; h^2\,|I_i|$$

Se ve, pues, que a todo sistema desequilibrado de corrientes corresponde un grupo de otros tres: uno, en el cual todas sus corrientes $I_o$ están en fase, y que reciben el nombre de *componentes simétricas homopolares;* otro, en que sus corrientes iguales y regularmente desfasadas tienen el mismo sentido de sucesión de máximos que el de las corrientes desequilibradas de que proceden, o sea de las tensiones equilibradas que las producen, y que reciben el nombre de *componentes simétricas directas;* por último, un tercero, similar al anterior, pero con sucesión de máximos en las fases en orden inverso, y cuyas corrientes reciben el nombre de *componentes simétricas inversas.* A veces, estas dos últimas se denominan también *componentes simétricas positivas* y *componentes simétricas negativas,* respectivamente.

Debe hacerse observar, dado el carácter de identidad de las expresiones [1], que *para un sistema desequilibrado dado, existe un sistema y sólo uno de componentes simétricas* (como se llama al conjunto de los tres estudiados) *equivalente.*

Partiendo de lo anterior, vamos ahora a expresar algunas consecuencias que nos serán útiles para el cálculo de las corrientes desequilibradas de corto circuito.

1.ª Suponiendo que el sistema $|I_a|$ , $|I_b|$ , $|I_c|$ fuera un sistema equilibrado, tendríamos

$$|I_a| + |I_b| + |I_c| = 0$$

es decir,

$$|I_a| + h^2\,|I_b| + h\,|I_c| = 0$$

puesto que

$$I_c = h^2\,|I_b| \quad \text{e} \quad I_b = h\,|I_c|$$

y sustituyendo en [2]:

$$|I_o| = 0 \quad „ \quad |I_i| = 0$$

es decir, desaparecen las componentes homopolares e inversas, quedando sólo las componentes directas, iguales al sistema dado.

2.ª Suponiendo el sistema desequilibrado,

con el neutro a tierra, se tiene llamando $|I_p|$ la corriente que a ésta se deriva,

$$|I_p| = |I_a| + |I_b| + |I_c| = 3\,|I_o|$$

según [3]; es decir,

$$|I_o| = \frac{|I_p|}{3}$$

o sea, que en un sistema desequilibrado la componente homopolar existe cuando hay una pérdida a tierra o un cuarto hilo, siendo su intensidad la tercera parte de esta corriente de pérdida.

3.ª Considerando equilibradas las tensiones de alimentación, las d. d. p. en el sitio de la avería, $V_a$ ,, $V_b$ ,, $V_c$ (fig. 4), no lo serán, a

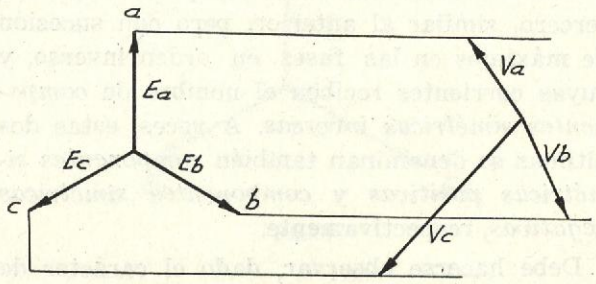



Fig. 4

causa de las diferencias de impedancias de las fases que ella introduce, que son las que originan que las corrientes $I_a$ ,, $I_b$ ,, $I_c$ sean también desequilibradas. Para calcular las tensiones $V_a$ ,, $V_b$ ,, $V_c$ nos basta hallar la caída de tensión en cada fase de la línea para restarlas geométricamente de la tensión de alimentación correspondiéndose; obteniéndose

$$|V_b| = |E_b| - Z_a\,|I_a|$$

$$|V_c| = |E_c| - Z_b\,|I_b|$$

$$|V_a| = |E_a| - Z_c\,|I_c| \qquad [4]$$

Ahora bien; las impedancias $Z_a$ ,, $Z_b$ ,, $Z_c$ —que comprenden las reactancias de los distintos elementos de la instalación—son función de los flujos de inducción mutua que dan lugar a las f. e. m. de inducción, cuya influencia traducen aquellas reactancias, y esta repartición de flujos es variable según sean los desfases y los valores relativos de las f. m. m. de las fases, es decir, según sean el desfase y los valores relativos de las corrientes que las atraviesan; se deduce, por tanto, claramente, que las reactancias subtransitorias de las máquinas y las de las líneas son en régimen desequilibrado diferentes de las de régimen de equilibrio utilizadas en el cálculo de las corrientes de un cortocircuito simétrico, y, además, variables esencialmente, según sea el desequilibrio que se con-

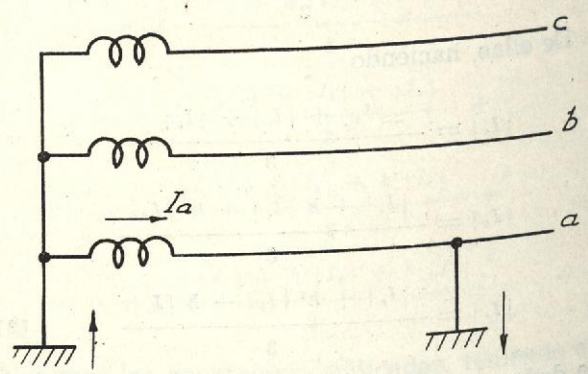



Fig. 5

side; es decir, que por desconocerse en general tales reactancias no será posible en función de ellas calcular las corrientes de cortocircuito $|I_a|$ ,, $|I_b|$ ,, $|I_c|$.

Para resolver el problema se recurre a la descomposición de estas corrientes en sus componentes simétricas, ya que entonces, y en virtud del teorema fundamental demostrado por Fortescue, es posible sustituir un sistema desimétrico; por ejemplo, el corto representado en la figura 5, es decir, la corriente a que da lugar, por la producida por otro corto simétrico (figura 6), en el cual se suponen superpuestas las

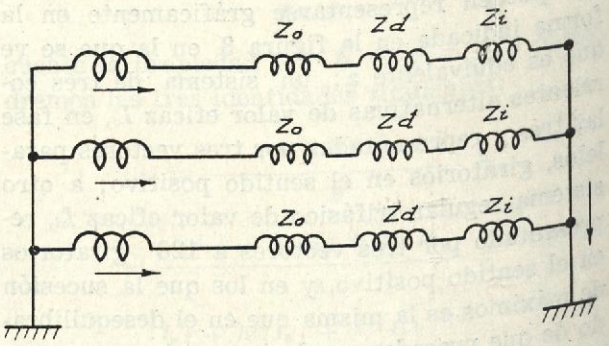



Fig. 6

tres componentes simétricas $I_o$ ,, $I_d$ e $I_i$, es decir, que en realidad son tres cortos superpuestos: uno, el correspondiente a $I_o$; otro, a $I_d$, y otro, a $I_i$; ahora bien, según cual sea la corriente de éstas que se considere, la reactancia del circuito es diferente, por análogas razones a las antes indicadas, por lo cual habrá que considerar tres

impedancias diferentes, $Z_o$ ,, $Z_d$ y $Z_i$, designadas, respectivamente, por *impedancia homopolar, impedancia directa* e *impedancia inversa*, según que la corriente que se calcula sea la $I_o$, la $I_d$ o la $I_i$, respectivamente, y que en el esquema las representamos en serie, sin que esto quiera decir que coexistan para cualquier corriente, sino que cada una de ellas actúa sola para la componente respectiva (1).

(1) Debe hacerse observar que esto es cierto solamente en el supuesto de que la desimetría de impedancias de las fases radica en la avería, que es el caso que estamos suponiendo, pues de no ser así, es decir, de suponer que la diferencia de impedancias se debiera a distinta constitución de cada fase, el problema sería mucho más dificultoso.

En efecto, en el caso general de suponer un sistema desequilibrado de corrientes circulando a través de un sistema desequilibrado de impedancias, tendremos que las caídas de tensión $|I_a| Z_a$ ,, $|I_b| Z_b$ e $|I_c| Z_c$ en sus tres fases pueden expresarse simbólicamente por medio del operador trifásico $s$, en la siguiente forma:

$$S\,(Z_a\,|I_a|) = S\,(Z_a) \times S\,(|I_a|) =$$

$$= [S^0\,(Z_o) + S^1\,(Z_d) + S^2\,(Z_i)] \times$$

$$\times\,[S^0\,(|I_o|) + S^1\,(|I_d|) + S^2\,(|I_i|)] \qquad [1]$$

donde $Z_o$ ,, $Z_d$ y $Z_i$ son las *componentes simétricas* de las impedancias, y $|I_o|$ ,, $|I_d|$ e $|I_i|$ las *componentes simétricas* de las corrientes.

El operador $S$ viene definido para un sistema de vectores trifásicos desequilibrados; por ejemplo,

$$Z_a \;,,\; Z_b \;,,\; Z_c$$

por la expresión

$$S\,(Z_a) = S^0\,(Z_o) + S^1\,(Z_o) + S^2\,(Z_i)$$

donde

$$S^0\,(Z_o) = (1 \;,,\; 1 \;,,\; 1)\; Z_o$$

$$S^1\,(Z_d) = (1 \;,,\; h^2 \;,,\; h)\; Z_d$$

$$S^2\,(Z_i) = (1 \;,,\; h \;,,\; h^2)\; Z_i$$

designándose $S^0$ ,, $S^1$ ,, $S^2$ con los nombres de *operador homopolar, operador directo* y *operador inverso*, respectivamente.

Estos operadores presentan las propiedades siguientes, que son fáciles de probar, desarrollando los productos indicados de vectores, teniendo en cuenta que sólo deben multiplicarse los homólogos:

$$S^1\,(Z_d) \times S^1\,(|I_d|) = S^2\,(Z_d \times |I_d|)$$

y análogamente:

$$S^1 \times S^2 = S^0$$

es decir, que siguen la ley de sus exponentes.

En estas condiciones, la expresión [1] se transforma en

$$S\,(Z_a\,|I_a|) = S^0\,(Z_o\,|I_o| + Z_i\,|I_d| + Z_d\,|I_i|) +$$

$$+\; S\,(Z_d\,|I_o| = Z_o\,|I_d| + Z_i\,|I_i|) +$$

$$+\; S^2\,(Z_i\,|I_o| + Z_d\,|I_d| + Z_o\,|I_i|) \qquad [2]$$

Las impedancias $Z_o$ ,, $Z_d$ y $Z_i$ son, como dijimos, las componentes homopolar, directa e inversa, de tal manera que:

$$Z_o = \frac{1}{3}\,(Z_a + Z_b + Z_d)$$

$$Z_d = \frac{1}{3}\,(Z_a + h^2\,Z_b + h\,Z_o)$$

$$Z_i = \frac{1}{3}\,(Z_a + h\,Z_b + h^2\,Z_c) \qquad [3]$$

pero como la expresión [2] indica, no se contrae cada una de ellas solamente a la componente homóloga de las corrientes, sino que intervienen todas en las caídas de tensión que cada una de estas últimas produce.

Unicamente en el caso supuesto en nuestro estudio de localizar la desimetría en la propia avería, para el cual en la expresión [3] se puede imponer la condición para el resto de las fases:

$$Z_a = Z_b = Z_c = Z$$

y, por tanto:

$$Z_d = Z \;,,\; Z_o = 0 \quad \text{y} \quad Z_i = 0$$

que introducida en [2] nos da:

$$S(Z_a\,|I_a|) = S^0(Z|I_o|) + S^1(Z|I_d|) + S^2\,(Z|I_i|) \qquad [4]$$

es legítimo asegurar que las caídas de tensión homopolar, directa e inversa, son debidas solamente a las componentes homólogas de las corrientes. Ahora bien; como las f. e. m. de inducción mutua que dan lugar a las reactancias de los distintos elementos simétricos de la red, son función de la sucesión de fase de las corrientes que circulan por las distintas fases de ellas, el valor de $Z$ en la expresión anterior, siempre simétrico en las tres fases, varía de una sucesión a otra, dando así lugar a las impedancias homopolar, directa e inversa

$$Z_o \;,,\; Z_d \;\text{y}\; Z_i$$

con lo cual la expresión [4] se podrá escribir:

$$S\,(Z_a\,|I_a|) = S^0\,(Z_o\,|I_o|) + S^1\,(Z_d\,|I_d|) + S^2\,(Z_i\,|I_i|)$$

que es equivalente al sistema de ecuaciones [5].

En estas condiciones, el sistema de ecuaciones [4] puede sustituirse por el siguiente:

$$|V_a| = |E_a| - (Z_o\,|I_o| + Z_d\,|I_d| + Z_i\,|I_i|)$$

$$|V_b| = |E_b| - (Z_o\,|I_o| + h^2\,Z_d\,|I_d| + h\,Z_i\,|I_i|)$$

$$|V_c| = |E_c| - (Z_o\,|I_o| + h\,Z_d\,|I_d| + h^2\,Z_i\,|I_i|) \qquad [5]$$

## VALOR DE LAS CORRIENTES DESEQUILIBRADAS DE CORTOCIRCUITO.

Consideremos ahora diferentes clases de cortos desimétricos.

*Corto unipolar.*—Es el caso de la figura 5, en

que una de las fases toma tierra, estando el neutro conectado a ésta. En él se tiene:

$$|V_a| = 0 \quad ,, \quad |I_b| = 0 \quad ,, \quad |I_c| = 0$$

y sustituyendo en [2]:

$$|I_o| = |I_d| = |I_i| = \frac{|I_a|}{3}$$

con lo cual, de la primera ecuación [5] sacamos:

$$O = |E_a| - \frac{|I_a|}{3} (Z_o + Z_d + Z_i)$$

y

$$|I_a| = \frac{3\,|E_a|}{Z_o + Z_d + Z_i} \qquad [6]$$

que, supuestas conocidas las impedancias homopolar, directa e inversa, nos permite calcular la corriente de cortocircuito buscada.

*Corto bipolar.* — Supongamos (fig. 7) que el corto sobreviene entre las fases $b$ y $c$, con lo cual se tendrá:

$$|I_a| = 0 \quad ,, \quad |I_b| = -|I_c| \quad ,, \quad |V_b| = |V_c|$$

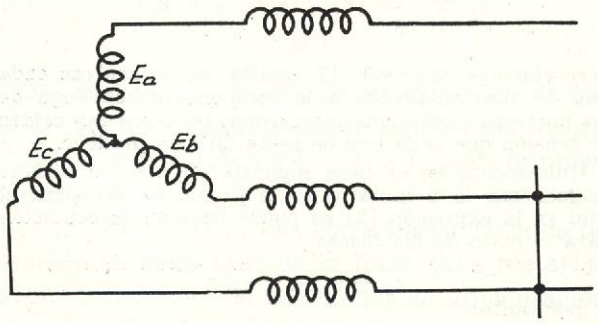



Fig. 7

Teniendo esto en cuenta en las primeras de las ecuaciones [2] y [3], encontramos:

$$|I_o| = 0 \quad ,, \quad |I_d| + |I_i| = 0$$

Si restamos las dos últimas ecuaciones [5], teniendo en cuenta que $|V_b| = |V_c|$ se tiene:

$$O = |E_b| - |E_c| + (h^2 - h)\, Z_d\, |I_d| + (h - h^2 Z_i\, |I_i|$$

y como

$$|E_b| - |E_c| = (h^2 - h)\, |E_a|$$

dividiendo por $h^2 - h$, se halla:

$$O = |E_a| + Z_d\, |I_d| - Z_i\, |I_i| =$$

$$= |E_a| + |I_d|\, (Z_d + Z_i) =$$

$$= |E_a| - |I_i|\, (Z_d + Z_i)$$

Se tiene, pues,

$$|I_d| = -|I_i| = \frac{|E_a|}{Z_d + Z_i}$$

con lo cual las corrientes del corto en las fases son:

$$|I_a| = |I_o| + |I_d| + |I_i| = 0$$

$$|I_b| = |I_o| + h^2\, |I_d| + h\, |I_i| =$$

$$= \frac{1h^2 - h\, |E_a|)}{Z_d + {}_iZ} = \frac{|E_b| - |E_c|}{Z_d + Z_i}$$

y para el valor eficaz,

$$I_b = I_c = \frac{\sqrt{3}\, E_a}{Z_d + Z_i}$$

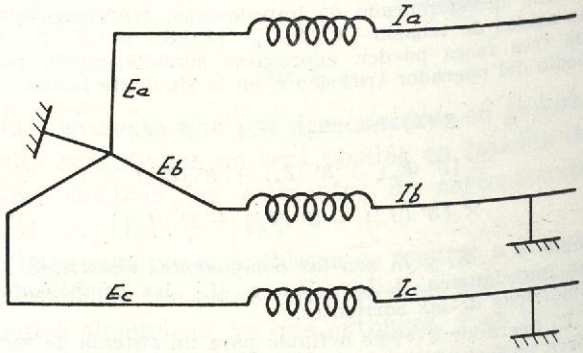



Fig. 8

*Corto bipolar a través de tierra.*—Se refiere al caso de la figura 8, en el que se supone el neutro conectado también a tierra, ya que si no lo estuviera las condiciones serían idénticas a las del corto anterior. En este caso se tiene:

$$|I_a| = 0 \quad ,, \quad |V_b| = 0 \quad \text{y} \quad |V_c| = 0$$

y las corrientes que interesa calcular son las $|I_b|$ e $|I_c|$, así como la corriente $|I_p|$ de pérdida a tierra. Tendremos:

$$|I_a| + |I_b| + |I_c| = 3\, |I_o| = |I_p|$$

de donde,

$$|I_p| = 3\, |I_o| \qquad [7']$$

Por otra parte, las ecuaciones [3] nos permitirán conocer $|I_b|$ e $|I_c|$, una vez que calculemos $|I_o|$ ,, $|I_d|$ e $|I_i|$.

Las ecuaciones [3] nos permiten escribir:

$$|I_b| + |I_c| = Z\, |I_o| + (|I_d| + |I_i|)\, (h^2 + h)$$

y como $|I_a| = 0$, se tiene:

$$Z\, |I_o| + (|I_d| + |I_i|)\, (h^2 + h) = 3\, |I_o|$$

de donde:

$$|I_o| = (|I_d| + |I_i|)\ (h^2 + h) \qquad [8]$$

Sumando las dos últimas ecuaciones de [5]:

$$O = |E_b| + |E_c| - [Z|I_o|\ Z_o + (h^2 + h)\ (Z_d\ |I_d| + Z_i\ |I_i|)]$$

y sustituyendo $|I_o|$ por su valor [8], teniendo en cuenta que

$$|E_b| + |E_c| = (h^2 + h)\ |E_a|$$

y dividiendo por $h^2 + h$, podremos escribir:

$$O = |E_a| - [-2\ Z_o\ 1|I_d| + |I_o|) + Z_d\ |I_d| - Z_i\ |I_i|] \qquad [9]$$

Si restamos las mismas ecuaciones [5]:

$$O = |E_a| - (Z_d\ |I_d| - Z_i\ |I_i|$$

y comparándola con [9], teniendo en cuenta que

$$|I_o| + |I_d| + |I_i| = |I_u| = 0$$

y

$$|I_d| + |I_i| = -|I_o| \qquad [10]$$

tendremos:

$$Z_d\ |I_d| - Z_i\ |I_i| = Z_d\ |I_d| + Z_i\ |I_i| - 2\ Z_o\ |I_o|$$

y

$$Z_i\ |I_i| = Z_o\ |I_o|$$

o sea:

$$|I_i| = \frac{Z_o}{Z_i}\ |I_o|$$

y sustituyendo en [10]:

$$-|I_o| = |I_d| + \frac{Z_o}{Z_i}\ |I_o| \quad \text{e} \quad |I_o| = \frac{|I_d|}{1 + \dfrac{Z_o}{Z_i}} \qquad [11]$$

La ecuación [9] puede ahora escribirse:

$$O = |E_a| - [-2\ Z_o\ |I'_o| + Z_d\ |I_d| + Z_o\ |I_o|] = |E_a| + [Z_o\ |I_o| - Z_d\ |I_d|]$$

y sustituyendo $|I_o|$ según [11]:

$$O = |E_a| - |I_d| \left( \frac{Z_o\ Z_i}{Z_i + Z_o} + Z_d \right)$$

de donde

$$|I_d| = \frac{|E_a|}{Z + Z_d} \qquad [12]$$

siendo

$$Z\ \frac{Z_o\ Z_i}{Z_i + Z_o}$$

o sea de valor igual a la impedancia combinada resultante de poner en paralelo $Z_o$ y $Z_i$.

La ecuación [11] nos da

$$|I_o| = -\ |I_d|\ \frac{Z}{Z_o} \qquad [13]$$

mientras que

$$|I_i| = \frac{Z_o}{Z_i}\ |I_o| = -\ |I_d|\ \frac{Z}{Z_i} \qquad [14]$$

Calculadas las tres componentes simétricas,

$$|I_o| \ ,, \ |I_d| \ \text{e} \ |I_i|$$

se pondrán deducir las corrientes del corto

$$|I_b| \ ,, \ |I_c| \ \text{e} \ |I_p|$$

que nos interesan.

# EL PLANEAMIENTO DE UNA REORGANIZACION DE LA PRODUCCION (*)

POR

FLORENTINO MORENO ULTRA

INGENIERO NAVAL

Puede decirse que ha pasado definitivamente en nuestra industria la fase de vacilación y falta de comprensión y confianza en los modernos métodos de producción, conocidos bajo el enunciado general de Organización Científica.

La abundante bibliografía y divulgación de informaciones, así como la constante inquietud estatal orientando y dirigiendo a través del Instituto Nacional de Racionalización y de la Comisión Nacional de Productividad Industrial, nos permite suponer que todo aquel que resulte afectado por este movimiento está suficientemente al corriente de lo que significa, lo que pretende y lo que consigue.

Pero nos encontramos ahora en una fase no menos interesante: la de acometer plenamente, decididamente, la reorganización general de la producción, materializando en realidades nuestras crecientes inquietudes.

Todo parece estar a punto, para comenzar con la certeza de un éxito completo, y, sin embargo, ante los primeros ensayos nos damos cuenta de que existe en principio un escollo difícil de sortear: pasar de las ideas a los hechos, de la teoría a la práctica, del "qué tenemos que hacer" al "cómo debemos actuar". Y siendo esta especialidad más técnica que científica, la práctica propia, la madurez y experiencia que precisamente nos falta, tiene mucha más importancia que la pura teoría o la práctica ajena. A ello ha de sumarse que nuestro aprendizaje ha sido excesivamente rápido, y en su mayor parte sobre textos y datos referidos a países de muy diferente desarrollo industrial, economía, mercados, clima social, nivel de vida y personalidad individual y colectiva; aplicados a tipos de producción muy distintos a la Construcción Naval (pues de nuestra especialidad no hay demasiada información), junto a que precisamente en ésta los problemas son de la máxima complejidad y fuera de toda posible interpolación.

Por todo ello, entre la decisión de reorganizar la producción y la coronación de los objetivos previstos, existe un período crítico de puesta en marcha, desarrollo y estabilización, a lo largo del cual se han de presentar problemas erizados de dificultades, de una complejidad extraordinaria, con aspectos de extrema delicadeza, en un ambiente de gran tensión en la Empresa y no pocas veces existirá el peligro de no progresar en la medida esperada, de fracasar parcial o totalmente, e incluso de cometer errores irreparables.

Excluyendo de antemano la pretensión de encontrar fórmulas mágicas o recetas infalibles, hemos querido presentar con este trabajo una base de discusión para la unificación de criterios en cuanto a la ordenación de concepciones teóricas y de orientación en cuanto a los procesos de aplicación práctica.

(*) Memoria presentada en el V Congreso de Ingeniería Naval, mayo 1955.

Podemos sintetizar su finalidad en la intención de encontrar una respuesta satisfactoria a las siguientes preguntas: ¿Cómo debemos proceder? ¿Qué camino hemos de elegir? ¿Cuál puede ser una buena marcha a seguir? ¿Cuándo y hasta dónde podemos y debemos llegar?

(NOTA: Cuando hablamos de reorganización de la producción nos referimos a una factoría que ya funciona con mejor o peor rendimiento. El problema que planteamos es el de elevarlo con los medios disponibles aprovechados en forma más eficaz, dejando de lado lo que se refiere a grandes inversiones, renovaciones completas de planta o maquinaria, etc. Indudablemente la reorganización y la mejora de métodos de trabajo exige gastos de medios auxiliares, pero, siguiendo las directrices de la Comisión Nacional de Productividad, admitimos como tales aquellos que resultan amortizados en menos de un año.)

Ante la diversidad de posturas posibles de adoptar y de medidas a tomar, existe el riesgo de perder de vista el fin último, acometiendo múltiples tareas en forma descentralizada, desordenada o heterogénea, desgastándonos en un esfuerzo que por no estar bien elegido y valorado resulte ineficaz o contraproducente.

Parece, por tanto, imprescindible someter toda la acción a un plan racional preconcebido y contar con una herramienta capaz de haberlo creado y de llevarlo a la práctica con éxito.

Llámase Oficina, Servicio, Sección, Laboratorio o Departamento, es indudable que ha de formarse un Centro que, después de estudiar y fijar unos objetivos, en magnitud y momento, proceda de acuerdo con ello analizando cada problema, proponiendo las medidas que lo resuelven y comprobando progresivamente los resultados.

Ha de estar integrado por un equipo de hombres, técnicos especializados y entrenados, dotados de conocimientos teóricos, experiencia profesional y valores humanos, puestos al exclusivo servicio de la investigación y revisión de cada órgano de la Empresa, cada oficina, cada taller, cada obrero.

Esta tarea es ingente y a veces ingrata. Los resultados alcanzados no están siempre en proporción al esfuerzo y tiempo aplicados, y son innumerables las situaciones difíciles o delicadas que se plantean cada vez que se intenta que algo sea distinto de como era, aunque las razones parezcan evidentes.

La eficacia de esta función exige peso y autoridad, especialización, situación libre de prejuicios para la crítica, comodidad y amplitud en el tiempo disponible y contar con la colaboración de todos los que participan en la producción.

Por ello es recomendable que este Centro sea autónomo y subordinado únicamente a la Dirección, para que pueda desarrollar su gestión en forma universal, con unidad doctrinal y de criterio, al margen de toda actividad que distraiga su atención, desligándolo totalmente de las preocupaciones que diariamente se plantean en la programación y ejecución de los trabajos. En cuanto a la realización práctica, ya hemos dicho que los caminos a seguir y la división de actividades parecen ser muy variables. Sin embargo, simplificando conceptos, a fin de que resalten especialmente los principios fundamentales y no las formas exteriores o secundarias, podemos llegar a esquematizar el siguiente plan de acción: Cuatro factores, cuatro normas, cuatro etapas.

Descomponemos en cuatro partes o factores de productividad el conjunto de los problemas que afectan a la reorganización:

Estructuración funcional.
Métodos de trabajo.
Planificación y control.
Relaciones humanas.

Llamamos normas a los procedimientos metódicos de actuación para localizar y resolver los problemas de la producción, y que enunciamos así:

Información.
Análisis.
Aplicación.
Comprobación.

Por último, las cuatro etapas en que dividimos la puesta en práctica del plan, que son:

Preparación.
Experimentación.
Desarrollo.
Conjuntación.

*Los factores.* — Hemos sintetizado en cuatro el conjunto de todos los factores sobre los que hemos de influir para elevar la productividad. Reconocemos que en esto puede haber cierta disparidad de criterios, todos ellos aceptables, cuyas diferencias, más de forma que de fondo, son producto únicamente de la mayor o menor trascendencia de cada problema en los distintos tipos de producción o estado de ella.

Lo importante en esto, como en todo, es tener ideas claras, conocer exactamente la situación e influencia de cada factor, la causa y el efecto de cada fenómeno funcional, y después, sin aferrarse a fórmulas rígidas, proceder a integrarlos con criterio del modo más ágil y conveniente.

Aquí lo hemos planteado en esta forma, no sólo por creerlos más claramente diferenciados, sino también porque pretendemos dar a algunos de ellos, como la Estructuración funcional y las Relaciones humanas, una importancia más significada, por considerarlo mejor en el caso particular de nuestras factorías.

Para centrar las ideas, vamos a presentarlos en forma general y simplista, recurriendo a un símil muy frecuentemente utilizado: El que existe entre los problemas técnicos, y que plantea la producción industrial, y los militares que plantea una guerra, que nos permite situar casi exactamente los principios y fundamentos de la moderna dirección y organización del trabajo dentro de su propio ámbito, importancia y finalidad, clasificados dentro de los cuatro factores mencionados.

La producción queda simbolizada por una serie ininterrumpida de batallas. "Producir" es "combatir". "Producir bien" en "vencer".

Acudir a una guerra exige un ejército, que está formado por hombres: unos piensan, otros ordenan, otros ejecutan, y se sirven para ello de unos medios: armas, municiones, planos, informes, servicios de telecomunicación, transporte, etc. Están subdivididos en especialidades, cuerpos, divisiones, batallones; en armas aéreas, navales, terrestres, etc. Y diferenciados mediante un escalafón jerárquico.

Cada uno depende de una sola persona y manda a otras, cada uno sabe y conoce sus derechos y deberes, y actúan y se desenvuelven de acuerdo con unas ordenanzas escritas, y reglamentos, leyes, normas, etc. Funciona, en fin, de acuerdo con una estructura orgánica definida, análogamente a como debe ocurrir en una factoría.

Este ejército debe estar dotado de unas armas y equipo, y entrenado en unas tácticas de guerra, que les permiten estar capacitados para su fin y a punto para entrar en acción. Todos estos elementos han de inventarse y crearse, en laboratorios, oficinas de proyectos, fábricas, Escuelas de Guerra, etc. Son, en una palabra, la Oficina de Métodos, cuyas experiencias y ensayos se contrastan y valoran en las maniobras que sirven al mismo tiempo de entrenamiento del personal.

Ante la guerra, el ejército se moviliza, toma posiciones y entra en acción de acuerdo con unas órdenes emanadas de un estudio previo y minucioso de las fuerzas enemigas y las propias, puntos débiles, zonas estratégicas, momentos favorables, coordinación de armas, fijación de efectivos, sincronización en el tiempo de cada actuación, etc. Todo esto lo determina el Estado Mayor, símbolo de las modernas oficinas de Planificación de la Producción.

Por último, el soldado, el elemento hombre, tiene que entrar en fuego. Debe estar controlado por una severa disciplina, al propio tiempo que estar dotado de espíritu de lucha y sacrificio, de fe, valor y lealtad. Esto sólo puede conseguirse con ideales patrióticos equivalentes a los que a través de las relaciones humanas se ha de conseguir en el trabajo; cooperación voluntaria y entusiasta y subordinación activa. Entre una factoría que tiene ganado a su personal y otra que no lo tiene, existe la misma diferencia que entre un ejército de buenos soldados y otro de soldados desmoralizados o mercenarios.

Consideramos de interés profundizar un poco más en el detalle de estos principios, refiriéndolos concretamente a nuestro tipo y estado actual de producción, pues su análisis objetivo ha de ser punto básico de arranque para desarrollar cualquier plan de mejoras.

Sin embargo, los estrechos límites de este trabajo tampoco nos permiten una exposición minuciosa y rigorista, por lo que nos limitaremos simplemente a recoger en forma somera aquello que nos parezca más característico e interesante.

*Estructuración funcional.* — "Que cada función tenga su hombre, cada hombre su jefe y todos una responsabilidad concreta."

Aun cuando hemos empleado distintas pala-

bras para evitar confusionismo, no es en realidad más que lo que corrientemente se extiende por organización general, cuya definición podemos tomarla de Rabbe (*Mech. Eng.*, vol. 63): "Es para una empresa lo que el sistema nervioso para el cuerpo humano. Su finalidad es enviar instrucciones (impulsos) a los miembros operantes y recibir y transmitir a la dirección (el cerebro) la información que le permite funcionar inteligentemente."

La hemos considerado como el primer factor porque realmente es la gran herramienta que engloba a todas las demás, y si no está racionalmente concebida y exactamente manejada, pocas mejoras sustanciales podrán introducirse; y como decíamos anteriormente, precisamente en nuestras factorías y en nuestro tipo de producción adquiere mayor importancia.

Los dos sistemas típicos de organización, el "funcional puro" de Taylor y el "militar rígido" de Fayol, han sido ya rebasados por el sistema mixto "jerárquico-funcional", que suele denominarse también "militar con estados mayores".

Algunos de nuestros astilleros están ya orientados en esta línea, pero en forma todavía imperfecta o inacabada. Hemos llegado a comprender, en efecto, la necesidad de un jefe de taller disponga de una oficina de coordinación y carga de trabajo en máquinas y equipos; que un jefe de trabajos cuente con Oficinas de Preparación y lanzamiento de órdenes, etc., y así existen en muchos casos.

Pero no aparece tan evidente por ahora la concepción y utilización en manos de una Dirección o Jefatura de Departamento de Estados Mayores u oficinas asesoras, que al margen de la línea jerárquica produzcan la información necesaria sobre Planificación General, Investigación de Nuevos Métodos de Organización o de Producción, Control y Análisis de resultados en calidad, cantidad, productividad y costes, Relaciones Sociales dentro de la Empresa, etc.

Es decir, existe una transformación progresiva de carácter ascendente que no ha llegado todavía a su plenitud, que parece surgir más de las necesidades locales que se plantean en las obras que de directrices y exigencias de orden descendente.

Es conveniente que esta tendencia se acentúe y crezca en ambos sentidos, pues los centros auxiliares de información permiten ejercer en cada escalón jerárquico una dirección más racional y, por tanto, su aparición y desarrollo a lo largo y ancho de la estructura funcional es índice de madurez y eficacia.

Ha de ser misión primordial de la organización la separación de actividades dentro del conjunto Empresa, formando elementos que sigan una línea lógica y bien diferenciada, para evitar incompatibilidades, solapes, pugnas, multiplicidad de mandos y funciones, etc.

Suele oírse comentar que cualquier organización es buena si las personas son adecuadas, y esto puede hacer caer en el error de crearla alrededor de los hombres y no de las funciones.

Seleccionar para cada puesto el hombre más adecuado ha de ser siempre una medida posterior. Sólo así es posible asegurar la continuidad de los principios que la rigen y desarrollarla en forma conjuntada y armónica.

Sólo así es posible conseguir que cada función quede suficientemente diferenciada en cuanto lo exija su propia naturaleza, y que las que estén entre sí estrechamente relacionadas en el fondo queden supeditadas a un mismo escalón jerárquico aun cuando existan diferencias accidentales de forma.

Y ahora cabe plantearse estas preguntas: ¿Es la tradicional estructura funcional de nuestros astilleros la más racional? ¿Existe otra mejor?

El tema resulta sugestivo y de la mayor trascendencia. Pero no es nuestra intención presentar aquí un estudio minucioso para enjuiciarlo en todos sus aspectos, sino simplemente tocarlo en la forma imprescindible que esta somera revisión impone.

Deseamos centrarnos casi exclusivamente en un punto muy particular que pone de manifiesto un desacuerdo fundamental en la propia raíz de la organización: La división clásica en los departamentos de Casco y Maquinaria, prolongada hasta el mismo puesto de trabajo a bordo.

La cuaterna así formada por dos Oficinas Técnicas y dos Jefaturas de Trabajos, resulta artificial e inoperante en cuanto a la producción se le exige un ritmo activo de elevado rendimiento.

La definición exacta de las obras a realizar, su distribución por centros de trabajo, la planificación, la coordinación de operaciones de equipos y gremios, el control en todos sus aspectos, la diferente actitud y mentalidad de los mandos que resultan enfrentados, etc., producen a cada

paso multitud de interferencias e incompatibilidades, tanto más frecuentes, tanto más graves, cuanto más exigente sea el plan de producción en marcha.

Los simples problemas de detalle pueden tener que llegar hasta la misma Dirección para conseguir soluciones definitivas.

En la construcción de buques, la producción se caracteriza por la existencia de frecuentes situaciones imprevistas, derivadas de cambios de proyecto, desajustes en la coordinación, variación aguda del ritmo de trabajo, aparición de tareas urgentes en forma insospechada, por las propias características del trabajo a realizar, etcétera. Esto hace aún más imprescindible que el producto barco sea una unidad indivisible. Si este principio es desestimado, las soluciones mejores que puedan adoptarse resultan raquíticas e intrascendentes, destinadas a una vida asfixiada y lánguida, carentes por completo de vitalidad y permanencia.

Modernamente algunos astilleros apuntan a otro tipo de estructura funcional, basado en la unificación de las oficinas técnicas en un Departamento único, e igualmente las dos Jefaturas de Trabajo fusionadas en un solo Departamento de Producción.

Esta disposición permite, desde luego, un desarrollo más eficaz de los principios que rigen la moderna dirección industrial.

En los casos de grandes astilleros que construyen la maquinaria convendrá completarlo con la creación de un tercer Departamento: el de Fabricación.

De todos modos será necesario siempre, aun en el caso de divisiones más racionales, tener en cuenta el principio de las líneas de comunicación horizontal de Fayol, que permite la coordinación directa (cuando se haya previamente definido) entre centros de Departamentos diversos, lo que da una mayor agilidad operativa, tan necesaria en nuestro tipo de trabajo.

Volvemos a insistir en la necesidad de adjudicar a este problema la importancia que tiene y en la conveniencia de proceder a una revisión completa de todos los procedimientos por arraigados que se encuentren, con un espíritu sano, constructivo y libre de prejuicios.

Indudablemente no pueden plantearse soluciones ligeras o precipitadas; pero si desde un principio preside la idea anterior, la estabilización definitiva de la reorganización de la producción puede radicar en esta medida final, apoyada en la sólida cimentación de un plan progresivo preconcebido.

Otros varios puntos de este factor general conviene mencionar, aunque sea muy ligeramente.

En primer lugar, la distribución de la autoridad y de la responsabilidad entre todos los miembros que dirigen y ejecutan.

Existe entre nosotros una tendencia centralizadora, basada quizá en un defecto heredado de los sistemas arcaicos de dirigir la producción: la desconfianza.

Va en contra de todo método racional que uno haga algo que pueda o deba hacer un subordinado. Y, sin embargo, es frecuente observar cómo el agobio de tiempo por hacer o decidir lo que es incumbencia de inferiores resta posibilidades para dedicarse en mayor escala y profundidad a funciones de orden superior, creadoras y directivas, que ningún otro puede desarrollar.

Aquí podemos recoger el consejo dado a la reina Isabel: "Elegid cuidadosamente a vuestros hombres, y después confiad en ellos plenamente."

Pero esto entraña, además, otro mal inseparable, la irresponsabilidad, que también resulta de una frecuencia inevitable cuando a cada miembro no se le delega una autoridad específica y una misión concreta que cumplir a la que ha de hacer frente plenamente, exclusivamente.

Si el reparto diluído de la responsabilidad se desarrolla en un ambiente de disciplina poco rigurosa, las consecuencias pueden afectar muy seriamente a la marcha de la producción.

El mando eficaz debe llegar a todas las actividades de la Empresa, por secundarias que resulten. Y si esto exige completar los cuadros jerárquicos, no debe eludirse su planteamiento. Una referencia interesante puede ser el principio de Graicunas: "De un mando superior deben depender, como máximo, cinco o seis mandos inferiores." "Del mando de último nivel deben depender de 10 a 15 obreros o empleados, cifra que puede elevarse a 20 en el caso de trabajos muy rutinarios."

Disponer de un cuadro de mandos intermedios, jefes de talleres, maestros, capataces, en cantidad y calidad suficientes, es un problema agobiante en muchos de nuestros astilleros, y no hace falta resaltar su influencia, que está en la mente de todos. De tener o no prevista su

resolución depende el éxito o el fracaso de todo un plan de reorganización.

Esta cuestión exige un estudio más profundo, que convendrá desarrollarlo en otra ocasión, de acuerdo con la importancia que tiene.

Finalmente, queremos señalar la conveniencia de que toda la estructura funcional quede representada en esquemas y gráficos, a los que debe darse abundante publicidad en el seno de la Empresa.

Igualmente, deben redactarse por escrito las reglamentaciones y las normas de actuación donde quedan definidos jerarquías y responsabilidades, derechos y deberes y toda clase de instrucciones necesarias para el buen desempeño de cada misión.

Su aplicación ha de regirse por el mismo criterio que en el estudio de los Métodos de Trabajo se exige a las normas de calidad y dimensiones de un producto cualquiera: especificación concreta que no deje lugar a duda alguna y máximas tolerancias compatibles con el eficaz cumplimiento del fin previsto con objeto de simplificar y eliminar en lo posible las dificultades operativas; pero, una vez fijadas, cumplirlas en forma severa y rigura.

*Métodos de Trabajo.* — "Todo método puede mejorarse."

No hace falta insistir mucho en la importancia que tienen en la productividad, porque está en el ánimo general.

Toda acción en la producción se hace siempre según un método, desde la circulación de una orden hasta la tarea manual de un obrero. Y no cabe duda que este método será unas veces bueno y otras malo; unas veces se habrá aplicado para su adopción, raciocinio, experiencia, imaginación y sentido común; otras, no se habrá hecho nada de estos y las cosas funcionarán por simple iniciativa impremeditada de los encargados de realizarlas.

Que en una factoría exista o no un estudio sistemático para la investigación y aplicación de métodos y procedimientos de trabajo, cada vez más perfectos, supone encontrarse en el camino del progreso o estar limitada a una subsistencia que la irá relegando cada vez más a una completa inferioridad para luchar con probabilidades de éxito frente a otros competidores más inteligentes.

Siempre existe un método, en efecto; pero también todo método actual puede mejorarse: Unas veces, en forma sencilla y fácil; otras, en forma espectacular; otras, después de laboriosas investigaciones o exigiendo alguna inversión sustancial; algunas veces, en fin, en forma no practicable momentáneamente por diferentes causas.

Pero esto, que parece de una evidencia clara, no es igual en el ambiente de trabajo.

Existe tanto de vanidad, de apego a la rutina, comodidad, que es fácil sentirse ciego y reacio al reconocimiento de algo superior.

Cuando nos enteramos de que algún competidor ha logrado producir algo más barato, o en mayor cantidad o calidad, la primera reacción es de escepticismo, de duda; después, la cómoda postura de pensar que otros trabajan en condiciones más favorables: más medios, más o mejor material, más facilidad para producir, así por causas externas, etc.

Y si, por fin, han de rendirse a la evidencia, lo que ocurre escasas veces, se pasa al extremo de que algo inexplicable ha ocurrido. Pues bien, la explicación suele ser casi siempre bien sencilla: superiores métodos de trabajo extendidos a todo el campo de la producción, a todas las actividades intelectuales y manuales.

"La ciencia de descubrir lo que está mal y corregirlo después", ha llamado Ch. F. Kettering a la Mejora de Métodos.

¿En qué consiste fundamentalmente mejorar los métodos?

Mediante el análisis, paso a paso, de cada actuación, operación o fase de trabajo, eliminar, en primer lugar, todo lo que sea innecesario y después lograr para el resto un procedimiento que sea, si es posible, más rápido, más económico, menos fatigoso y peligroso, de mejor calidad y que resulte amortizable su innovación a corto plazo.

Una primera pregunta puede surgir inmediatamente: ¿Es que suelen hacerse trabajos innecesarios? Indudablemente la contestación no sólo es afirmativa, sino que podría añadirse que este fenómeno se presenta con una frecuencia mucho mayor de lo que corrientemente se cree, en general, en cualquier tipo de industria.

¿Por qué se hacen cosas innecesarias? Por repetirse algo mal hecho, por tener que introducir una nueva operación que corrija otra anterior imperfectamente terminada; por dejar de tener razón actual de ser, algo que en algún

momento especial fué imprescindible y nadie se acordó de eliminar; por falta de coordinación en los procesos de trabajo; por un prurito de calidad excesiva, por una modificación en una fase que afecta a otras que quedan sin revisar, etcétera.

Si esto es frecuente en industrias racionalizadas y controladas, o de producción tipificada, ¿qué podríamos decir de la nuestra?

Basta con seguir paso a paso todo el proceso evolutivo de un elemento cualquiera, o el desarrollo de la jornada al minuto de cualquier obrero, para darnos cuenta inmediatamente de la cantidad de tiempo que se pierde por hacer cosas innecesarias o por no hacer nada.

¿Cuál es el estado actual de nuestros métodos de trabajo? Si somos sinceros, hemos de reconocer que la mayor parte de ellos no han sido revisados jamás en forma racional, en gran parte debido a que los procedimientos operativos han recaído casi exclusivamente en maestros, capataces y hasta en los mismos obreros, sin más fundamento que la simple rutina o la intuición del momento en cuanto a la posibilidad de la realización, pero al margen de toda inquietud económica.

Una reorganización de la producción exige adjudicar a los métodos toda su importancia.

¿Cómo debemos proceder? Primero, con predisposición libre de prejuicios, decididos a revisarlo todo, empezar a verlo todo como si fuese la primera vez, con espíritu crítico agudo y constructivo, pensando que todo, enteramente todo, puede hacerse mejor, mucho o poco.

En segundo lugar, con la técnica de la Mejora de Métodos. ¿En qué consiste esta técnica? La Comisión Nacional de Productividad Industrial viene organizando cursos superiores sobre tal materia, que por su interés recomendamos a todos, y que nos permitimos sintetizar aquí:

Una primera fase, en la que se analiza cada una de las operaciones de un proceso.

Este análisis se descompone en 10 partes:

1.—Finalidad de la operación.
2.—Diagramas del proceso.
3.—Normas de calidad.
4.—Materiales.
5.—Transporte de materiales.
6.—Disposición del puesto de trabajo.
7.—Equipo de herramientas.
8.—Condiciones de trabajo.
9.—Otras condiciones.
10.—Posibilidades generales de mejora.

A cada uno de estos puntos se aplica una colección de preguntas convenientemente ordenadas, y muy detalladas y concretas, que nos van perfilando poco a poco la realidad de los hechos hasta conocerlos exactamente en todos sus aspectos y permitiéndonos anotar al propio tiempo todas las posibilidades de mejora.

El análisis termina con un resumen comparativo entre el método actual y el propuesto, donde quedan especificadas las ventajas de todo orden, las medidas que es necesario tomar y la amortización de su coste.

Después llega la fase de la normalización del método, es decir, su aplicación práctica a través de instrucciones escritas claras que lo legalizan, tanto en cuanto a los procedimientos como en cuanto a los planos, materiales, herramientas, organización, etc.

La tercera fase se ocupa del entrenamiento del personal que resulta afectado por el cambio, muy delicada, por cierto, pues puede existir una primera época en que el rendimiento previsto no se alcance por falta de práctica hasta adquirir el nuevo hábito y esto cree desconfianza y dificultades.

Finalmente, cuando todo está en marcha, con normalidad llega la última fase de medida de tiempos, con el apéndice correspondiente del incentivo, si es que interesa.

Aquí puede presentarse a primera vista un punto de discusión que conviene dejar muy claro para evitar errores muy perturbadores a largo plazo.

¿Qué es lo primero: medir tiempos de trabajo o mejorar los métodos?

Parece que está claro que lo que conviene medir es una cosa que se da por buena, y en ese sentido el cálculo del tiempo es posterior. Ahora bien; ¿cómo podremos seleccionar el método mejor sin introducir el estudio de tiempos que nos permite valorarlo? En efecto, esto es indispensable, pero solamente como una herramienta de investigación, sin que salga del ámbito del análisis al de la práctica del trabajo.

Pero los tiempos de trabajo interesa conocerlos, no sólo para el estudio de los métodos, sino también para la planificación de la producción, conocimiento de los costes, los presupuestos, la

posibilidad de asignar a los obreros destajos o tareas premiables, y el control del avance de obra.

De aquí que esta cuestión sea muy interesante, porque la aplicación de los tiempos de trabajo puede ser un arma de dos filos. Es corriente entre nosotros manejarla en forma peligrosa, saliéndonos de toda ortodoxia ante el interés de avanzar más rápidamente, más fácilmente, consiguiendo pronto éxitos momentáneos y locales.

Las dos desviaciones frecuentes que se presentan son: Tasar los tiempos de trabajo sin revisar los métodos, y tasarlos en forma estimada sin ninguna técnica racional.

Hemos de puntualizar para justificar esta postura, que si esperamos a la revisión de cada método utilizado en la construcción naval, para introducir el manejo de tiempos, pasarían muchos años sin aprovechar las sustanciales ventajas que esto reporta. Pero entre estos dos límites extremos está el que nos parece más sólido y seguro, que es el de introducir plenamente este cálculo estimado y expeditivo de tiempos en la planificación y todos los demás aspectos mencionados, excepto en la tasación de las tareas.

Aquí conviene actuar con cuidado y delicadeza, pues cuando no se hace correctamente, el incentivo es más aparente que real: No existe si el tiempo resulta escaso y produce un retraimiento que asegure un beneficio cómodo cuando es excesivo; o bien unas primas escandalosas si el obrero se lo propone. En cualquiera de estos dos casos se impone la revisión, y no ha de olvidarse que si se intenta reducir los tiempos asignados a los trabajos sin que los métodos hayan cambiado existe el riesgo de que el personal obrero adopte una postura hostil de incalculables consecuencias.

De todos modos, aunque sea únicamente a efectos de control de ocupación, la asignación del tiempo es a veces inevitable. En este caso conviene tender a tiempos de escaso margen que no plantean problemas posteriores y, desde luego, podría transigirse con la primera desviación apuntada, pero nunca con la segunda.

¿Quién se debe dedicar a mejorar los métodos?

Desde luego, todos los que se participan en la producción deben mantenerse en esta continua inquietud, adoptando la actitud interrogante de revisarlo todo a cada momento y circunstancia como algo consustancial con la propia misión, hasta desarrollarla como un sexto sentido.

Pero esto, aunque necesario, no es suficiente. También el estudio de los métodos exige un método, y debe canalizarse y dirigirse a través de la creación de una oficina formada por técnicos especializados en esa exclusiva tarea.

La introducción eficaz de la mejora de métodos no es sencilla, pues no puede ser labor individual, sino de equipo, y es imprescindible contar para su implantación con la colaboración de maestros y capataces. En primer lugar, por una cuestión de capacidad, pues la oficina de métodos ha de tener una plantilla muy limitada y necesitará contar circunstancialmente, y a veces con frecuencia, con la experiencia y el apoyo de este personal.

En segundo lugar, porque será muy difícil establecer en la práctica un nuevo método con garantías de eficacia y permanencia sin ese mismo apoyo.

Pero esta colaboración pocas veces se da espontáneamente, y hay que vencer muchas resistencias para abandonar la rutina, para ganarse la confianza libre de susceptibilidades y complejos de autoridad para convencer de que el estudio puede perfeccionar la práctica, etc.

También en el obrero se necesita despertar el interés, y éste sólo puede venir por vía económica.

Pero, además, conviene demostrar adecuadamente que la mejora de métodos no se basa en el aumento de esfuerzo para hacer las cosas más aprisa.

Los dos fantasmas de la mejora de métodos son el agotamiento físico y el paro.

Interesa dejar plenamente aclarado que estos dos hechos no pueden ser el fin que se persigue, sino todo lo contrario: A través de métodos más eficaces, si sus beneficios se administran justamente, el obrero verdaderamente sólo puede encontrar ventajas: más ganancia, mejor jornada de trabajo, menos fatiga y peligro.

El campo de acción de una Oficina de métodos, en cuanto a los procesos de trabajo se refiere, ha de alcanzar no sólo a la dirección técnica de la revisión de los procedimientos, de los cronometrajes, coeficientes de fatiga, de actuación y cálculo de tiempos en general, normalización de los métodos y entrenamiento del personal, sino también al control de la productividad

por centros de producción para detectar los puntos que más urgentemente se necesita revisar.

Igualmente la puesta a punto de tablas de tarifas y datos de tiempos básicos para la tasación no tarifable, el contacto y fomento de la colaboración a través de los buzones de sugerencias, etc.

Pero su misión no debe quedar reducida sólo a esto, sino que puede adquirir una extraordinaria importancia al centralizar en ella también la revisión de todo tipo de funciones, como la organización, los reglamentos y manuales de actuación, la formación de mandos, etc.

Dentro del plan que estamos analizando, la creación de la Oficina de métodos adquiere, por todo lo que hemos visto, una significación tan especial, que en realidad no podríamos concebirlo sin ella. Su puesta a punto ha de ser una de las primeras medidas a tomar por el centro director de la reorganización, utilizándola primero como el auxiliar más potente en el período de transformación, para después de pasado éste, quedarse como único organismo que garantice la permanencia y fidelidad de las medidas tomadas, revisándolas continua y sistemáticamente.

La existencia de una Oficina de métodos bien dotada y con personalidad y eficacia suficientes, produciría en cualquiera de nuestros astilleros beneficios insospechados.

*Planificación de la producción.* — "Dirigir es prever."

Este tercer factor de productividad aquí considerado es el más tratado y desarrollado dentro de nuestro ambiente industrial, debido a estar ligado directamente a las vicisitudes de los trabajos, y su empleo surge casi espontáneamente como una exigencia insoslayable.

Por esto no vamos a tratar aquí de justificar su importancia y necesidad, ni tampoco de profundizar en los principios que lo rigen, de sobra conocidos y practicados por todos.

Consideramos únicamente algunos aspectos particulares de los problemas que la planificación y el control plantean en nuestra producción.

Es frecuente que el primer principio imprescindible de toda planificación no se cumpla: El conocimiento exacto de lo que se trata de realizar.

Tener definidas las obras con tiempo suficiente para poder desarrollar sobre ello un plan de trabajos que pueda cumplirse, no es tarea fácil. En primer lugar, se necesita una capacidad de lanzamiento de planos por parte de la Oficina técnica, que no suele ser normalmente lo deseable. ¿Cuántos planos se terminan muy pocos días antes de finalizar una construcción?

En segundo lugar, los planos deben llegar a la Oficina de planificación en forma que las obras estén totalmente definidas y sean realizables.

Estos exige, a través de un contacto íntimo y estrecho, una identificación de criterios y una visión práctica de los hechos, que tampoco suele ser frecuente. Sin que esto suponga crítica negativa, hemos de reconocer que lo tradicional en nuestras Oficinas técnicas ha sido el aislamiento funcional con los ejecutores de los trabajos.

En tercer lugar, las especificaciones que completan a los planos en la definición de las obras, no dejan en forma concreta y fuera de toda duda o aclaración posterior los mil detalles imprescindibles para conocer exactamente lo que se trata de hacer.

Quedan demasiados cabos sueltos en espera de lo que ocurra en el trabajo, de lo que se decida a última hora, y esto supone una perturbación extraordinaria para cualquier tipo de planificación que se intente cumplir.

Un capítulo especial e interesante podría dedicarse a la influencia de la opinión personal del armador o sus representantes en la época de armamento del buque. Si los cambios a destiempo se quisiesen valorar en su coste exacto, probablemente se reducirían a un porcentaje insignificante.

Todo arranca, desde luego, del mal anteriormente apuntado, la insuficiente definición de la obra, la ligereza con la que a veces se procede en los cambios y modificaciones, la poca importancia que se adjudica al hecho de que una planificación prevista haya de alterarse.

Pero no queda en esto solamente la gravedad de los problemas que se plantean en la planificación. Para que un plan se cumpla no sólo tiene que estar definido exactamente lo que hay que hacer, sino también tener a mano en el momento conveniente los elementos precisos.

¿Cuántos planes teóricos que hemos hecho no se han podido cumplir en la práctica por falta de los materiales necesarios? ¿Cuántas veces no

hemos podido contar con los medios y hombres previstos por haberse interpuesto otras exigencias posteriores?

Ahora bien, en la planificación, tal como la concebimos, influirán perturbadoramente todas estas circunstancias muchas veces inevitables; pero esto no significa que es mejor renunciar a ella por considerarla un trabajo inútil.

En la planificación debemos distinguir lo que es estudio y lo que es programación de los trabajos.

Lo primero resulta afectado solamente por la falta de definición o por las modificaciones. Lo segundo, por el contrario, por los medios materiales y humanos disponibles en cada fase.

En cada uno de estos aspectos conviene apurar al máximo todas las posibilidades, procurando evitar que la desmoralización cunda por efecto de las anomalías mencionadas. Una labor importante en la planificación ha de ser la lucha constante y cerrada contra todo aquello que la perturba, porque este es muchas veces el único camino para corregirse y perfeccionarse, cediendo únicamente en lo que verdaderamente resulte insuperable, pero dejando huella y constancia de sus efectos.

Todo el fin de la planificación se concentra en que la ejecución resulte descargada de toda tarea de preparación y previsión.

Cuando se lance la orden de ejecución de cualquier trabajo, ya nada ha de quedar por pensar o resolver.

Se habrá previsto lo que hay que hacer, cómo, cuándo y en cuánto tiempo.

En el estudio del trabajo se desarrollarán todos los procesos y operaciones necesarios para ejecutar la obra, definiendo la coordinación de gremios, los materiales y herramientas y los tiempos de trabajo.

La totalidad de las operaciones que integran una construcción determinada deben quedar de esta forma especificadas, convenientemente clasificadas por conceptos, gremios, etc.

Encajar todo este conjunto en el tiempo es una segunda fase, necesaria desde un punto de vista muy general: El reparto de capacidades y plantillas de personal en un plan a largo plazo, que ha de quedar representado en gráficos adecuados que señalen una distribución aproximada de los medios y una fijación más exacta de las fechas claves: puesta de quilla, botadura, pruebas, entradas y salidas de dique, etc.

Por último, llega la programación, es decir, el sometimiento a un plan fijo de fechas próximas de todo el trabajo previamente estudiado.

Una programación perfecta debe cumplir dos objetivos: uno de producción y otro de productividad.

El primero, disponer la ejecución de los trabajos que permitan un avance de obra de acuerdo con el plan de fechas clave previsto.

El segundo, asegurar la ocupación de hombres y máquinas en forma eficaz y continuada.

En construcción naval no simpre estas exigencias son compatibles, y una de ellas debe sacrificarse a veces por la otra, dependiendo especialmente su preponderancia del ritmo más o menos forzado que imponga la producción.

A veces la terminación a fecha fija de los trabajos, a cualquier precio, típico en reparaciones, y en las últimas fases de armamento o botadura, obliga a una concentración de medios que asegure una producción aun a costa de inferior productividad.

En cualquier clase de industria de producción más regular y tipificada, esta medida sería inadmisible. En la nuestra, viendo los problemas en forma realista, es inevitable hacer, en principio, concesiones que den mayor agilidad a la dirección de los trabajos, sin tratar de imponer una organización rigorista, que quedaría pronto agarrotada y fuera de acción. Pero no conviene perder de vista de que se trata de un mal menor que hay que intentar continuamente de ir reduciendo a un mínimo hasta su extirpación total.

La programación lleva en sí la exigencia de un control minucioso de todo lo que puede influir en el avance de los trabajos: recepción de materiales, ritmo de producción por talleres y gremios, estado de la obra en cada momento, rendimientos, etc.

Un último problema queremos considerar, y es la tendencia a qu ela ejecución se desvíe de la programación. Este es un fenómeno natural y humano, que surge en forma violenta en las primeras fases de la imposición de un orden y un plan.

Nuestro trabajo es propicio a las circunstancias imprevistas que pueden inhabilitar una programación. Y conviene extremar el control en el sentido de comprobar hasta qué punto las nuevas tareas que surgen están justificadas o son producto de una falta de rigor en seguir las

instrucciones o simplemente de indisciplina. Dejar abierta cómodamente la puerta de los imprevistos es exponerse a que en muy poco tiempo la tarea de la planificación resulte prácticamente estéril.

En este punto es imprescindible adoptar un criterio de resistencia sistemática a todo cambio nuevo, mientras no quede plenamente justificado. Y cuando así ocurra, analizar minuciosamente las causas y tomar con mano firme las medidas necesarias que eviten que en el futuro nada igual o parecido se produzca.

Este Estado Mayor de la producción que es la Oficina de Planificación conviene mantenerlo en continua acción de cara a la realidad de los problemas de la producción, para evitar el peligroso anquilosamiento en que puede caer cuando en las obras se adoptan medidas y decisiones sobre la marcha, sin tenerlo en cuenta o informarlo después. Todos estamos de acuerdo en que esta Oficina es imprescindible para dirigir la producción; pero a la hora de las realidades nos olvidamos demasiado frecuentemente de que pensamos así, y de este modo no es difícil encontrar entre nosotros Centros de este tipo que son un simple control pasivo de lo que ocurre, una simple administración del "papeleo".

Por esto, en un plan de reorganización ha de considerarse la creación o revitalización de las Oficinas de Planificación y Control de la Producción como una de las medidas fundamentales.

*Relaciones humanas.* — "Buscad primero el Reino de Dios y su Justicia, y lo demás se os dará por añadidura."

El momento actual de la Organización Científica del Trabajo vive bajo la influencia preponderante del humanismo, según los siguientes principios fundamentales:

1. La mejora de la productividad, aspiración permanente y continua de la moderna producción, tiene como primordial finalidad la elevación del nivel de vida del hombre.
2. El factor humano es el más importante de cuantos influyen en la productividad.
3. Las relaciones humanas en la Empresa son la herramienta indispensable para obtener de este factor la máxima eficacia.

Que esto es verdaderamente cierto, que no se trata de una nueva postura atractiva por su relativa novedad u originalidad, lo refleja el que a esta conclusión han llegado, no los carentes de abundantes medios materiales o desarrollo técnico suficiente que han de aprovechar al máximo lo que buenamente tienen a su alcance; ni los que, poseídos de inquietudes sociales cristianas o tradicional cultura humanística, ven en el obrero, antes que nada, al hombre dotado de valores espirituales que conviene proteger y desarrollar.

Es más, parece suceder precisamente todo lo contrario: Adelantada en esta nueva concepción, con visión certera de su utilitarismo práctico, la industria americana, tantas veces tachada de materialista y, por otra parte, tan sobreabundante en toda clase de otros potentes medios, considera el movimiento de las relaciones humanas como una segunda revolución industrial.

A principios de siglo, Taylor y sus seguidores establecieron unas bases para elevar el rendimiento de la producción, en las cuales el hombre era considerado simplemente como una máquina de producir. Posteriormente, por la introducción de la psicología industrial, se modificó un poco este concepto materialista de la organización, aunque sin dejar de serlo totalmente, pues el hombre venía a ser considerado ya como una máquina delicada que necesitaba un ambiente propicio y que no convenia agotar ni forzar por encima de un ritmo que resultaba antieconómico a largo plazo. En la actualidad la concepción del hombre dentro del complejo industrial arranca de un punto totalmente opuesto: el hombre-persona, dotado, antes que nada, de un alma.

Partiendo de este principio, tratar al hombre como tal pone en manos de la Empresa un arma mucho más eficaz para conseguir sus fines, puesto que se reconoce que el comportamiento, la cooperación voluntaria, la subordinación activa, el interés y entusiasmo del obrero, logrados a través de unas relaciones humanas adecuadas, es más decisivo para elevar la productividad que el perfeccionamiento de métodos, utillaje y equipo. Y llamamos relaciones humanas adecuadas a las relaciones cristianas sinceras.

Recogemos a continuación algunas opiniones que muestran la realidad de este nuevo concepto.

Del informe del Consejo Angloamericano para la productividad, hecho público en 1951:

"Si el aumento de la productividad fué conseguido en el pasado mediante perfeccionamientos técnicos, en la actualidad y en el futro dependerá de una mejora en las relaciones humanas."

La encuesta Hawthorme, de la Western Electric, fué el origen de las llamadas relaciones humanas, y comenzaba con la siguiente frase: "Teníamos fundamento lógico para atribuir el aumento de rendimiento a una mejora de la moral más que a ninguna de las modificaciones materiales adoptadas en el curso de la experiencia."

Incluso Taylor, cuya organización ha sido censurada por inhumana, sostenía la necesidad de un estudio minucioso de los movimientos que influyen sobre los hombres y determinan su conducta, y hasta afirmó que no existiría una organización eficaz sin estas dos condiciones: Primero, voluntad de cooperar; segundo, completa aplicación del método científico.

Dada la psicología del obrero, y teniendo en cuenta su bajo nivel de vida actual, deben plantearse incentivos de tipo moral y de tipo económico para mejorar las relaciones en el trabajo.

Ahora bien; como el salario que permita al obrero una vida digna en justicia sólo puede darse mediante un aumento simultáneo de su rendimiento, esta meta ideal ha de conseguirse en forma progresiva a través de: Una definición de la política social de la Empresa, en la que quede determinada la equivalencia de valores en la función salario-rendimiento-producción.

El aumento sistemático ha de hacerse en forma rigurosamente justa, mediante un estudio minucioso y comparativo, con criterio uniforme y objetivo, que elimine el descontento y despierte la confianza en la política de la Empresa.

Es necesario complementar estas medidas puramente materiales con las que se derivan de un trato cuidado y digno, que ponga de manifiesto la importancia que la Empresa dé al obrero. Que la Empresa adopte una política en este sentido no quiere decir que se vayan a producir inmediatos efectos espectaculares; pero el ejemplo de los jefes; la lealtad, que engendra confianza; el respeto a los compromisos, tácitos o expresos, con los subordinados; la justicia en la remuneración y designación de puestos; el esfuerzo en librar al obrero del complejo de inferioridad que le impide su expansión personal; la elevación de su cultura general, cívica y profesional; la creación, con sentido cristiano y humano, de una atmósfera agradable—forzando al respeto y suprimiento el temor—, repercutirá directa y favorablemente en el obrero-hombre, en el trabajo y en sus relaciones con la Empresa.

Mencionamos unas cuantas medidas de acuerdo con esta política:

Sistematización de los movimientos de ascenso de personal, en fechas o períodos definidos, mediante una valoración de méritos debidamente estudiada.

Para ello será necesario llevar un fichero control de la actuación de cada operario que permita un conocimiento individual y exacto de su actuación, rendimiento, faltas, méritos, etc.

Canalización de las reclamaciones, afrontando el planteamiento y resolución, justa y rápida, de cuantos problemas sean hoy causa de descontento, justificado o no.

Establecimiento de una política de diferenciación entre el buen y mal obrero, manteniendo simultáneamente una disciplina rigurosa y severa y un trato en el que los méritos resulten suficientemente resaltados y recompensados.

Realización de encuestas para conocer la opinión y deseos del obrero.

Formación de un Grupo de empresa que desarrolle actividades culturales, artísticas y deportivas.

Un aspecto importante son las relaciones con los mandos intermedios.

Por muy perfectos que sean los planes de trabajo, si los hombres encargados de realizarlos no son capaces de asimilarlos, de compenetrarse con ellos y de responder de su ejecución, todas las medidas que se tomen para mejorar la organización resultarán ineficaces.

Los mandos subalternos, capataces y maestros, son la pieza fundamental de enlace entre la organización y ejecución de los trabajos.

¿Tenemos maestros y capataces eficaces? Quizá seamos pesimistas, pero intentamos ser sinceros al decir que es uno de nuestros problemas vitales pendientes de solución.

Opinamos que la actitud del mando intermedio ante los problemas de la factoría es, en general, pasiva e incluso, a veces, negativa en lo que se refiere a: Fidelidad en seguir las instrucciones que reciben, previsión de faenas, exigir calidad, imposición de disciplina, análisis de los problemas que se plantean, enseñan-

za a los operarios, colaboración en la organización, identificación con la Empresa en sus problemas obreros.

Esta ineficacia es debida, en su mayor parte, a falta de preparación, mala selección y, en menor grado, negligencia y desinterés en colaborar.

Naturalmente, hacemos las salvedades de rigor, pues siempre existen unos cuantos casos de excepción que nos sirven para contrastar a los restantes.

Es imprescindible, por tanto, incorporar al plan de reorganización la formación de nuevos mandos y revalorización en lo posible de los actuales. Un procedimiento eficaz es el sistema A. M. E. (T. W. I.) para desarrollar las tres capacidades, instruir, mejorar métodos y relaciones con el trabajo.

Conviene completarlo con cursillos y reuniones destinadas a enseñar los dos conocimientos, el profesional y el funcional, que completan las cinco condiciones de un buen mando.

*Las normas.*—Resolver infinidad de problemas más o menos complejos ha de ser la tónica característica de este período de reorganización.

Si no lo logramos en forma completa y definitiva, iremos dejando tras de nuestro paso una serie de cuestiones pendientes que dificultarán o malograrán cualquier avance fundado sobre lo que se pretende suficientemente resuelto.

Por esto es preciso ocuparse de ellos en forma metódica, mediante el procedimiento sintetizado en las cuatro normas mencionadas: Información, Análisis, Aplicación y Comprobación.

Pasaremos muy rápidamente sobre este asunto, porque ya ha sido considerado en cierto modo al ocuparnos de los Métodos.

Con la Información queremos poner de manifiesto la necesidad de conocer exactamente los hechos antes de tomar una decisión, recopilando los antecedentes, anotando las consecuencias, recogiendo la opinión de todos los que resulten afectados, procurando, en fin, un registro completo hasta el último detalle, a través de una actitud interrogante sistemática.

Con el Análisis queremos expresar simplemente la actitud interrogante, no ya respecto a la investigación de los hechos tal como son, sino a la de las causas que los produjeron, los fines que se pretendieron conseguir y el contraste entre lo idealmente previsto y lo realmente alcanzado. Sobre esta investigación vamos perfilando progresivamente las mejoras hasta un nuevo planteamiento y resolución superiores.

Con la Aplicación pasamos del estudio a la práctica, y esto requerirá una serie de medidas especiales para el arranque, instrucciones precisas, preparación y enseñanza del personal, e incluso algunos retoques a la solución adoptada si fuese preciso. Volvemos a insistir en este punto de la necesidad de ganarse la colaboración de quienes han de ejecutar las nuevas medidas tomadas.

Con la Comprobación final queremos hacer hincapié en una circunstancia real: No se puede dar por terminado y resuelto un asunto en cuanto vemos que su arranque ha comenzado en forma normal y satisfactoria.

¿Cuántas veces nos hemos encontrado con la sorpresa de que algo que había quedado totalmente solucionado, al poco tiempo se ha desvirtuado o adulterado, se ha desviado del camino previsto, se han adoptado modificaciones sin previa consulta o incluso se ha vuelto al sistema primitivo?

No podemos dejar de sentir una sana desconfianza hacia la inercia y la rutina, mucho más difíciles de vencer de lo que parece al primer intento de reforma. Es preciso, pues, proceder a una revisión y comprobación periódicas, con frecuencia variable según la importancia del problema y acentuándose más, naturalmente, en la primera época hasta que la solución adoptada resulte totalmente estabilizada.

*Las etapas.* — Definidos los factores y las normas, queda por último la coordinación entre sí y en el tiempo de las medidas que van jalonando la transformación de la factoría en cuanto a su configuración orgánica y sus sistemas de producción.

Es indudable que esta labor ha de ser lenta y progresiva, no sólo por las dificultades propias que entraña la cuestión, sino también para evitar desajustes perturbadores por falta de preparación adecuada para encajar las reformas o por carencia de medios materiales y humanos en forma inmediata.

Es natural que exista una primera etapa, que denominamos Preparación, que no necesita mayor explicación. En ella se ha de hacer un repaso general a los problemas que en forma más

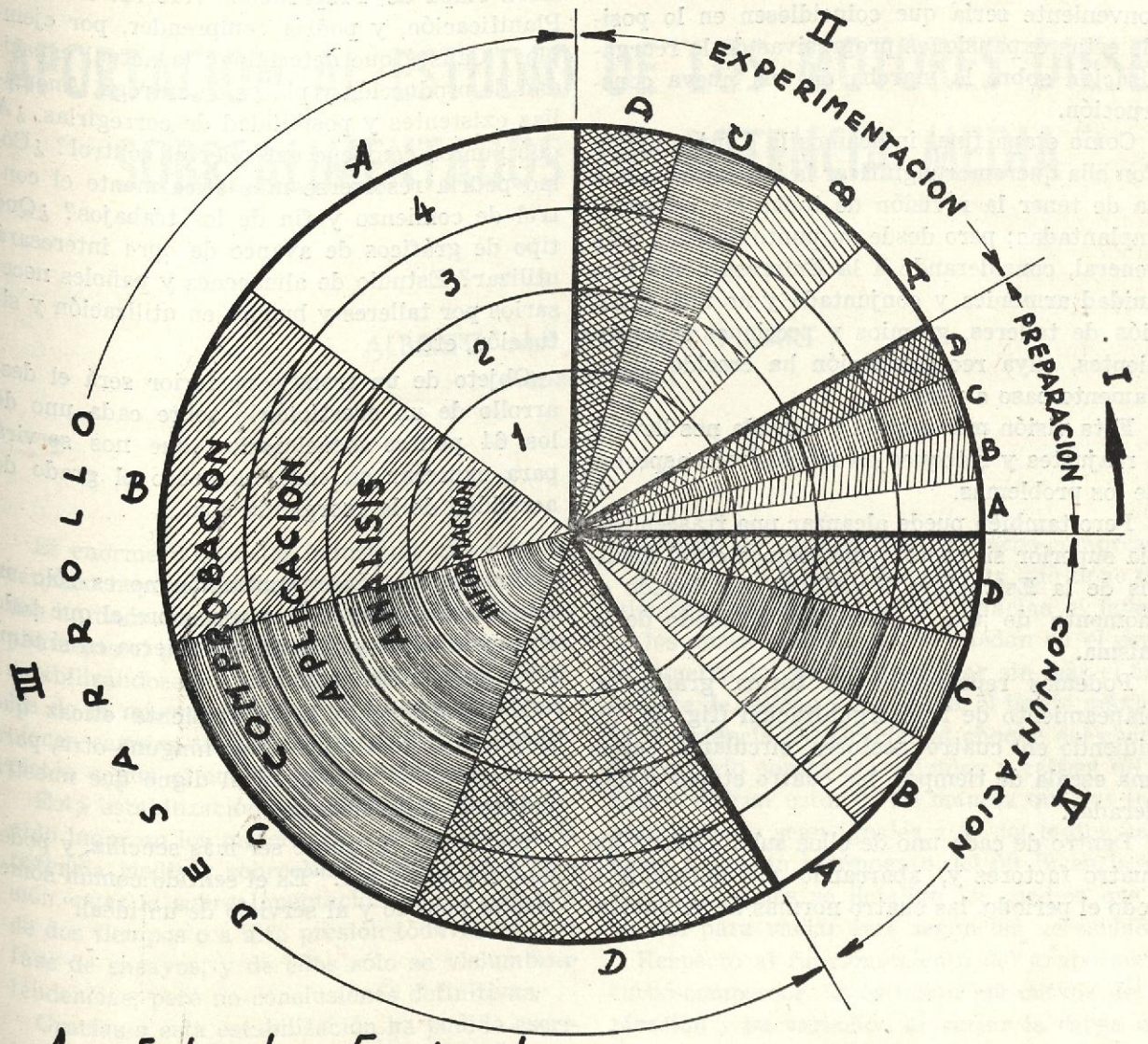
grave o evidente afectan a la Empresa y a su producción, y ha de definirse una política, unos objetivos finales.

Se ha de crear el centro que elabore el detalle del plan y seleccionar y formar al personal técnico que ha de llevarlo a la práctica.

Consideramos después una segunda etapa, que es la Experimentación. Supondría un riesgo innecesario acometer en forma universal a todo el ámbito de la Empresa la serie de reformas deducidas del estudio de un plan teórico.

Conviene reservar la acción a un centro piloto, convenientemente aislado del resto, que nos permita experimentar sobre él, recogiendo una valiosísima información, resultado de los contrastes y reacciones que en la práctica han de sufrir las reformas estudiadas; aparte de que muchos de estos análisis serán incompletos si no ha mediado en ellos la experimentación.

Con la tercera etapa, Desarrollo, llegamos a la parte del plan en el que se generalizan progresivamente las medidas adoptadas en el cen-




A.- Estructura funcional
B.- Métodos de Trabajo
C.- Planificación
D.- Relaciones Humanas

Esquema del Plan

tro piloto después de su revalorización práctica.

Es interesante que este desarrollo se realice en el sentido del proceso de producción, empezando por los talleres primarios y acabando por el armamento a flote. Y todavía mucho más conveniente sería que coincidiesen en lo posible estas expansiones progresivas de la reorganización sobre la marcha de una nueva construcción.

Como etapa final indicamos la Conjuntación. Con ella queremos significar la importancia que ha de tener la revisión de todas las reformas implantadas; pero desde un punto de vista más general, considerando a la Empresa como una unidad armónica y conjuntada y no una colección de talleres, gremios y secciones independientes, cuya reorganización ha crecido aisladamente paso a paso.

Esta visión más amplia y elevada nos llevará a reajustes y retoques en muchísimos aspectos de los problemas.

Pero también puede alcanzar una trascendencia superior si, como apuntábamos en el análisis de la Estructura Funcional, ha llegado el momento de una renovación a fondo de la misma.

Podemos representar en forma gráfica el planeamiento de la reorganización (fig. 1), dividiendo en cuatro sectores circulares, según una escala de tiempos, las cuatro etapas consideradas.

Dentro de cada uno de ellos subdividimos los cuatro factores y, abarcando circularmente a todo el período, las cuatro normas de actuación.

De esta forma obtenemos 64 casillas, que corresponden a puntos diferenciados del plan de acción.

Así, el punto C-2-I recogerá el Análisis, primera etapa de Preparación referido al factor Planificación, y podría comprender, por ejemplo: "Causas que determinan la actual capacidad de producción y plazos de entrega. Anomalías existentes y posibilidad de corregirlas. ¿A qué puntos conviene extender el control? ¿Cómo podría resolverse más eficazmente el control de comienzo y fin de los trabajos? ¿Qué tipo de gráficos de avance de obra interesará utilizar? Estudio de almacenes y pañoles necesarios por talleres y buques en utilización y situación, etc.

Objeto de un trabajo posterior será el desarrollo de un cuestionario sobre cada uno de los 64 puntos mencionados, que nos servirá para expresar en cada momento el grado de actividad de la reorganización.

*Conclusión.*—La organización no es sólo un tema apasionante y de moda sobre el que todo el mundo habla y discute, ni encierra en sí tampoco ningún fin propio.

Es simplemente la herramienta eficaz que está a nuestro alcance como ninguna otra, para conseguir ponernos al nivel digno que nuestra industria debe alcanzar.

Su técnica no puede ser más sencilla, y podemos resumirla así: "Es el sentido común sometido al método y al servicio de un ideal."

# APORTACION AL ESTUDIO DE LOS MOTORES DIESEL SOBREALIMENTADOS DE POTENCIA MEDIA (*)

POR

ALBERTO M.ª ALEGRET RICART

INGENIERO NAVAL

El enorme desarrollo industrial que han alcanzado hoy en día los motores sobrealimentados ha dado lugar a que se haya rebasado ampliamente el período inicial de experimentación, estabilizándose sus características fundamentales de la misma manera que lo están las relaciones carrera-diámetro y velocidad media del pistón según el empleo del motor.

Esta estabilización, sin embargo, sólo ha tenido lugar en los motores de cuatro tiempos de potencia media y sobrealimentados a baja presión, pues la sobrealimentación de los motores de dos tiempos o a alta presión todavía está en fase de ensayos, y de ellos sólo se vislumbran tendencias, pero no conclusiones definitivas.

Gracias a esta estabilización ha podido escribirse la presente Memoria, que es fruto de los análisis, entre sí muy concordantes, de diversos motores que cubren una gama extensa del campo de aplicación de aquéllos.

El autor, después de haber vivido los primeros pasos de la sobrealimentación en nuestro país y haber seguido de cerca la utilización de los motores sobrealimentados, expone en la presente Memoria, aparte de una introducción de carácter general, los puntos que juzga más importantes para el conocimiento íntimo de estos motores, que son: el barrido y el funcionamiento del grupo motor turbo-compresor.

Respecto al barrido, manifiesta que tiene dos misiones fundamentales: 1.º Gracias al lavado de los gases residuales que quedan en el espacio muerto del motor, aumentar sin más el coeficiente de relleno y, por ende, el límite máximo de la potencia. 2.º Gracias al choque del chorro de aire frío contra las válvulas y cabeza de cilindro, enfriar éstos de tal manera que sus temperaturas no sean iguales a la del motor aspirante hasta un incremento del 50 % en la potencia. Después se detallan los medios que se poseen para variar éste según las necesidades.

Respecto al funcionamiento del grupo motor turbo-compresor, se estudian las curvas de aspiración y su variación al variar la carga o el régimen de giro del motor; se presentan los resultados completos de las pruebas de banco de un motor sobrealimentado y, finalmente, se da a conocer el ábaco adimensional, resumen de los cálculos comparativos efectuados en diversos motores sobrealimentados de distintas marcas y características. Con esta figura pueden predecirse con bastante exactitud los resultados de una sobrealimentación con incremento de potencia del 45 % y también aproximadamente para otros tipos de sobrealimentación que el autor no aconseja, por no resultar económicas.

El conjunto de la Memoria responde al siguiente índice de materias:

(*) Memoria presentada en el V Congreso de Ingeniería Naval, mayo 1955.

0.—GENERAL.

1.—EMPLEO ACTUAL DE LOS MOTORES DIESEL SOBREALIMENTADOS.

1.1.—Seguridad de funcionamiento.
1.2.—Los motores propulsores sobrealimentados, en el extranjero.
1.3.—La sobrealimentación en España.

2.—SÍMBOLOS Y EQUIVALENCIAS.

3.—BARRIDO.

3.1.—Coeficiente de relleno e incremento de potencia.
3.2.—Cruce de válvulas.
3.3.—La diferencia de presiones.

4.—FUNCIONAMIENTO DEL GRUPO MOTOR TURBO-COMPRESOR.

4.1.—Diagramas de aspiración.
4.2.—Resultados de pruebas del motor M-429-S.
4.3.—Valores prácticos de la sobrealimentación.

## 0.—GENERAL.

Hace tiempo leíamos en una revista norteamericana un párrafo que se nos quedó grabado en la memoria: "Hoy en día las ventajas de la turbo-sobrealimentación son tan claras y evidentes, que es sorprendente que en tanto tiempo no hayan sido reconocidas. Esta se basa en la idea del ingeniero suizo Alfred Büchi, de introducir el aire a presión en el cilindro por medio de un compresor accionado por los gases de escape, que tardó en ser aceptada en Europa veinte años, y cerca de treinta en América, a pesar de los continuos y persistentes esfuerzos de Büchi para convencer a la industria de motores Diesel de que el peligro de las sobrecargas, tanto mecánicas como térmicas, era completamente infundado."

A primera vista parece, desde luego, sorprendente que una buena idea que tarda tantos años en ser aceptada, hoy en día se admita de tal manera que todas las fábricas proyectan los tipos de motores más modernos a base de sobrealimentación. Sin embargo, se llega a la conclusión de que no era mala la idea, sino que fueron otras razones más que las técnicas las que negaron el paso al nuevo criterio. En efecto, Alfred Büchi quiso proteger su invención patentándola en todos los países industriales, y hay que reconocer que lo consiguió, pero a costa de que ni un fabricante acreditado de motores los alimentara por el procedimiento del genial suizo. Antes al contrario, las opiniones técnicas le fueron en general adversas, encubriendo, según nuestra manera de ver, razones mucho más poderosas, como son las de prestigio y las económicas. Puede parecer algo atrevida la suposición; pero ¿no está hoy en día ocurriendo algo parecido con el barrido transversal y longitudinal?

## 1.—EMPLEO ACTUAL DE LOS MOTORES DIESEL SOBREALIMENTADOS.

### 1.1.—*Seguridad de funcionamiento.*

En frecuentes conversaciones con compañeros de profesión hemos podido observar la desconfianza que produce en algunos la sobrealimentación de los motores que deban instalarse a bordo. Este fenómeno lo atribuímos, entre otras razones, a una falta de conocimiento de este tipo de motor, que tantas ventajas presenta, en la mayoría de los casos, desde todos los puntos de vista.

La principal objeción presentada es sobre la seguridad de funcionamiento. Esta, no sólo deseable, sino necesaria en una máquina que deba instalarse a bordo, en el caso del motor sobrealimentado puede dividirse para su estudio en dos: la seguridad del turbo-compresor y la seguridad del motor propiamente dicho.

El turbo-compresor, como toda máquina en funcionamiento, está sometido a desgaste; pero precisamente por ser rotativa las condiciones de servicio son mucho menos severas que en las alternativas, ya que al constar únicamente de un rotor que gira en el interior de una carcasa, apoyado únicamente en los extremos (fig. 1), con ausencia de cualquier clase de mecanismo, enclavamientos, transmisiones, etc., hace que las únicas piezas sometidas a desgaste mecánico sean los cojinetes, los cuales hay que sustituir cada 4.000 horas de servicio más o menos, dependiendo del tipo. Sólo con esta precaución la turbo-soplante no tiene por qué tener otras averías que las imputables a la falta de cuidado del encargado del motor. En cuanto a las averías producidas por la corrosión química o erosión mecánica de los gases calientes sobre las paletas, debemos tener presente que, frente a las exigencias de los materiales de una turbina de gas, lo que se solicita de los que componen el grupo alimentador es relativamente mucho más

moderado, y no hay duda que se posee hoy día suficiente conocimiento sobre ellos para poderlos eliminar como fuente de averías. Por otra parte, los constructores de turbo-soplantes señalan un tope a la temperatura de los gases, a partir del cual no responden de un posible fallo.

Por último, la avería debida a una sobrevelocidad es imposible que ocurra, porque gracias al enlace del turbo-compresor y motor, el aumento del régimen de la turbina sólo es compatible con un aumento de la potencia del motor y, por tanto, previendo, como se hace, la turbina con un poco de margen, siempre será el motor el que antes acuse la sobrecarga que la turbina su sobrevelocidad. De todas maneras, en el caso, del todo improbable, de que falle, el motor puede seguir andando indefinidamente, en el caso peor de tener la turbo-soplante estropeada y colocada sobre el motor, de tal manera que los gases de escape tengan que atravesarla, con un 85 % de la potencia del mismo motor aspirante, o lo que es lo mismo, un 60 % de su potencia normal en servicio.

En cuanto a la seguridad de funcionamiento del motor, sólo nos detendremos un instante para considerar los dos aspectos de las pretendidas sobrecargas mecánica y térmica. Estas sobrecargas en realidad no existen, pues refiriéndonos a la primera, si bien es cierto que el motor da más potencia, por tanto, más par motor a las mismas r. p. m., el cigüeñal sigue cumpliendo las prescripciones del Lloyd's Register; por tanto, no existe motivo alguno de preocupación por este lado. En cuanto a las cargas de trabajo de los elementos verticales del motor, bastidor, tirantes, espárragos de culata, etc., y las de los cojinetes de apoyo, hay que tener en cuenta que éstos vienen dimensionados según la presión máxima de combustión, que en todos los casos es igual o sólo ligeramente superior a la del motor aspirante, y, en todo caso, al adaptar

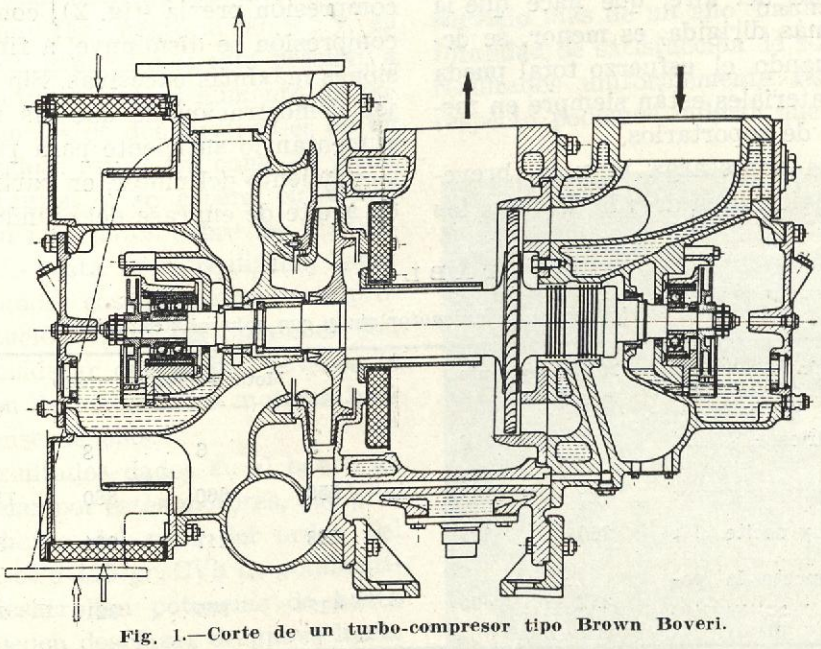


Fig. 1.—Corte de un turbo-compresor tipo Brown Boveri.

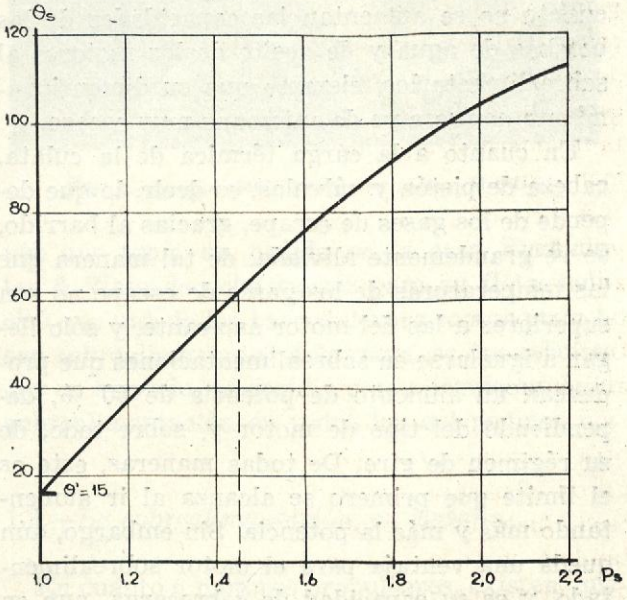



Fig. 2.—Temperatura del aire de sobrealimentación.

La temperatura de 60° es la máxima a que, sin peligro de la carga térmica del motor, puede llegar el aire de sobrealimentación. La curva está trazada a partir de valores medios.

la sobrealimentación siempre pueden recalcularse para impedir un posible fallo por este motivo. Además, si se tiene en cuenta que el gradiente de las presiones de encendido, debido a la mayor densidad del aire, que hace que la combustión sea más dirigida, es menor, se deduce que, aun cuando el esfuerzo total pueda ser mayor, los materiales están siempre en mejores condiciones de soportarlos.

En cuanto a la sobrecarga térmica, brevemente podemos dividirla en dos: la debida a las temperaturas del ciclo y la debida a los gases de escape. Las temperaturas del ciclo son siempre algo superiores, pues tanto el aire entra más caliente, debido al calentamiento sufrido en la compresión previa (fig. 2), como la relación de compresión se disminuye, a fin de no ir a presiones máximas excesivas. Sin embargo, la mejor demostración de que las temperaturas no aumentan lo suficiente para perjudicar el funcionamiento del motor, en particular la película de aceite de engrase del cilindro, es la tabla I:

TABLA I

*Calor de refrigeración de un motor sin y con sobrealimentación.*

| Designación | Motor aspirante | | Motor sobrealimentado | | | | Unidad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presión media específica | 5 | 6 | 5 | 6 | 8 | 10 | Kg/cm² |
| Potencia | 550 | 660 | 550 | 660 | 880 | 1100 | CV |
| Calor cedido al agua y aceite | 260 | 285 | 228 | 247 | 284 | 315 | $10^3$ Kcal. / h. |
| Calor específico respecto la potencia | 472 | 433 | 415 | 375 | 321 | 285 | Kcal. / CV h. |

La cantidad de calor cedido a los flúidos refrigeradores, agua y aceite, puede tomarse como uno de los índices de la carga térmica. En él se ve que el calor cedido no aumenta, ni con mucho, con la potencia, y que el calor por CV disminuye. La práctica confirma el cuadro en cuanto no se aumentan las capacidades de las bombas de agua y de aceite de los motores al sobrealimentarlos, siempre que su dimensionamiento no fuera ya de antemano muy escaso.

En cuanto a la carga térmica de la culata, cabeza de pistón y válvulas, es decir, lo que depende de los gases de escape, gracias al barrido, se ve grandemente aliviada, de tal manera que las temperaturas de los gases de escape no son superiores a las del motor aspirante, y sólo llegan a igualarse en sobrealimentaciones que produzcan un aumento de potencia de 50 %, dependiendo del tipo de motor y, sobre todo, de su régimen de giro. De todas maneras, este es el límite que primero se alcanza al ir aumentando más y más la potencia. Sin embargo, aún queda una ventaja para el motor sobrealimentado, y es su capacidad de sobrecarga, aun en el límite en que las temperaturas son idénticas al motor aspirante, pues éstas crecen en los motores alimentados más despacio que en los aspirantes. Téngase en cuenta, además, que es posible, a base de aumentar la compresión, disminuir estas temperaturas por mejorar el rendimiento térmico, pero esto a costa de aumentar la carga mecánica del motor.

En resumen, creemos, por las razones aducidas, que los motores sobrealimentados no son en modo alguno más inseguros que los aspirantes. Cierto es que se introduce una modificación que, por otra parte, no es ni siquiera sustancial en el motor. Pero, ¿no hemos censurado a alguno de nuestros antecesores en la técnica por no admitir en su tiempo mejoras que ahora nos parecen tan evidentes? No caigamos, pues, en el mismo error al hablar de una pequeña transformación que proporciona un ahorro notable en peso, empacho, combustible y precio por caballo, y que representa el mayor avance experimentado por los motores Diesel en los últimos cuarenta años.

### 1.2.—*Los motores propulsores sobrealimentados, en el extranjero.*

Las grandes ventajas que representan los motores sobrealimentados hace que, en los grandes motores propulsores de dos tiempos, consi-

derados como intocables desde hace bastantes años vaya introduciéndose la sobrealimentación, siguiendo un desarrollo similar al sufrido en los motores de cuatro tiempos, los cuales empezaron por aumentar su potencia en un 33 %, y llegan hoy fácilmente al 50 %; y, en motores apretados, gracias a la alta presión, a 100 % y más. Actualmente, el aumento de potencia obtenido en los de dos tiempos es de un 30 %, considerándose esta cifra como de plena seguridad y garantía, y se espera en breve, cuando se posean más datos sobre los resultados prácticos de lo hasta ahora realizado, llegar al 50 %. Las grandes casas constructoras proceden con precaución; pero las opiniones son unánimes en considerar que podrá llevarse la sobrealimentación de los grandes motores hasta las últimas consecuencias.

Los buenos resultados dados en el banco de pruebas y en la mar por estos motores, que proporcionan un ahorro del peso del orden del 35 %, consumen sólo 155 gr/CVh de combustible pesado, y desarrollan potencias de hasta 1.200 CV/cil., pueden desplazar de nuevo hacia más altas potencias el límite económico entre el motor y la turbina de vapor, pues el balance de un buque de un solo eje propulsor con ≈ 10.000 CV de potencia, demuestra que el ahorro en pesetas de combustible en un año de 300 días de trabajo es de más de 4.000.000. Como comparación, podemos indicar que en España un motor así costaría actualmente del orden de 32 millones de pesetas.

En cuanto al volumen de motores realizados, podemos indicar que hoy en día existen en el mundo unos 65 motores Burmeister & Wain, terminados o en construcción, con un total de 550.000 CV; ocho motores Werkspoor-Lugt, con 36.000 CV; cinco Stork de simple efecto, con 30.000 CV, y diversos Doxford, con un total de 80 motores propulsores de dos tiempos, sobrealimentados mediante turbina de gas de escape, que representan una potencia global de 620.000 CV.

Respecto a los motores propulsores de menor potencia, se pueden citar los Sinon, instalados en barcos británicos de 1.680 CV, así como diversos motores del tipo Polar.

La casa Sulzer, además, ha anunciado la prueba del primer motor de dos tiempos sobrealimentado, del tipo RS76, que espera podrá realizarse el próximo año, y actualmente tiene en funcionamiento el monocilindro del tipo SD, en ensayos de sobrealimentación.

La casa MAN, asimismo, también ha terminado ya sus trabajos experimentales.

De todos estos motores, sólo ocho llevan en servicio más de un año, habiéndolo prestado a totalidad de satisfacción de sus armadores, con resultados uniformemente favorables. A este respecto podemos indicar que un armador danés que tenía un pedido en la casa Burmeister & Wain de ocho barcos para su flota, solicitó que uno de los barcos llevara motor propulsor sobrealimentado. A la vista de los resultados en servicio, se decidió por la adopción de la sobrealimentación en todos los del pedido.

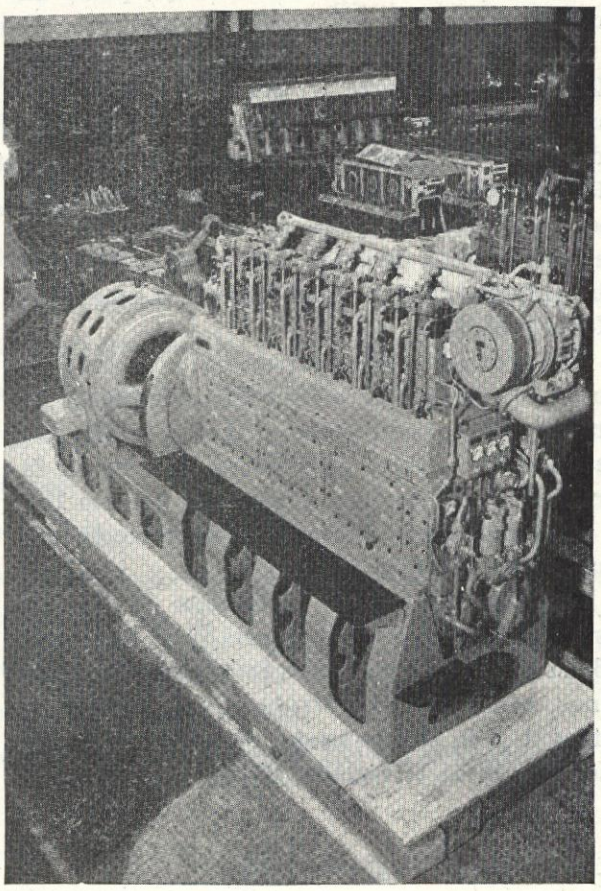


Fig. 3.—Grupo electrógeno con motor M-620-S.

1.3.—*La sobrealimentación, en España.*

En cuanto a motores propulsores, existen, que conozcamos, sólo los barcos de la Marina de guerra, con motor Krupp sobrealimentado; los dos buques de Otaegui y el remolcador de Re-

molcadores de Barcelona, que llevan M-829-S, de 700 HP. y 375 r. p. m., de cuatro tiempos. Dejando aparte los buques de guerra, la aplicación de motores sobrealimentados en los buques pesqueros ha producido, respecto a otros barcos similares, un gran ahorro de combustible por marea. En ningún caso ha sido posible encontrar avería imputable a la sobrealimentación. En cuanto al remolcador, todavía es muy prematuro, por su reciente montaje, poder suministrar datos de funcionamiento.

En el año 1949, en las oficinas técnicas de La Maquinista Terrestre y Marítima, dieron comienzo los trabajos a fin de realizar la primera adaptación de la sobrealimentación a uno de los motores de serie más conocidos: el motor M-829. Los resultados no pudieron ser más halagadores, y a la vista de éstos se procedió a la sobrealimentación de los motores de la misma serie, M-429 y M-629.

En las pruebas exhaustivas, tanto de duración como de resistencia, a que se sometieron los prototipos, se dedujo que el motor estaba perfectamente a punto para poner la serie en fabricación, realizándose a primeros del año 1950 y siguiendo desde entonces la fabricación normal de los distintos tipos.

Actualmente existen instalados 24 motores estacionarios, con una potencia total de más de 16.000 CV, y tres motores como propulsores marinos, en los buques *Parrote* y *Villa Lizarza*, de Otaegui, y en el remolcador *Montblanch*, de Remolcadores de Barcelona, S. A.

Con la experiencia adquirida en la sobrealimentación de este tipo empezaron los estudios de la adaptación al motor de serie M-20, el cual presentaba, en teoría al menos, más dificultad, dado su más alto régimen de vueltas y sus menores dimensiones (fig. 3). Por otra parte, dada su construcción sólida y robusta y el amplio dimensionamiento del cigüeñal y los cojinetes, se esperaba obtener resultados de aumentos de potencia inapreciables, siempre dentro de los límites de la más estricta seguridad; y una vez más la experiencia comprobó ampliamente nuestras suposiciones.

A través de los ensayos efectuados en los prototipos de las series M-29-S y M-20-S, y comparando estos resultados con los datos de información provinentes de adaptaciones de sobrealimentación realizados por otras casas, se ha llegado a diversas conclusiones. De éstas exponemos a continuación las referentes al barrido y al funcionamiento del grupo motor-turbina-compresor, por creer que son las que mejor pueden aclarar las ideas sobre la intimidad del motor sobrealimentado.

Aunque las ideas sean generales, hay que tener presente que han sido deducidas de la experimentación de adaptaciones a motores ya existentes, que cubren la zona de 100 a 1.000 HP con r. p. m. oscilantes entre 250 y 900, y se refieren a presiones de sobrealimentación de hasta 0,4, es decir, baja presión, realizadas por el sistema Büchi y con incrementos de potencia de hasta el 50 %.

## 2.—Símbolos y equivalencias.

### NOMENCLATURA

| Símbolo | Unidad | Definición |
|---|---|---|
| $b$ | — | Grado de barrido $\frac{\text{vol. espacio muerto}}{\text{vol. aire barrido}}$ |
| $C$ | cm | Carrera. |
| $D$ | cm | Diámetro del cilindro. |
| $Fao$ | $cm^2 \sphericalangle^0$ | Función área grado $\int_0^{\alpha_0} S\,d\alpha$ |
| $G$ | kg/s | Caudal de aire total $VR_t \frac{n}{60\,T} \gamma Z$ |
| $G_b$ | g | Peso de aire de barrido por embolada $G_b = R_b V \gamma$ |
| $G_c$ | g | Peso de aire comburente por embolada $G_c = R_c V \gamma$ |
| $G_n$ | $m^3/s$ | Caudal de aire total $VR_t \frac{n}{60\,T} Z$ |

| Símbolo | Unidad | Definición |
|---|---|---|
| $G_T$ | g | Peso de aire total por embolada $G_T = T_T \; V \gamma$ |
| $g$ | cm/s² | Aceleración de la gravedad. |
| $g$ | g/CVh | Consumo específico. |
| $i$ | — | Coeficiente de contracción del paso del aire. |
| $L$ | g/g | Aire mínimo de combustión. |
| $N$ | CV | Potencia del motor $Z \times N_{cil}$ |
| $N/cil$ | CV | Potencia por cilindro $\frac{1}{450\,T} \cdot pme \cdot V \cdot n$ |
| $n$ | rpm | Régimen de giro del motor. |
| $p_o$ | kg/cm² | Presión atmosférica. |
| $p_s$ | kg/cm² | Presión de sobrealimentación. |
| $p_t$ | kg/cm² | Presión en el tubo de escape. |
| $pme$ | kg/cm² | Presión media efectiva. |
| $\Delta p$ | kg/cm² | Depresión en el interior del cilindro. |
| $\Delta pb$ | kg/cm² | Diferencia de presiones, colector de admisión y escape. |
| $R_b$ | — | Coeficiente de barrido. |
| $R_c$ | — | Coeficiente de relleno. |
| $R_T$ | — | Coeficiente de aire total. |
| $S$ | cm² | Sección de paso resultante instantanea de la válvula de admisión y escape $\frac{1}{S^2} = \frac{1}{S_e^2} + \frac{1}{S_a^2}$ |
| $S_a$ | cm² | Sección instantánea de paso válvula admisión. |
| $S_e$ | cm² | Sección instantánea de paso válvula escape. |
| $T$ | — | Número de tiempos: $T = 1$ Dos tiempos. $T = 2$ Cuatro tiempos. |
| $t$ | s | Tiempo. |
| $V$ | l | Volumen de la cilindrada: $V = \frac{\pi D^2}{4000} C$ |
| $V_o$ | l | Volumen del espacio muerto. |
| $Z$ | — | Número de cilindros. |
| $\alpha$ | ∢° | Grados del cigüeñal. |
| $\gamma$ | g/l | Peso específico del aire atmosférico. |
| $\gamma_b$ | g/l | Peso específico del aire de barrido. |
| $\delta$ | — | Coeficiente de dilución $e^{-b}$ |
| $\theta$ | °C | Incremento de temperatura en el cilindro. |
| $\theta'$ | °C | Temperatura ambiente. |
| $\theta_s$ | °C | Temperatura del aire de sobrealimentación. |
| $\theta_t$ | °C | Temperatura en el tubo de escape. |
| $\lambda$ | — | Exceso de aire de combustión. |

## 3.—Barrido.

### 3.1.—*Coeficiente de relleno e incremento de potencia.*

El motor sobrealimentado tiene la gran ventaja frente al aspirante que, aparte de realizar la renovación de la carga de aire con más facilidad y rellenando de aire más denso, permite, gracias a la diferencia de presiones entre el colector de admisión y el tubo de escape, solapando ligeramente las curvas características de los diagramas de movimiento de las válvulas, realizar un eficaz barrido de los gases de escape que fatalmente, como gases residuales, deben quedarse en el espacio muerto del motor, y a la vez refrigerar la culata, el pistón y las válvulas.

La importancia de este barrido es extraordinaria, puesto que su sola existencia es la que determina en gran parte el aumento inicial de potencia en los motores sobrealimentados. En efecto, en los motores aspirantes de cuatro tiempos la renovación de la carga se realiza por sus propios medios, actuando el pistón motor como el de un compresor. El aire, al introducirse de la atmósfera al interior del cilindro, sufre una laminación al pasar a gran velocidad por los conductos de la culata y válvula de admisión, por lo que en el momento del cierre de la válvula en el interior del cilindro no existe la presión exterior, sino una depresión que se intenta disminuir en lo posible con el retraso en el cierre, y cuya importancia depende de la forma currentiforme de los conductos de aspiración y de la velocidad de paso, aumentando al aumentar las vueltas del motor y aproximadamente en un mismo tipo de motor, con el cuadrado de éstas. Además, el aire, al entrar, se calienta gracias a la radiación de las paredes del cilindro y a la mezcla con los gases residuales que ocupan el espacio muerto. De todo lo expuesto se deduce que la relación del volumen de aire introducido en la cámara al volumen de la cilindrada, es decir, el coeficiente de relleno, no es la unidad, sino un número menor. De los tres factores que lo disminuyen: depresión en el cilindro, temperatura de la mezcla, volumen ocupado por los gases de escape, este último es el más importante en cuantía y es sobre el que actúa al principio la sobrealimentación al lograr su barrido. Ahora bien; dada la escasa cantidad de gases a barrer se consigue con muy poca presión a la entrada. Esto explica el por qué de este incremento fácil de la potencia que se observa en el motor sobrealimentado a muy baja presión.

Para hacer patente lo anteriormente expuesto, se ha procedido al cálculo comparativo de la potencia que se obtendría en un mismo motor bajo distintas condiciones de renovación de la carga. Los datos de partida son fruto de nuestra experiencia, y asimismo los resultados se han visto confirmados por la práctica.

La cantidad de aire comburente que se introduce en el interior de un cilindro de un motor Diesel es:

$$G_c = \gamma V R_c \qquad [1]$$

y la forma más general del coeficiente de relleno es:

$$R_c = \frac{\dfrac{p_s - \Delta_p}{p_o}\left(V + V_0 - V_0 \dfrac{p_t}{p_s - \Delta_p} \dfrac{273 + \theta + \theta_s}{273 + \theta_t} e^{-b}\right)}{V} \cdot \frac{273 + \theta'}{273 + \theta + \theta_s} \qquad [2]$$

Este es el único factor de la cantidad de aire que es variable según el procedimiento de la renovación de la carga, puesto que $V$ y $\gamma$ son constantes.

Este factor, algunas casas extranjeras acostumbran a representarlo, en el caso de motores sobrealimentados, por:

$$R_c = \frac{p_s}{p_o} \cdot \frac{V_0 + V}{V} \cdot \frac{273 + \theta'}{273 + \theta_s} \eta$$

Siendo $\eta$ el coeficiente volumétrico que oscila de 0,83 a 0,92, según el diseño de la culata del motor y según el régimen de giro.

La fórmula [2], en el caso de un motor sobrealimentado con barrido completo, es:

$$R_c = \frac{p_s - \Delta_p}{p_o} \cdot \frac{V_0 + V}{V} \cdot \frac{273 + \theta'}{273 + \theta + \theta_s}$$

y la única diferencia entre las dos fórmulas es que se engloba en $\eta$ el valor de $\Delta_p$ y de $\theta$.

Nosotros utilizamos la [2], por presentar más aparente la separación de las pérdidas, aunque las diferencias obtenidas en el empleo de una u otra sean muy pequeñas.

Vamos, pues, a comparar su valor en tres motores idénticos: el primero, A, aspirante; el segundo, B, sobrealimentado sin cruce de válvulas, y el tercero, C, sobrealimentado con cruce de válvulas, y correspondiendo a dos presiones de sobrealimentación: 1,15 y 1,35 kg/cm². La presión de 1,15 es la mínima, con la que prácticamente es suficiente el barrido ($\delta = e^{-b}$ muy pequeño) para expulsar los gases sucios, estando el cruce de válvulas correctamente dimensionado. No se considera refrigeración intermedia, y también se supone que los tres motores están a punto, es decir, los tres quemando con el mismo exceso de aire. Hacemos recalcar este punto puesto que, dado el maridaje existente entre el motor, la turbina y el compresor, una vez adaptada una sobrealimentación para obtener un incremento de potencia dado, la presión del colector de aspiración es función de la carga del motor y no se puede obtener un exceso de aire fijado en la combustión con una presión determinada de aspiración, pues sólo se puede jugar con una variable, que es la carga del freno, es decir, la *pme*. Si se desea experimentar sobre este punto, a fin de tener resultados exactos, es preciso conectar un derrame de paso variable en el colector de aspiración, a fin de ajustar la presión de sobrealimentación y la posición de las correderas de las bombas, para obtener el exceso de aire deseado. Hay que tener en cuenta, además, que la temperatura del aire de alimentación corresponderá, no a la presión del colector, sino a la que tendría el colector de no haber realizado la sangría de aire. Indudablemente, lo más cómodo es disponer de dos grupos turbo-compresores adecuados; pero esta solución es excesivamente cara.

Los datos y resultados de estos cálculos se encuentran en la tabla II.

TABLA II

| | Símbolo | Unidad | A | B | | C | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cruce de válvulas | — | — | Sin | Sin | Sin | Con | Con |
| Presión de sobrealimentación | $p_s$ | Kg/cm² | 1 | 1,15 | 1,35 | 1,15 | 1,35 |
| Relación de volumen | $\frac{V+V_0}{V}$ | — | 1,07 | 1,09 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |
| Depresión en el interior del cilindro | $\Delta_p$ | Kg/cm² | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Presión de escape | $p_t$ | Kg/cm² | 1,05 | 1,10 | 1,30 | 1 | 1 |
| Temperatura ambiente | $\theta'$ | °C | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Temperatura aire sobrealimentación | $\theta_s$ | °C | — | 32 | 57 | 32 | 57 |
| Incremento temperatura del cilindro | $\theta$ | °C | 50 | 50 | 50 | 30 | 30 |
| Temperatura en el tubo de escape | $\theta_t$ | °C | 380 | 410 | 450 | — | — |
| Grado de barrido | $b$ | — | 0 | 0 | 0 | — | — |
| Coeficiente de relleno | $R_c$ | — | 0,82 | 0,94 | 1,04 | 1,07 | 1,14 |
| Presión media efectiva | $pme$ | Kg/cm² | 5,5 | 6,3 | 6,95 | 7,2 | 7,65 |
| Relación de potencia | $\frac{N_s}{N_A}$ | — | 1 | 1,15 | 1,27 | 1,31 | 1,4 |

Respecto a las presiones en el escape, hay que tener en cuenta que por ser el motor B un motor sobrealimentado sin cruce de válvulas, será de tubo de escape único, a fin de mejorar en lo posible el rendimiento de la turbina con una admisión total. Su presión será, pues, siempre superior a la atmosférica y creciente con la carga del motor, y, por tanto, con la presión de sobrealimentación. El motor C es sobrealimentado con cruce de válvulas; lleva, pues, tubos de

escape independientes, a fin de no interferirse los escapes. Como en estos tubos existe una onda de retorno que con un dimensionamiento adecuado puede ser de depresión en el momento de barrido, la presión se ha supuesto igual a la unidad e igual en los dos casos, porque si bien a mayor presión de sobrealimentación también corresponde mayor presión media en el tubo de escape, también la onda de depresión es más enérgica, restableciéndose el equilibrio.

En cuanto a la temperatura del cilindro en el motor A y B, se ha supuesto constante, puesto que ésta depende, como se ha dicho, de la radiación de las paredes y de la mezcla con los calientes gases residuales, y en estos dos motores no se barren. El motor C, sin embargo, se barre; por tanto, la temperatura es menor.

Los valores del coeficiente de barrido se han indicado como 0 para los motores A y B, e $\infty$ para el C, aunque no sea del todo cierto, ya que $e^{-b}$ es $\simeq$ 0,2 para una presión de sobrealimentación de 1,15 y $\simeq$ 0,05 para una presión de sobrealimentación de 1,35. En los dos casos, con un cruce de válvulas que cumpla la condición que más atrás se expone.

Con estos valores, pues, se han calculado los coeficientes de relleno correspondientes.

Ahora bien; el coeficiente de relleno está íntimamente relacionado con la presión media efectiva, el coeficiente de exceso de aire y con el consumo, mediante la fórmula

$$\lambda = \frac{R_c \cdot \gamma \cdot 60 \cdot 450}{L \cdot g \cdot pme} \qquad [3]$$

En ésta, $\gamma$ y $L$ son constantes. Por otra parte, puede suponerse sin error apreciable que los consumos de todos los motores son iguales, inferiores, desde luego, los más sobrealimentados, por razón de su mejor torbellino y mejor pulverización, dado que se introduce el chorro de combustible en aire más denso y mejor rendimiento mecánico. El coeficiente de exceso de aire es también constante (otra razón para que los consumos sean muy parecidos), ya que se ha supuesto que los motores estaban en idénticas condiciones. Por consiguiente, la presión media efectiva es proporcional al coeficiente de relleno y, por ende, también las potencias obtenidas lo serán.

Analizando los % de incrementos de potencias obtenidos respecto al motor A tomado como unidad, observamos de la comparación de los motores B y C que con sobrealimentación al 15 % de incremento de presión, los incrementos de potencia obtenidos son 15 y 31 %, con una diferencia de 16 % obtenida gracias únicamente al barrido. Con sobrealimentación al 35 % en las presiones, los incrementos son, respectivamente, 27 y 40 %, con una diferencia del 13 %. Vemos, pues, que la ganancia producida por el barrido se conserva. Esta sola razón sería suficiente si no hubiera otras, que se exponen más adelante, para decidirnos a la sobrealimentación Büchi, dentro siempre del tipo de sobrealimentación a baja presión que estamos considerando.

En la práctica, el incremento de potencia que se puede obtener en los motores sobrealimentados con barrido es mayor que el expuesto, pues gracias al enfriamiento producido por el paso del aire del barrido es posible quemar el gas-oil con toda garantía respecto a la carga térmica, con valores del exceso de aire menores que en los motores aspirantes.

Vistos los saludables efectos de barrido, pasemos a estudiar las variables que lo influyen y la manera de determinarlas.

### 3.2.—*Cruce de válvulas.*

La ecuación que representa la cantidad de aire que barre los gases residuales y de paso enfría la cabeza del pistón y la válvula de escape, puede representarse por:

$$dG_b = i\, S \sqrt{2g\, \gamma\, b\, \Delta p_b}\, dt$$

Esta ecuación se integra,

$$G_b = i \sqrt{2g\, \gamma\, b\, \Delta pm_b} \int_o^{tb} S dt$$

y como,

$$d\alpha = 6\, ndt$$

nos queda:

$$G_b \frac{i}{6n} \sqrt{2g\, \gamma\, b\, \Delta pm_b} \int_o^{\alpha b} S d\alpha$$

$$G_b = \frac{i}{6n} \sqrt{2g\, \gamma\, b\, \Delta pm_b} \cdot Fao \qquad [4]$$

El valor de la integral que hemos designado por *Fao* representa físicamente el producto de

la sección media resultante de paso de las válvulas de admisión y escape por el número de grados medidos sobre el cigüeñal de la fase de barrido. Esta sección media resultante es tal que en el tiempo de la fase de barrido deja pasar la misma cantidad de aire que la sección real resultante variable en el mismo tiempo.

Como la sección real resultante y variable $S$ es función en cada instante de las de paso de la válvula de admisión y escape $S_e$ y $S_a$, se deduce que del conocimiento de la función área-grado y del número de grados de la fase de barrido podremos deducir, por tanteo, el perfil de las levas de admisión y escape, dando por conocidos los diámetros de las válvulas y la relación del brazo de palanca formado por los balancines.

Para determinar el valor de la función área-grado, en la fase de proyecto, podemos razonar de la siguiente manera: Para un grado de sobrealimentación dado, entendiendo por tal la relación entre la presión de sobrealimentación y la atmosférica, se verifica que:

$$Fao = K\,G_b\,n$$

llamando $K$ a los términos constantes.

Pero $G_b$, por otra parte, a fin de obtener el barrido suficiente, debe ser proporcional a la cilindrada, como índice del volumen de gases quemados que debe desplazar y a la diferencia entre las *pme* en la nueva potencia normal del motor y la que tenía antes de sobrealimentar, como índice del incremento de temperatura que hay que eliminar. De donde se deduce que:

$$Fao = K(pme_s - pme_a)Vn = K_1\,\Delta\,N/\text{cil.}$$

Es decir, la función área-grado debe ser proporcional al incremento de potencia por cilindro que desee obtenerse.

De la comparación de diversos motores analizados se ha deducido que, para grados de sobrealimentación de hasta 45 %, el coeficiente $K$ varía entre 105 y 90, y como valor medio, 95.

Por consiguiente, para el proyecto de una adaptación de sobrealimentación, puede tomarse:

$$Fao = 95\,\Delta\,N/cil \qquad [5]$$

viniendo medida en cm² × ∢° cigüeñal.

Este valor de 95 puede ser siempre considerado correcto en el caso de culatas no dibujadas expresamente con gran preocupación por la forma aerodinámica de las secciones de paso, pues el coeficiente de forma $i$ citado anteriormente, al aumentar con un buen dibujo de los canales de aspiración y escape, permite disminuir el factor hasta unos 85. Como ejemplo, en las figuras 4a y 4b se observa el perfil del conducto de aspiración de un motor aspirante y el

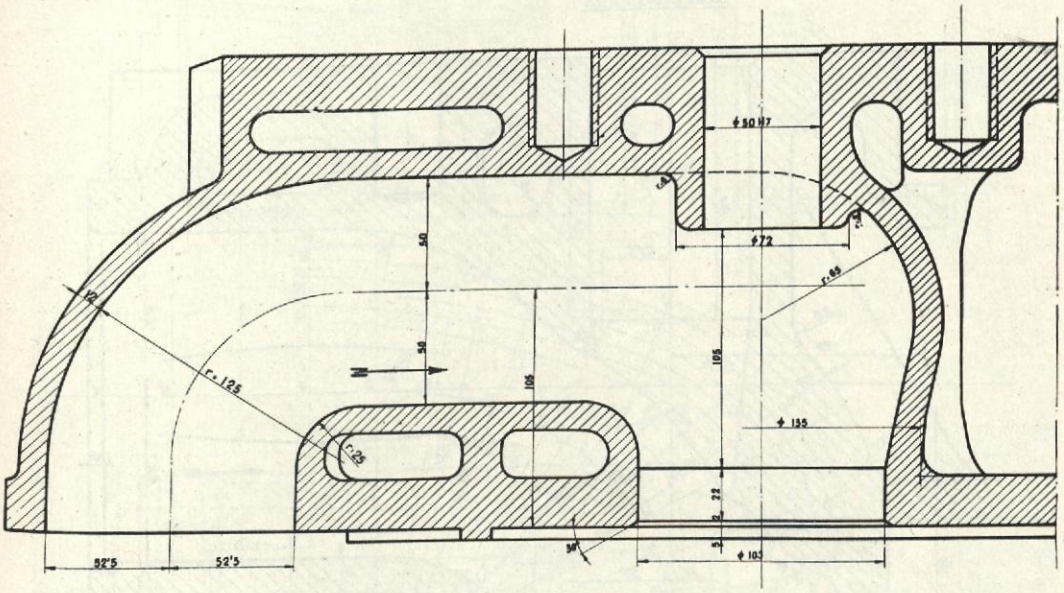



Fig. 4a.—Culata del motor M-29 sin sobrealimentar.

perfil del mismo conducto después de la modificación sufrida para adaptar la culata a un motor sobrealimentado. Esta culata pertenece a los motores M-29-S. Otro ejemplo de conductos correctamente dibujados para la sobrealimentación es la fig. 5, que pertenece a un motor Sulzer para tracción ferroviaria, construído también en La Maquinista Terrestre y Marítima.

Aunque no sea necesario modificar la forma de los conductos de paso del aire de la culata existente al proyectar una adaptación de sobrealimentación, sí estimamos conveniente considerar esta cuestión. El dibujar una culata absolutamente intercambiable con las antiguas, no es gran problema para el proyectista, y la sustitución de la pieza antigua por la nueva es asunto que, puesto que se cumple la condición de intercambiabilidad, se resuelve automáticamente con una simple modificación de plano. En cambio, si se acierta un trazado bien currentiforme en los canales de paso, resulta una gran ventaja, no sólo para el motor sobrealimentado, sino también para el motor aspirante, pues en ambos motores es vital una fácil renovación de la carga.

No debe creerse que esta cuestión tiene más importancia en el motor aspirante que en el sobrealimentado. Cierto es que el primero realiza la respiración por sus propios medios y que el segundo está ayudado, y que gracias a esta ayuda aparta considerablemente el límite de humo; pero, dado que en éste pasa más aire, las pérdidas de carga también, aunque no aparentemente, son más acusadas y, por tanto, la potencia obtenida será menor. No debe considerarse el incremento de potencia que se obtiene con la sobrealimentación de un motor como un regalo, el cual no se puede censurar, sino como algo que todo motor está en condiciones de poder dar, y a nosotros nos toca exigirlo en el grado máximo compatible con la seguridad, facilitándole todos los medios necesarios. En la figura 6 vemos las mejoras sufridas en las curvas, de presiones y de consumo, del motor sobrealimentado M-29-S, gracias a la modificación de las culatas.

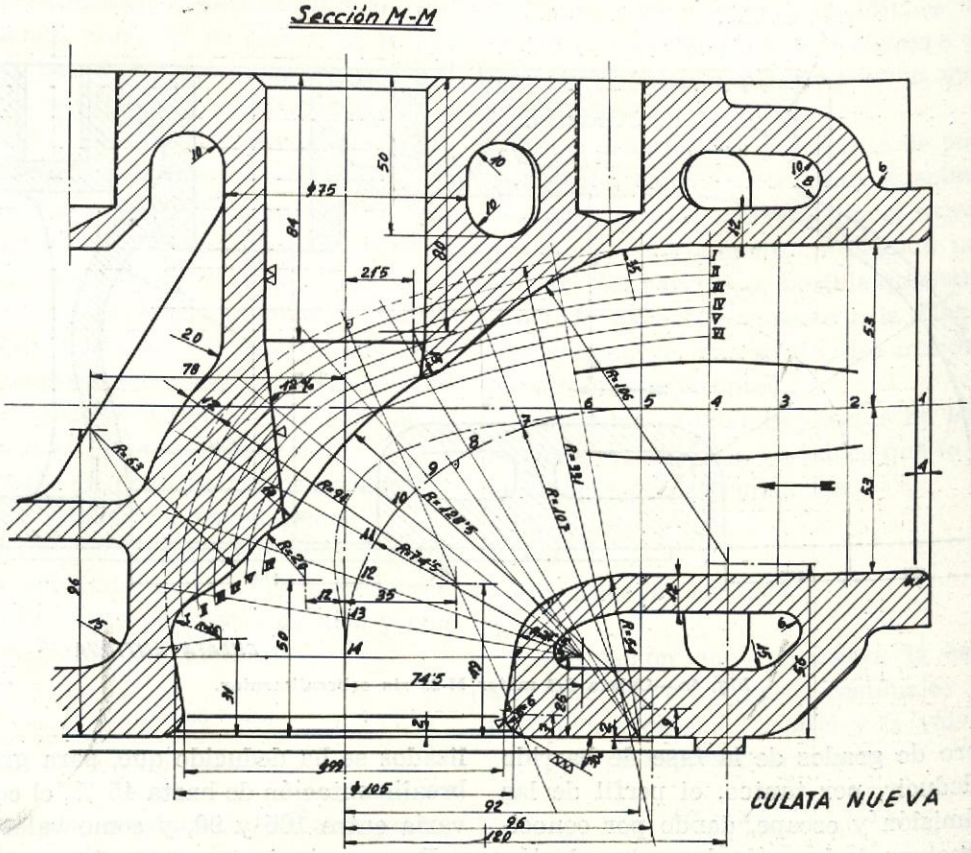



Fig. 4b.—Culata del motor M-29 modificada para sobrealimentar.

El valor en grados de cigüeñal del cruce de válvulas debe tomarse, aproximadamente, 140°; 60° para el avance de la apertura de la válvula de admisión y 80° para el retraso al cierre de la válvula de escape. No conviene ir a valores menores, debido a la dificultad en obtener la función área-grado necesaria, so pena de aumentar la pendiente de la leva, cosa que no recomendamos, aun a sabiendas de que podemos aumentar la energía de las ondas de escape, ni tampoco ir a valores mayores, pues disminuiríamos demasiado la carrera útil del pistón.

En los motores Diesel lentos, el proyectar las levas a fin de obtener, con un valor máximo de 140° de cruce de válvulas y una pendiente de leva admisible, la función área-grado necesaria, no suele ser problema, puesto que la potencia por litro de cilindrada no es grande; no así en los motores rápidos de gran potencia unitaria.

En efecto, sean dos motores monocilíndricos homotéticos, es decir, que la *pme*, la relación carrera-diámetro y la velocidad media del pistón se mantienen constantes.

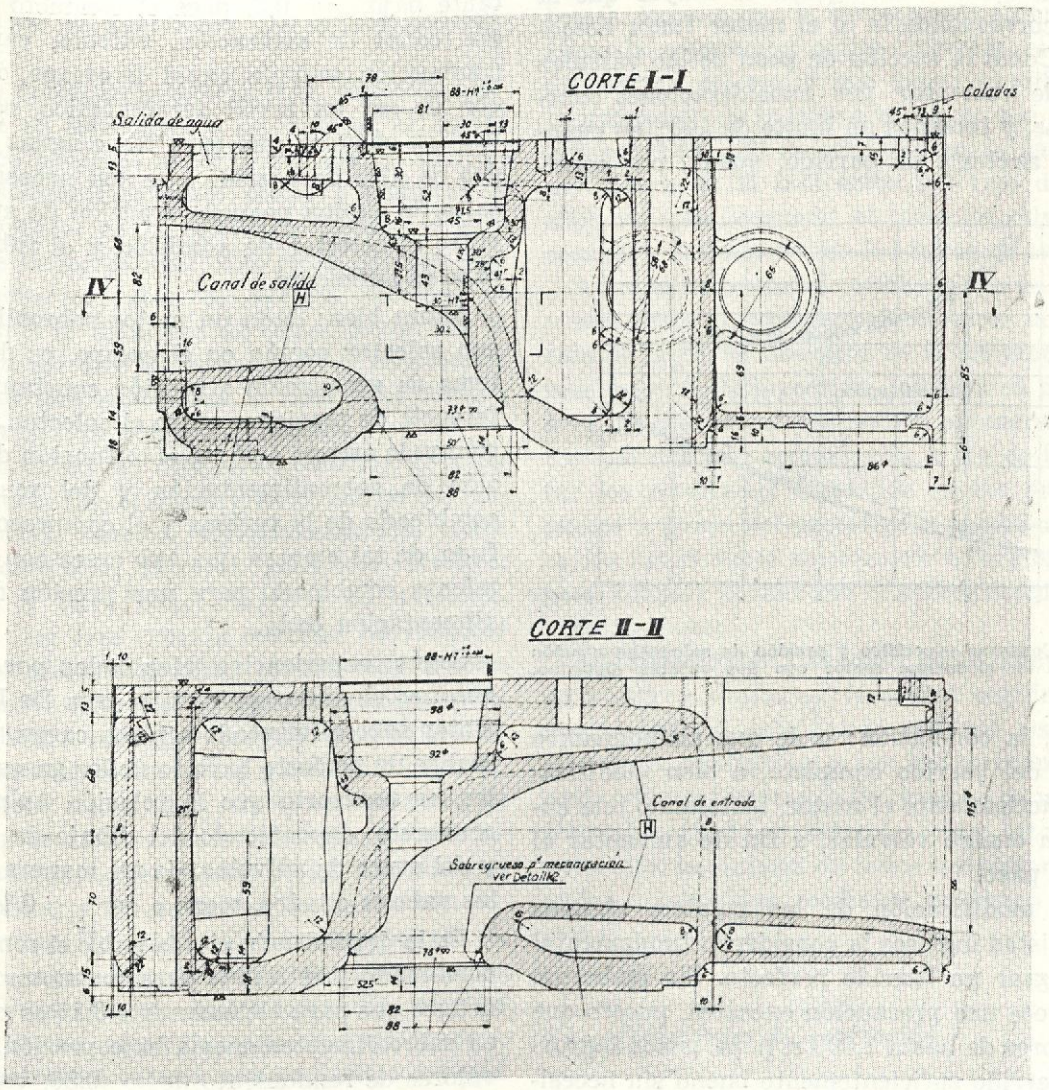



**Fig. 5.—Conductos de aspiración y escape de un motor de tracción Sulzer especialmente estudiado para la sobrealimentación.**

En estos se verifica que $N/\text{cil.} = KD^2$. Por tanto:

$$\Delta N/cil = K_1 D^2$$

de donde:

$$Fao = K_1 D^2$$

Es decir, como las áreas de paso en las válvulas serán también proporcionales a $D^2$, resul-

taría la misma dificultad o facilidad en lograr el cruce de válvulas necesario. Pero esto no es así, en la realidad: Cuanto más pequeño es el motor, generalmente más apurado está, tanto en velocidad media del pistón como en *pme*. Por tanto, la función área-grado es mayor que la que le correspondería si el motor fuera homotético. Como la sección de paso de las válvulas no puede aumentar por consideraciones constructivas, y tenemos un límite de 140°, en cuanto a la anchura de barrido, queda, por consi-

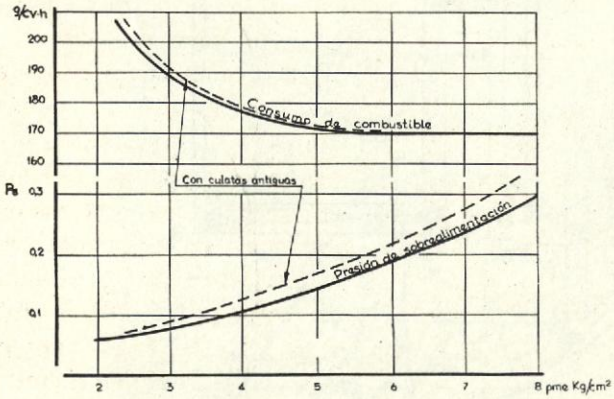



**Fig. 6.—Consumo específico y presión de sobrealimentación obtenidos en el mismo motor con dos culatas distintas.**

guiente, la conclusión: o de que abandonamos la idea del barrido completo, o bien modificamos prácticamente el motor, instalando una culata con cuatro válvulas, a fin de aumentar el área de paso.

Esta modificación de las culatas, algunos proyectistas ingleses la consideran fundamental para lograr un barrido perfecto. Sin embargo, nos parece una precaución excesiva, puesto que en motores de hasta 1.000 r. p. m. puede lograrse un barrido suficientemente bueno sin necesidad de una modificación tan radical, que sólo puede ser justificada en sobrealimentación a alta presión—puesto que ésta en sí obliga a reformas fundamentales—, o bien en casos de motores extrapolados por lo rápidos y por la potencia por litro de cilindrada que se desee obtener.

Una de las ventajas más importantes de la sobrealimentación a baja presión, que es la de la sencillez de la adaptación, se vería, en el caso de admitir la necesidad de las cuatro válvulas, grandemente amenazada. Sin embargo, repetimos, es posible obtener sobrealimentaciones perfectas sin necesidad de modificar la culata.

### 3.3.—*La diferencia de presiones.*

A igualdad de las demás condiciones, el barrido crece con el $\Delta pb$. Aunque el coeficiente $i$ de estrangulamiento de la vena gaseosa sea bastante bajo, $\simeq$ 0,5, pues el conducto formado por canal de aspiración, válvula, cámara de combustión, válvula, canal de escape, diste mucho de ser un perfil aerodinámico, se deduce por los cálculos que para las exiguas cantidades de aire de barrido que son necesarias, un salto de alguna pequeña fracción de atmósfera entre el colector de admisión y el tubo de escape es suficiente.

Ahora bien; dado un motor sobrealimentado con colector común en el escape, es decir, sistema de evacuación a presión constante, la diferencia de presiones entre el colector de admisión y de escape $\Delta pb$, es sólo función de la presión de sobrealimentación y del rendimiento combinado de la turbina y el compresor centrífugo, de tal manera que $\Delta pb$ crece con el rendimiento combinado para una presión de sobrealimentación dada.

Según experiencias efectuadas por diversos autores, singularmente en la casa De Laval, un motor sobrealimentado a plena carga, para que realice un perfecto barrido de los gases residuales, es necesario que la relación $\Delta pbm/p_s$ sea constante, dependiendo del dibujo de la culata y del cruce de válvulas, de tal manera que, con los valores citados, viene a ser $\simeq$ 0,16.

De la dependencia citada entre el rendimiento combinado y el $\Delta pbm$ para un motor dado, se deduce que para alcanzar este 0,16 es necesario, en sobrealimentaciones a baja presión, llegar a valores de rendimiento de $\simeq$ 0,80, y para alta presión, es decir, relaciones de presión de dos en adelante, 0,60. Ahora bien; un rendimiento combinado del 0,80 es tan elevado en un grupo turbo-compresor de baja presión, que es imposible de obtener en una máquina comercial. Por tanto, para sobrealimentaciones a baja presión no puede utilizarse el sistema de evacuación a presión constante, y hay que recurrir al sistema Büchi o sistema de tubos de escape separados, a fin de aprovechar algo de la energía cinética de los gases en forma de ondas de presión que se superponen al valor de la presión media del tubo, de tal manera que coincida la depresión en el momento de apertura de la válvula de es-

cape, mejorado de esta manera sin más el barrido de la cámara de combustión.

No queremos detenernos más sobre este punto, que ha sido perfectamente estudiado, además, por la casa Brown Boveri, por creer que se aparta del trabajo específico del ingeniero encargado de la adaptación de la sobrealimentación.

Por lo expuesto anteriormente, podemos afirmar que en este aspecto de mejorar el $\Delta$ *pbm*, muy poco podemos hacer, pues, aparte de utilizar la sobrealimentación Büchi y comprar la turbo-soplante en la casa que ofrezca el producto de mejor calidad, sólo resta dibujar adecuadamente los tubos de escape, teniendo en cuenta que el diámetro de éstos, junto con la velocidad del aire en el colector de aspiración, son datos que suministra la casa constructora de los grupos de sobrealimentación.

La velocidad del aire en el colector de aspiración varía con el número de cilindros del motor, y puede tomarse aproximadamente: para cuatro cilindros, 15 m/s; para seis cilindros, 20 m/s, y para ocho cilindros en adelante, 25 m/s. Con este criterio resultan los motores de menor número de cilindros, con mayor volumen relativo de canal de aspiración, cosa necesaria debido a la mayor irregularidad de las aspiraciones. En cuanto a los gases de escape, en los diversos casos analizados, su velocidad es del orden de 15 m/s. Este valor sólo debe utilizarse para un tanteo previo de las dimensiones de los tubos, a fin de prever su colocación sobre el motor. En cuanto al diámetro definitivo, hay que seguir exactamente las instrucciones del suministrador de turbo-soplantes, pues la energía de las ondas depende en gran manera del diámetro del tubo, y una pequeña variación puede alterar la posición de los nodos y vientres, con las fatales consecuencias de tener una zona de presión en el momento de apertura de la válvula de escape.

## 4.—Funcionamiento del grupo motor-turbo-compresor.

El problema de la determinación de las características mecánicas del soplador es un problema que incumbe exclusivamente al suministrador, pues raras veces una fábrica de motores Diesel es una fábrica de turbo-compresores, y aunque exista este caso, siempre estarán las oficinas técnicas separadas, resultando que en ningún caso es el mismo ingeniero quien realiza la adaptación de sobrealimentación el que proyecta la soplante.

Los datos que deben facilitarse son: la potencia, las r. p. m., la carrera y el diámetro, así como la separación entre cilindros, el número de tiempos del motor que quiere modificarse y la indicación de la nueva potencia que se desea obtener. Con esta documentación, la casa suministradora da la indicación del tipo de turbo-soplante más adecuado, el cruce de válvulas necesario y el diámetro de los tubos de escape.

Aunque de hecho el problema quede resuelto y sólo reste al ingeniero de motores la realización de la parte mecánica de la adaptación y la resolución de la inyección, interesa en gran manera conocer cómo han podido obtenerse los datos que nos han comunicado, a fin de interpretar los resultados obtenidos en las pruebas y puesta a punto del prototipo y también modificarlos ligeramente sin recurrir a largos tanteos para adaptar al máximo la sobrealimentación a nuestro motor.

El procedimiento seguido es la comparación de motores similares. Nosotros seguiremos el mismo camino, estudiando primero los diagramas de la aspiración y sus leyes; después presentando los resultados de pruebas de un motor sobrealimentado, razonando sobre éstos, y, finalmente, la síntesis de todos los motores ensayados o conocidos, mediante un ábaco adimensional.

### 4.1.—*Diagramas de aspiración.*

El diagrama característico de un compresor centrífugo se acostumbra a representarlo tomando en ordenadas la relación de las presiones de entrada y salida de la soplante, o bien teniendo en cuenta que la presión atmosférica se toma como la unidad, la presión del colector de aspiración. Señalar en ordenadas la relación de presiones es muy útil en adaptaciones de sobrealimentación estudiadas especialmente para motores que deban funcionar a muchos metros por encima del nivel del mar. En abcisas se colocan los gastos en $m^3/h$, de aire en las condiciones de la aspiración, y se dibuja la curva que relaciona gastos con presiones para cada número de

revoluciones por minuto del compresor (fig. 7). En estos diagramas aparece la zona de bombeo limitada por una curva, aproximadamente una parábola. En esta zona el compresor no debe actuar, pues su funcionamiento es inestable. Corresponde a elevadas relaciones de presiones con poco caudal.

La relación entre el gasto y el número de revoluciones es una parábola para una presión de sobrealimentación constante, y la presión de sobrealimentación para un gasto constante es proporcional al cuadrado de las r. p. m.

Sobre un diagrama con las mismas escalas en los ejes (fig. 7) se pueden trazar asimismo las curvas características de la aspiración del motor. Para unas determinadas r. p. m. y cruce de válvulas, la cantidad de aire que pasa a través del motor es función únicamente de la presión en el colector de admisión. Experimentalmente las curvas de aspiración se pueden determinar sin ninguna dificultad. Variando las vueltas y el cruce de válvulas se puede obtener una red de curvas que resuelven completamente el probleblema de conocer en cualquier caso para una presión en la admisión conocida, el volumen de aire que circula.

Ahora bien; este volumen de aire que pasa por el motor puede descomponerse en dos partes: una, que es la que queda encerrada en el cilindro, en la carrera de compresión y expansión, en el supuesto de un motor de cuatro tiempos, y otra, que es la que se escapa directamente del colector de aspiración al de escape, a través de las válvulas abiertas durante el período del cruce. El primero es el aire de combustión y el segundo es el de barrido.

Supuestas dibujadas la curva del aire de combustión y la total (fig. 8), cuya diferencia nos da el aire de barrido, vamos a ver cómo varían al cambiar las r. p. m. y el cruce de válvulas. Para un número de r. p. m. constante, al aumentar el cruce de válvulas aumenta solamente la parte correspondiente de aire de barrido, pero no la de combustión. Por tanto, desplaza la curva de aspiración hacia la derecha, de tal manera que a doble cruce de válvulas, doble cantidad de aire de barrido, puesto que el área de paso del aire se ha duplicado.

Si variamos las vueltas, se desplazan a la vez la curva correspondiente al aire de combustión y la total, de manera que se mantiene constante la cantidad de metros cúbicos de aire de barrido que pasa por el motor en la unidad de tiempo, ya que, si bien el número de emboladas es mayor, también es cierto que, dada la constancia de los grados del cruce, el tiempo que tiene para

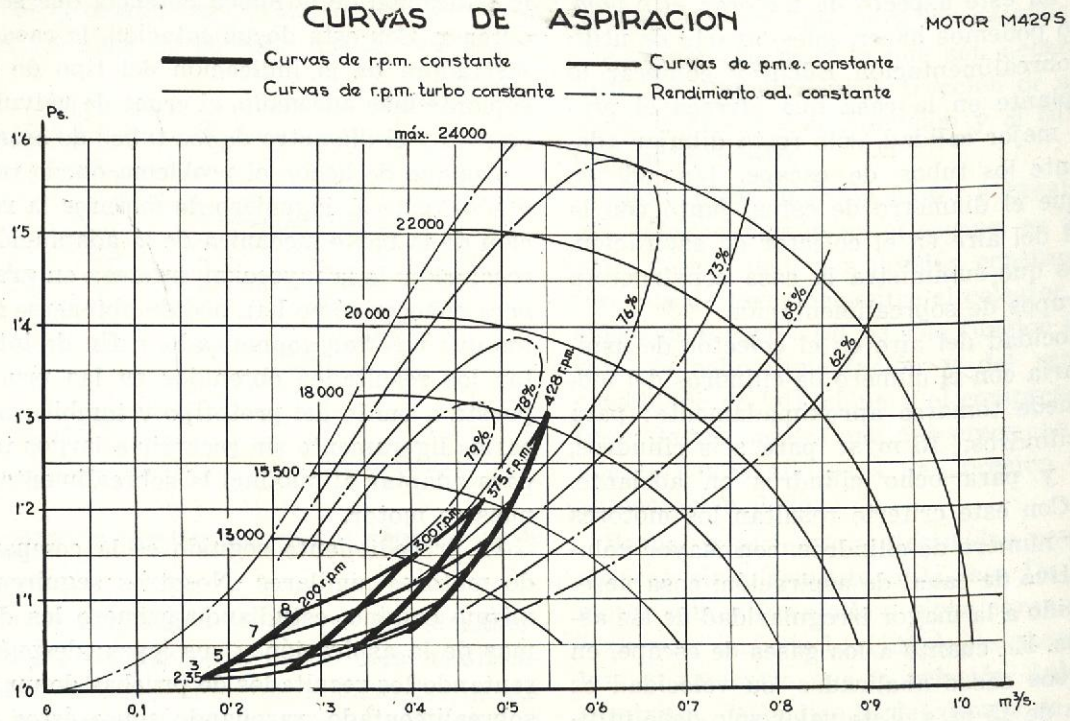



**Fig. 7.—Curvas aspiración a r. p. m. y p. m. e. constantes del motor M-429-S, dibujadas sobre el diagrama de curvas características del compresor.**

barrer es menor, compensándose los resultados. Por tanto, si duplicamos las vueltas tendremos algo menos del doble del aire de combustión, gracias a la disminución del coeficiente de relleno y algo menos que la misma cantidad de aire de barrido, debido a ser el flujo de éste más intermitente.

A análogas conclusiones llegaríamos examinando las fórmulas [1] y [4], que nos dan por

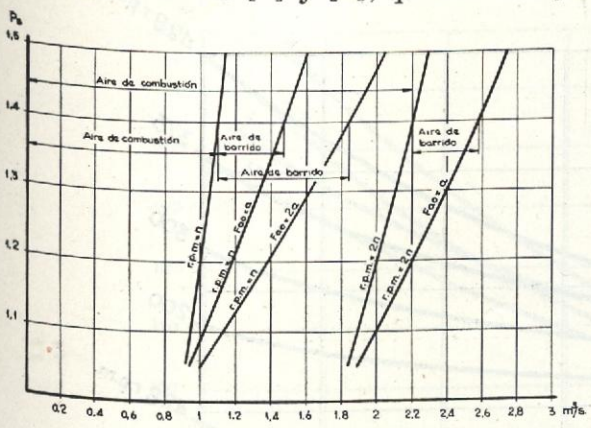



**Fig. 8.—Variación de las curvas de aspiración de un motor al variar el cruce de válvulas y el régimen de giro del motor.**

embolada el aire de combustión y el aire de barrido, respectivamente. En efecto, combinándolas deduciremos que la cantidad de aire que pasa por segundo por el motor es:

$$G_a = Z \frac{l}{\gamma} \frac{n}{120} \left( V R_c \gamma + \frac{Fao}{6n} \sqrt{2g \gamma b \Delta p_b} \right) \quad [6]$$

Si tenemos en cuenta que estas curvas son características del motor considerado como máquina de émbolo, resulta que serán independientes de la sobrealimentación a la que pueda someterse el motor y sólo lo influirá grandemente si el tubo de escape fuera común para todos los cilindros, puesto que entonces existiría una contrapresión que obligaría a considerar las ordenadas como relación de presiones y no como presión absoluta, lo que ocurrirá al emplear el sistema de sobrealimentación llamado de "presión constante"; pero como tratamos principalmente de la sobrealimentación Büchi o por ondas, la presión en el escape, al realizarse el barrido, como ya se ha dicho, es siempre similar a la atmosférica; por tanto, en muy poco o en nada vendrán afectadas las curvas de aspiración al hermanarse el motor con el grupo turbo-soplante.

Por consiguiente, si en fase de proyecto se pudieran conocer éstas, la elección del soplador queda reducida a buscar, entre los existentes, uno tal que, superpuestas las curvas características de uno y otro, puesto que el aire que circula por uno es igual al que circula por el otro, resulte que las del motor coincidan con las de máximo rendimiento del soplador en las r. p. m. normales de servicio y a la vez que en toda la gama de utilización del motor las curvas de éste no lleguen a cortar la curva de límite o de bombeo del compresor. Sin embargo, el problema sólo quedará conocido en la parte del soplador, pues las dimensiones de la turbina, en cuanto a diámetros, áreas de paso, disposición del difusor, etc., no los trataremos y supondremos implícitamente que si el compresor es el adecuado, la turbina también lo será o podrá serlo.

### 4.2.—*Resultados de pruebas del motor M-429-S.*

Consideremos ahora los resultados de los ensayos realizados en la adaptación de sobrealimentación del motor M-429-S.

En las figuras 9 y 10 se hallan representados gráficamente los valores obtenidos en el banco de pruebas durante la puesta a punto del prototipo, y son:

1.° La presión del aire de sobrealimentación, medido en el colector de admisión en kg/cm².

2.° Cantidad de aire total que pasa a través del motor en kg/s, medido con tobera de aforo.

3.° Temperatura de este aire, medida asimismo en el colector de admisión, en ° C.

4.° Consumo de combustible en g/CV/h.

5.° Revoluciones por minuto del soplador.

6.° Temperatura de gases de escape en ° C, medida a la salida de las válvulas.

Todos estos valores, obtenidos en función de la *pme* y correspondientes a los cuatro regímenes estudiados de 428, 375, 300, 200 r. p. m.

Las restantes características principales del motor pueden verse en la cabecera de las figuras citadas.

Estos datos son los suficientes para determinar si la adaptación ha sido bien realizada y todos los elementos que la componen están proporcionados. (En este prototipo no hubo necesidad de experimentar sobre la cámara de combustión, sobre presiones máximas del ciclo y sobre el equipo de inyección y su regulación,

pues ya se conocían de antemano por los ensayos realizados en los prototipos de la misma serie, M-829-S y M-629-S.)

En efecto, con los datos de presiones de sobrealimentación y cantidades totales de aire, se pueden dibujar las curvas de aspiración del mo-

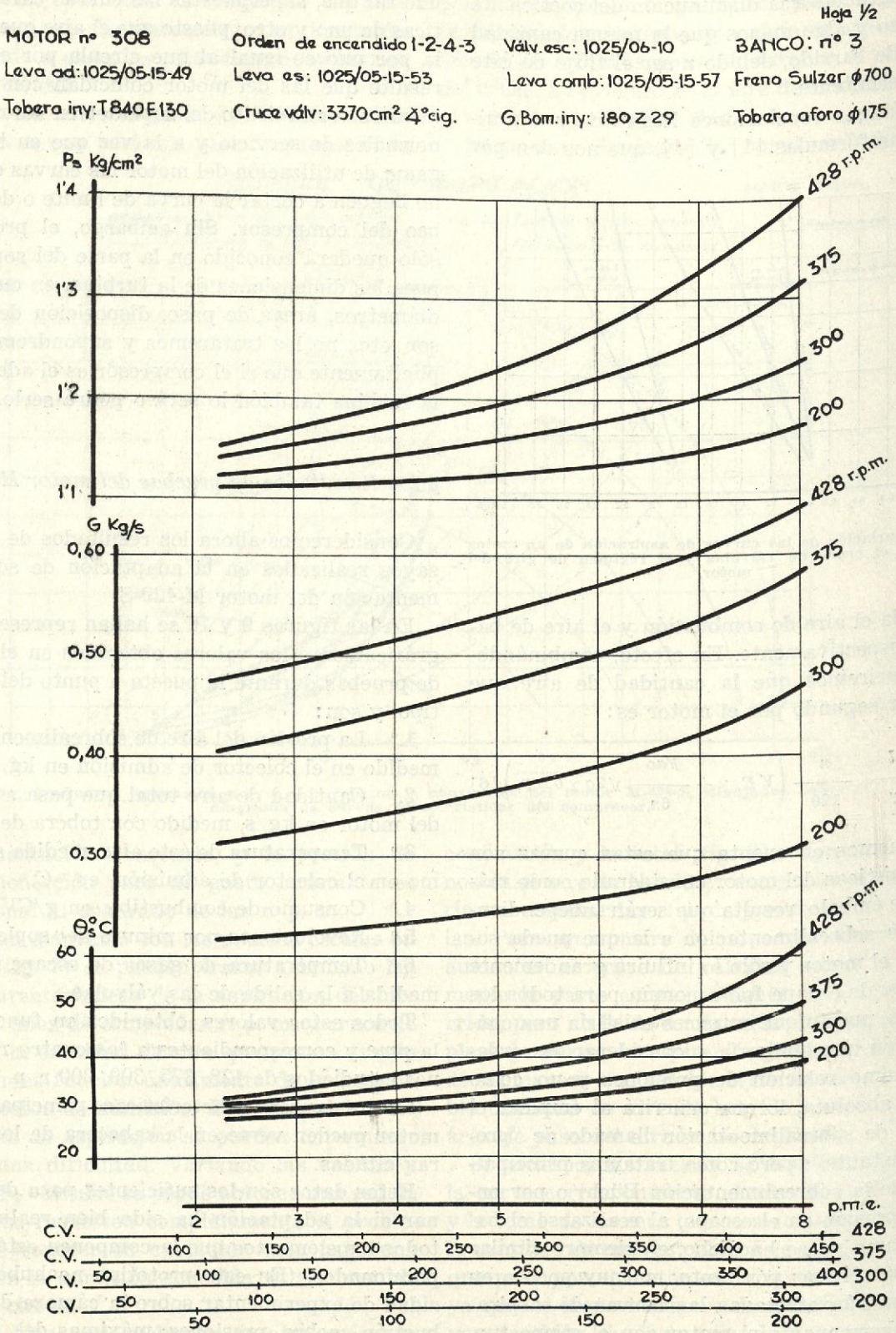



**Fig. 9.—Resultados de banco de pruebas del motor M-429-S: Presión de sobrealimentación, caudal de aire y temperatura del aire de sobrealimentación.**

tor sobre el diagrama del compresor (fig. 7), dibujando asimismo las curvas de *pme* constante. En este punto debemos hacer notar que si en lugar de citar siempre la *pme* se hubiera indicado la *pmi*, toda la exposición habría ganado en rigor físico, y así se hubiera realizado

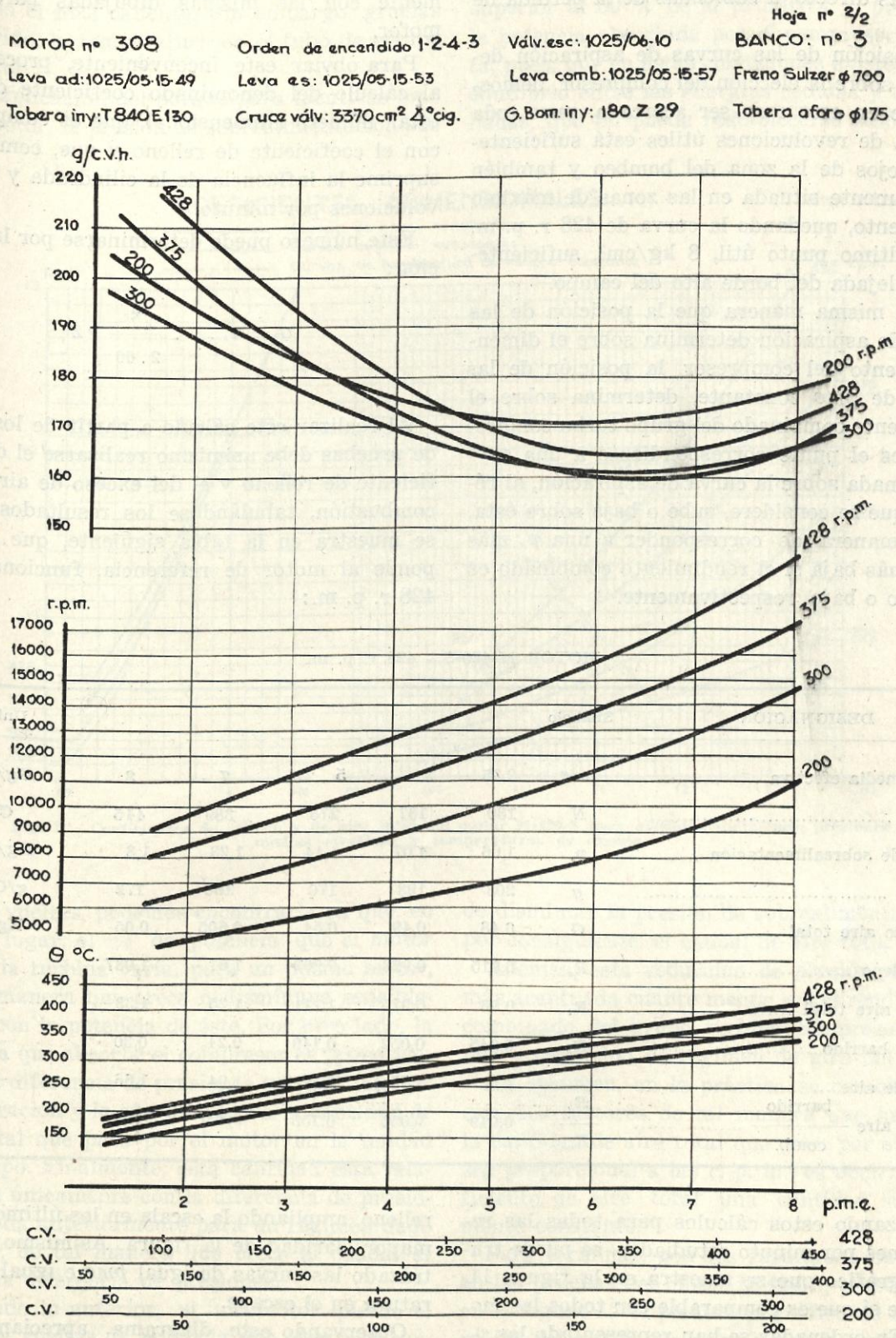



Fig. 10.—Resultados de banco de pruebas del motor M-429-S: Consumo combustible, revoluciones turbo-soplante y temperatura gases de escape.

de tratarse de grandes motores. Por ocuparnos casi exclusivamente de motores medios, se ha preferido hablar siempre de la *pme* como número más directo, a sabiendas de la pérdida de rigor.

La posición de las curvas de aspiración determina sobre la elección del compresor, demostrándose en este caso ser acertada, pues toda la gama de revoluciones útiles está suficientemente lejos de la zona del bombeo y también correctamente situada en las zonas de máximo rendimiento, quedando la curva de 428 r. p. m. en su último punto útil, 8 kg/cm², suficientemente alejada del borde alto del campo.

De la misma manera que la posición de las curvas de aspiración determina sobre el dimensionamiento del compresor, la posición de las curvas de *pme* constante, determina sobre el rendimiento combinado del grupo turbo-compresor, pues el punto correspondiente a una *pme* determinada sobre la curva de aspiración, al régimen que se considere, sube o baja sobre ésta, de tal manera de corresponder a una $p_s$ más alta o más baja si el rendimiento combinado es más alto o bajo, respectivamente.

El dibujo de estas curvas, necesario, como se ha dicho, para juzgar sobre el grupo, tiene el inconveniente de no poderse comparar directamente con las mismas dibujadas para otro motor.

Para obviar este inconveniente, procedemos al cálculo del denominado coeficiente de aire total, número adimensional, que es comparable con el coeficiente de relleno y que, como éste, suprime la influencia de la cilindrada y las revoluciones por minuto.

Este número puede determinarse por la ecuación:

$$G = R_t \cdot V \cdot \frac{n}{2.60} \gamma Z \qquad [7]$$

Al realizar este cálculo a partir de los datos de pruebas debe asimismo realizarse el del coeficiente de relleno y el del exceso de aire de la combustión, tabulándose los resultados, como se muestra en la tabla siguiente, que corresponde al motor de referencia, funcionando a 428 r. p. m.:

MOTOR M-429-S - 428 r. p. m.

| DESIGNACION | Símbolo | | | | | | Unidad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Presión media efectiva | *pme* | 2,35 | 3 | 5 | 7 | 8 | Kg/cm² |
| Potencia | $N$ | 130 | 167 | 278 | 389 | 445 | CV |
| Presión de sobrealimentación | $p_s$ | 1,06 | 1,07 | 1,14 | 1,23 | 1,3 | Kg/cm² |
| Consumo | $g$ | 203 | 193 | 170 | 166 | 172 | g/CVh |
| Caudal de aire total | $G$ | 0,48 | 0,49 | 0,54 | 0,605 | 0,65 | Kg/s. |
| Coef. relleno | $R_c$ | 0,915 | 0,923 | 0,962 | 1,01 | 1,037 | — |
| Coef. de aire total | $R_t$ | 0,96 | 0,975 | 1,111 | 1,25 | 1,33 | — |
| Coef. de barrido | $R_b$ | 0,045 | 0,052 | 0,149 | 0,24 | 0,30 | — |
| Exceso de aire | — | 4,32 | 3,55 | 2,52 | 1,94 | 1,66 | — |
| Relación aire $\frac{\text{barrido}}{\text{comb.}}$ | $\frac{R_b}{R_c}$ | 0,049 | 0,055 | 0,155 | 0,237 | 0,29 | — |

Realizando estos cálculos para todas las revoluciones por minuto estudiadas, se puede trazar el gráfico que se muestra en la figura 11, que éste sí que es comparable con todos los motores. En ordenadas se han representado las $p_s$, y en abcisas los coeficientes de aire total y de relleno, ampliando la escala en los últimos, para mayor claridad de la figura. Asimismo se han trazado las curvas de igual *pme* e igual temperatura en el escape.

Observando este diagrama, apreciamos que para una *pme* dada, la $p_s$ disminuye mucho con

las vueltas; por tanto, el coeficiente de relleno, también, realizándose ésta con un coeficiente de exceso de aire menor y, por tanto, siendo el ciclo todo él más caliente. Sin embargo, gracias al barrido, la temperatura en el tubo de escape es menor.

La explicación del porqué para idénticas *pme* en el motor, la presión de sobrealimentación cae con las vueltas, podemos encontrarla en que, en primer lugar, el % de potencia que el motor cede a la turbina varía, para un mismo motor, de tal manera que crece o disminuye sensiblemente con la potencia de éste. Por otro lado, la potencia que absorbe el compresor es proporcional a la diferencia de presiones entre el colector de aspiración y la atmósfera, y a la cantidad de aire total que pasa por el motor en la unidad de tiempo. Finalmente, esta cantidad está relacionada únicamente con la diferencia de presiones citada anteriormente para un régimen dado de giro, de tal manera que crece el caudal al crecer la diferencia de presiones.

Sentado lo anterior, si un motor pierde el 50 % de vueltas, la potencia que cede a la turbina es mucho menor que la mitad de la primitiva. En el caso de que no variase automáticamente la presión de sobrealimentación, la cantidad de aire que pasaría por el motor sería superior al 50 % de la primitiva y, por tanto, la potencia absorbida por el compresor. Resulta, pues, que en estas condiciones existe un desequilibrio entre las energías cedidas y desarrolladas, que no puede restablecerse sino a base de disminuir la presión de sobrealimentación y, por consiguiente, el caudal de aire total.

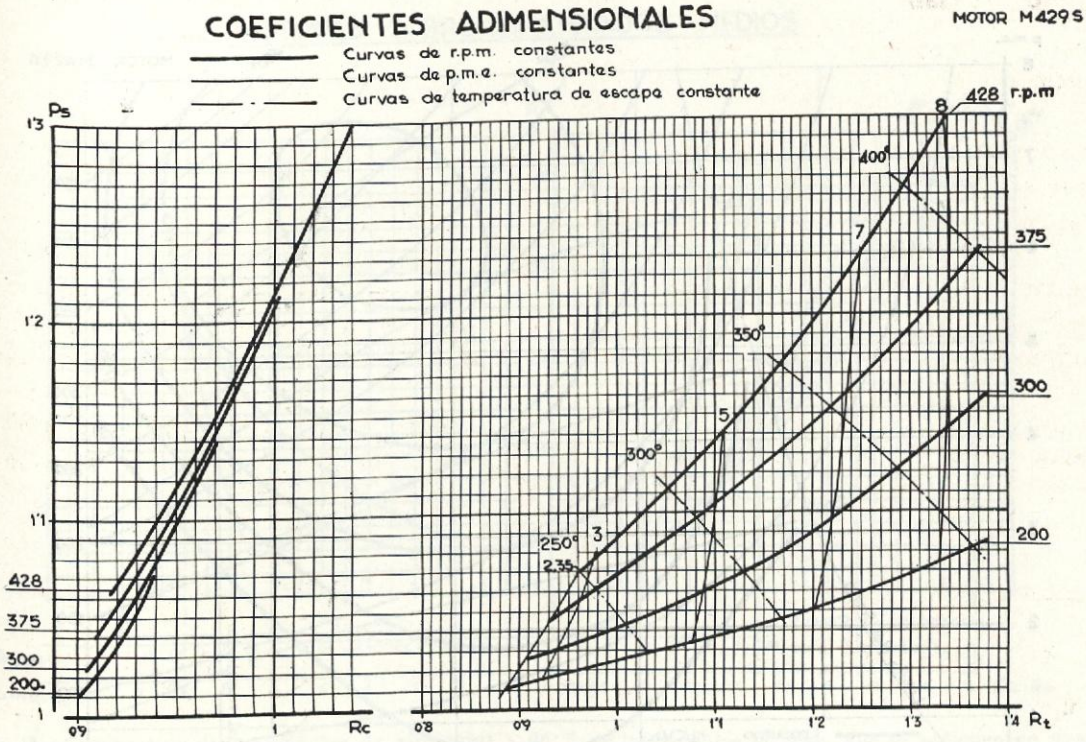



**Fig. 11.—Coeficientes de relleno y de aire total del motor M-429-S para distintos regímenes, presiones medias efectivas y temperaturas de escape.**

Además, esta reducción de presión es tanto más acentuada cuanto menor sea el rendimiento combinado del grupo turbina compresor en la nueva condición de régimen de giro del motor.

En resumen, en la práctica se combinan los diversos factores de tal manera que hace que la cantidad de aire total que pasa por el motor sea proporcional a las r. p. m., es decir, el coeficiente de aire total una cantidad sensiblemente constante.

Para terminar, con los resultados obtenidos en las pruebas del motor M-429-S, presentamos en la figura 12 el plano topográfico de la utilización del motor que, por no reunir ninguna característica especial, no comentamos. Sólo es de

remarcar la bondad de la combustión y, por ende, del consumo en los regímenes de r. p. m. de 300 a 375.

4.3.—*Valores prácticos de la sobrealimentación.*

Del análisis efectuado sobre los resultados de pruebas en adaptaciones de sobrealimentación realizadas sobre motores diferentes y de distintas marcas, se ha obtenido lo que podríamos llamar las curvas tipo en cuanto a coeficientes de aire total y a incrementos de potencia que pueden obtenerse en un motor normal en función de la $p_s$.

Los motores analizados, como ya se ha dicho, cubren una gama de potencias por cilindro de 30 a 80 CV antes de procederse a la sobrealimentación, y una gama de r. p. m., de 250 a 900, con una curva de consumos a las r. p. m. de régimen, bastante parecido.

En todos ellos, además, se procedió a parecido incremento de potencia, oscilando en el valor del 40 al 45 %.

Sobre este punto conviene aclarar que estimamos que el incremento de potencia del 45 % es muy favorable en una adaptación a un motor construído, pues todos los elementos del motor en este caso generalmente son suficientes para resistir los incrementos de esfuerzos, incluso el cigüeñal y cojinetes. Además, la elevación de la temperatura del aire de alimentación y, por ende, la de los gases de escape, no llega a valores tales que sea necesaria la existencia del refrigerador intermedio de aire. Por otra parte, la energía de las ondas de presión del tubo de escape, comparada con el valor medio de la energía total, todavía es suficiente para obtener grupos turbo-compresores de alimentación separada con rendimientos muy aceptables.

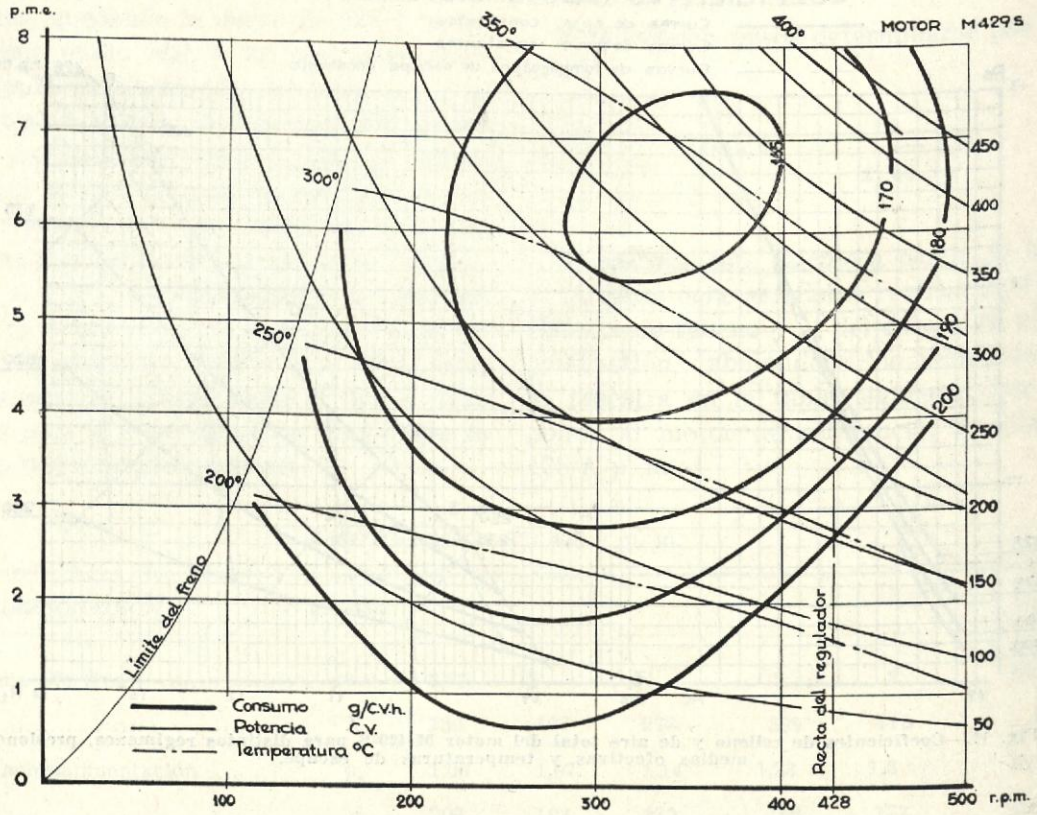



Fig. 12.—Plano topográfico del motor M-429-S.

Desde un punto de vista económico, conviene aumentar en lo posible el incremento de potencia a obtener del motor, pues el precio del grupo alimentador representa un pequeño % del precio del motor, y el del motor es constante, sea cual sea el valor de la potencia. Por consiguiente, estimamos que deben proyectarse todos los motores para aumentos del orden del 40 al

45 %, reforzando los elementos débiles del motor si es necesario.

Estas razones hacen que en la práctica exista un vacío entre las sobrealimentaciones del 50 al 100 %. En el primer caso, en incrementos de potencia hasta el 50 %, sobrealimentación a baja presión, todo el motor es idéntico, y la adaptación no ofrece generalmente dificultad. En el segundo, incrementos de potencia de 100 % en adelante, los problemas que se presentan son graves: refrigerador intermedio en el aire, resistencia de cojinetes, cigüeñal, eliminación de calor, etc. Esto hace que no pueda hablarse del mismo motor y requiera que un motor sobrealimentado a alta presión tenga un proyecto pensado con este fin.

En la zona intermedia, sin refrigerador, sólo existe algún motor que de proyecto ya fué concebido como sobrealimentado, en el cual se estudiaron con gran cuidado los problemas de la eliminación de calor. En esta misma zona con refrigerador, algún motor antiguo muy ampliamente dimensionado, en el cual el único problema es el aire comburente.

En la figura 13 se han representado los puntos medidos junto con la línea media, tanto para los $R_t$ como para los incrementos de *pme* obtenidos, correspondientes a unos motores con incrementos de potencia del 45 % en función de $p_s$.

El cálculo de los coeficientes $R_c$ no dió resultados tan concordantes, dada la diversidad de los motores estudiados; pero ésta es fácil deducirla en cada caso. Se ha dibujado también la línea media que lo representa, a fin de poder razonar sobre la figura.

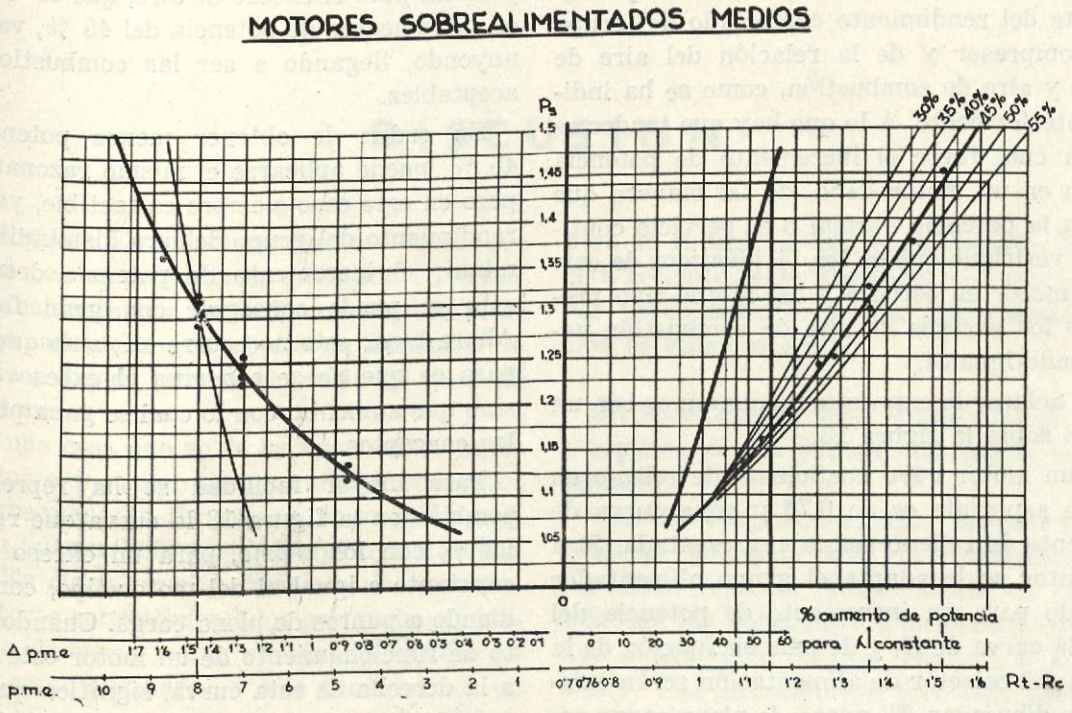



**Fig. 13.—Curvas tipo de coeficientes de aire total y de % de incrementos de pme. que se obtienen en una sobrealimentación adecuada para lograr el 45 % de aumento de potencia en función de ps. Por ejemplo, en un motor sobrealimentado al 45 % con turbo-soplante y su cruce de válvulas correspondiente, cuando en el colector de aspiración la presión sea 1,2, el coeficiente de relleno será 1,01, el coeficiente de aire total 1,2 y el incremento de potencia respecto al motor aspirante, 15 %. Se han representado asimismo las curvas de coeficientes de aire total para sobrealimentaciones adecuadas a otros incrementos de potencia.**

Como se ha indicado anteriormente, la curva de $R_t$ es función del cruce de válvulas. Ahora bien; dada la proporcionalidad entre el coeficiente de barrido y la función área-grado y de ésta con el Δ CV/cil., es elemental desplazar en cada caso la curva tipo, a fin de obtener la necesaria. De esta manera se han obtenido las correspondientes a otros incrementos de potencia.

Con ayuda de este gráfico, pues, estamos en condiciones de determinar o predecir con bastante exactitud las curvas de aspiración de cualquier sobrealimentación en un motor, mientras éste no se aparte del tipo de los que sirvieron de base para trazarlo. De todas maneras, el

campo de utilización es tan amplio, que puede decirse que engloba a todos los motores propulsores de cuatro tiempos en buques de cabotaje y pesca de altura, a los motores auxiliares de todo tipo de barco, y a los grupos generadores de corriente eléctrica de tipo industrial.

En cuanto a la determinación de la curva de incrementos de potencia para otras sobrealimentaciones distintas del 45 %, el problema se presenta más difícil, pues éstas dependen principalmente del rendimiento combinado del grupo turbo-compresor y de la relación del aire de barrido y aire de combustión, como se ha indicado anteriormente. A lo que hay que tender es que sea cual fuere el incremento de potencia deseado en un motor dado, de tal manera que ésta sea la potencia normal o en servicio continuo, se verifique que en los % idénticos de carga del motor en estudio y del motor tipo presentado los excesos de aire de combustión vayan siendo iguales.

Para aclarar lo expuesto, razonaremos con un ejemplo sobre la figura 13.

Sea un motor cuyo coeficiente de relleno en caso de aspirante es de 0,76 y cuya curva de coeficiente de relleno sea la representada. Si a este motor se le adapta el grupo alimentador adecuado para un incremento de potencia del 45 %, la curva de $R_t$ y de pme en función de la presión del colector de alimentación serán también las dibujadas. El punto de plena carga corresponde a una $p_s$ de 1,31, con $\Delta\, pme = 45$ %, $R_c = 1{,}075$, $R_t = 1{,}35$, y con incremento de potencia para $\lambda$ constante de, asimismo, el 45 %.

Supongamos que se desea elevar la sobrealimentación de este motor para que funcione a plena carga con un 55 % de incremento de potencia. En el supuesto que los consumos no cambien, para conservar el mismo exceso de aire, será necesario incrementar el coeficiente de relleno de combustión en la misma proporción; por tanto, ésta deberá ser $R_c = 1{,}145$, que corresponde a una $p_s$ de 1,44. Para esta presión, el coeficiente de relleno total es 1,61, teniendo en cuenta la ampliación del cruce debida a la mayor potencia en el cilindro.

Ahora bien; sin cambiar ni de turbo-soplante ni de cruce de válvulas, el incremento de potencia para obtener la $p_s$ de 1,44 en el colector, y el $R_t = 1{,}52$ correspondiente, es del 70 %. En cambio, con la nueva turbina se desea obtener para el mismo $p_s = 1{,}44$ un $R_t = 1{,}61$ con un incremento de potencia del 55 %. Dado que la fuente de energía disminuye (puesto que ya se ha dicho que el % de potencia absorbida crece con la potencia del motor) y que la potencia a suministrar en el compresor es mayor, sólo podrá realizarse esto gracias al cada vez mejor rendimiento del grupo. Resulta, pues, que aquí aparece un límite para la sobrealimentación a baja presión, pues el exceso de aire, que es el normal en incrementos de potencia del 45 %, va disminuyendo, llegando a ser las combustiones inaceptables.

En orden de obtener menos potencia del 45 %, puede aplicarse el mismo razonamiento; pero en este caso siempre es factible, ya que el rendimiento del grupo debiera disminuir al disminuir el incremento de potencia deseado, y esto se puede conseguir con gran facilidad. Ahora bien; esto no ocurre así, sino que lo que pasa es que no se conserva el exceso de aire, sino que aumenta, con lo cual se gana por todos los conceptos.

Para mayor facilidad se ha representado también en la figura 13 la curva que relaciona las $p_s$ con los $\Delta\, pme$, para un exceso de aire constante e igual al del motor tipo, correspondiendo a puntos de plena carga. Cuando el punto de funcionamiento de un motor esté situado a la derecha de esta curva, significa que el exceso de aire es superior; si a la izquierda, inferior. Esto nos puede determinar sobre la calidad de la combustión, pero no sobre la carga térmica, pues un buen barrido puede bajarla apreciablemente.

* * *

Se ha tratado de exponer con brevedad algunos de los aspectos de la sobrealimentación, dando en cada caso la expresión cualitativa y, cuando se ha podido, asimismo, la cuantitativa, sobre todo con intención de apoyar los razonamientos.

Sólo me resta agradecer a la dirección de La Maquinista Terrestre y Marítima las facilidades que me han sido dadas, tanto en la autorización de la publicación de datos como en la confección de la presente Memoria.

BIBLIOGRAFIA

R. BIRMAN: "A look at Turbocharging Diesel Power". Enero 1954.

H. HERGER: "Problèmes relatifs a la construction des turbo compreseurs de suralimentation". *Revue Brown Boveri*. Noviembre 1950.

E. JENNY: "Utilisation de l'energie des gaz d'échappement pour la suralimentation des moteurs Diesel à quatre temps". *Revue Brown Boveri*. Noviembre 1950.

SIR H. RICARDO: "La sobrealimentación de los motores de combustión interna". Comunicación a la Institution of Mechanical Engineers. Londres, 17-XI-1950.

J. R. RICART I. I.: "Adaptación de la turbosoplante a los motores Diesel". *Revista STA*, núm. 11, 1952.

F. T. VINCENT: "Supercharging the internal combustion engine". Primera edición, 1948.

K. ZINNER: "Sobrealimentación de los motores Diesel de cuatro tiempos MTZ". Mayo-junio 1950.

# DISCUSION

Sr. APRAIZ: Es muy interesante el tema que ha trado el señor Alegret, orientado en dirección coincidente con las de los constructores de motores, adoptada con objeto de aumentar la potencia a fin de reducir el precio de coste de los motores.

Hay una cosa que no se ha mencionado aquí: los motores de cuatro tiempos sobrealimentados por turbo-soplante de escape se emplean muy poco en buques, como propulsores o como auxiliares. En cierta ocasión tratamos de ver cuántos motores sobrealimentados con turbo-soplante había de cierta marca europea instalados en buques como auxiliares, y sólo encontramos un buque. Al querer averiguar por qué este fabricante los había instalado, nos encontramos que los empleó porque eran unos motores fabricados durante la guerra bajo la ocupación extranjera, y se instalaron con objeto de aprovecharlos.

Una de las causas por las cuales no es popular este sistema de sobrealimentación en motores son las averías que suelen suceder en los cojinetes de turbo-soplante, que al principio eran frecuentes y poco a poco se van reduciendo al fabricarse cojinetes de vida más larga. Quisiera preguntar al señor Alegret si sabe, en relación con estos motores españoles que ha citado, cuál es la vida media de los cojinetes de la soplante: el número de horas que han podido rodar sin averías.

Ha mencionado también un motor altamente sobrealimentado de la casa MAN, con presión media de 15 kg/cm². Ese motor lo he visto funcionar cuando estaba en período de pruebas; pero su futuro no está claro todavía. Creo que está recientemente instalado en buques, y falta ver prácticamente si esta alta sobrealimentación es económica o no.

Sr. ALDECOA: El señor Apraiz se ha referido a algunos de los puntos que quería tratar yo también.

Quisiera preguntar al señor Alegret sobre las ventajas que cree tiene la sobrealimentación por turbo-soplante independiente en comparación con los soplantes de desplazamiento positivo o bien con turbina engranada al mismo motor. Una dirección que creo muy interesante es la utilización de altas presiones de sobrealimentación y altas presiones medias disponiendo la turbo-soplante engranada, de forma que su exceso de potencia se utiliza en el eje actuando como turbina de gas.

Y, por otra parte, deseaba preguntar un detalle sobre las pruebas que han hecho en el motor descrito acerca de la modificación de la culata. La culata que se representa del motor M 29 como resultado de una serie de experiencias tiene una forma de conducto de admisión que se aparta bastante de lo usualmente utilizado en estos tipos de motores, sobre todo en los de dos tiempos, que son más sensibles a pérdidas, empleado también de igual forma en los de cuatro tiempos. En el conducto de admisión, a fin de conseguir que no existan desprendimientos de la vena de entrada y formación de remolinos, se suelen utilizar perfiles convergentes con el radio máximo posible en la zona interna, a fin de conseguir la vena guiada sin

formación de remolinos, que se pretende, lo que no parece se haya tenido en cuenta en este proyecto, aunque vemos es la tendencia en las otras dos culatas presentadas.

Me gustaría saber si ha observado algo en relación con esta cuestión.

## CONTESTACION

Sr. ALEGRET: A lo que indica el señor Apraiz de las averías posibles en los turbo-compresores, puedo decirle que en los motores Maquinista, que son los únicos sobrealimentados de fabricación nacional, no ha habido ni una sola avería imputada a una falta del turbo-compresor. Solamente en un motor estacionario se tuvieron que sustituir los cojinetes para su reposición normal, según instrucciones Brown-Boveri, al cabo de 3.000 horas, aproximadamente.

Sobre este punto, los cojinetes han sido un motivo de mucha discusión, sobre todo al principio, y se han hecho de diversos tipos, incluso de metal en los turbos de gran tamaño. Hoy en día, por lo menos por la información de que dispongo, no sé de ningún motor sobrealimentado que en estos últimos años haya sufrido averías sistemáticas imputadas a un defecto de la turbo.

Respecto al motor MAN, siento no haberlo visto rodar; pero estudié los prototipos en revistas técnicas, y puedo decir que hoy en día no solamente ese tipo, sino otro de mayor diámetro, está puesto a punto y en servicio en centrales térmicas de Alemania.

En cuanto a los motores auxiliares sobrealimentados en las cámaras de máquinas, verdaderamente no son muy frecuentes. El motivo de la poca frecuencia, sin embargo, lo estimo de índole completamente comercial mucho más que técnica, pues es bien sabido lo caros que son y el poco interés que generalmente tienen los grandes astilleros y fabricantes de motores marinos propulsores en modernizar la fabricación y puesta a punto de los motores más pequeños. Por tanto, como al vender el motor propulsor, normalmente se venden asimismo los auxiliares, no se ha tenido hasta ahora demasiado interés en sobrealimentados.

Respecto a lo que ha preguntado el señor Aldecoa, el problema que presenta engranar la turbo-soplante al motor es ya una cuestión completamente distinta a lo que aquí se quería exponer, porque entonces se entra en la consideración de una máquina de distinta concepción. La principal dificultad que le veo es una mayor complicación mecánica de todo el conjunto, que sólo puede ser aconsejable en motores muy especializados y para aplicaciones muy concretas. Normalmente creo yo que esto no sería viable comercialmente. Frente a la sencillez de que la potencia de la turbina se utilice solamente para sobrealimentar, creo que los demás procedimientos pueden ser útiles en aplicaciones especiales, pero no para utilización en buques.

En cuanto al dibujo de las culatas, encuentro muy atinada su observación sobre el conducto de aspiración. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que muchas veces se obliga al proyectista por los precedentes o por otras circunstancias. Desde luego la ventaja observada es cierta.

Sr. GONZÁLEZ LLANOS: En nombre de la Asociación doy al señor Alegret las gracias más expresivas por su interesantísima disertación y por la amenidad con que ha sabido exponerla.

# Información Legislativa

## MINISTERIO DE COMERCIO

*Decreto de 2 de septiembre de 1955 por el que se extiende la aplicación del Convenio de Seguridad de la Vida Humana en el Mar a todos los buques mercantes nacionales.*

El Convenio Internacional de Seguridad de la Vida Humana en el Mar, acordado en Londres en 10 de junio de 1948, fué firmado por España en 26 de diciembre de 1952, y puesto en vigor, en el orden legal, tres meses después, de acuerdo a lo previsto en el Edicto de 17 de marzo de 1953 de la Subsecretaría de la Marina Mercante, publicado en el Boletín Oficial del Estado del 20 de dicho mes, y en el Anexo E del publicado por el Ministerio de Asuntos Exteriores en el Boletín Oficial del Estado de 30 de abril del mismo año.

En dicho Convenio se han recogido las experiencias de los pasados años para garantizar, dentro de lo posible, la seguridad de los tripulantes de los buques mercantes, siendo notorio el interés demostrado por todos los países marítimos para adoptar los avances de sus respectivas técnicas en orden a la mejor consecución del fin propuesto.

Pero dicho Convenio solamente se refiere a los buques de pasaje y a los de carga mayores de 500 toneladas de registro total que efectúen tráfico internacional, por lo que el Gobierno español considerando que en la redacción de aquél se han recogido las normas más acertadas en el momento presente para garantizar la seguridad de las tripulaciones, no encuentra justificado mantener diferencias, en lo que a tales garantías respecta, entre los requisitos que han de exigirse a los buques según el tráfico que desempeñen, por lo que estima conveniente extender la aplicación de aquellos preceptos a la totalidad de los buques nacionales dentro de las limitaciones y concesiones que, según las características de cada uno de éstos, determine el Ministerio de Comercio (Subsecretaría de la Marina Mercante).

En su virtud, a propuesta del Ministro de Comercio, y previa deliberación del Consejo de Ministros,

DISPONGO:

Artículo 1.° Los preceptos del vigente Convenio Internacional de Seguridad de la Vida Humana en el Mar, serán de aplicación a todos los buques mercantes nacionales, dentro de las limitaciones que permitan las necesidades de cada tráfico y características de los buques.

Art. 2.° Por el Ministerio de Comercio (Subsecretaría de la Marina Mercante) se dictarán las disposiciones necesarias para establecer las normas de aplicación de los preceptos del citado Convenio.

Art. 3.° Quedan derogadas cuantas disposiciones se opongan al cumplimiento del presente Decreto.

Así lo dispongo por el presente Decreto, dado en el Pazo de Meirás a 2 de septiembre de 1955.—Francisco Franco.

El Ministro de Comercio.—*Manuel Arburúa de la Miyar.*

(*Boletín Oficial del Estado* de 28 de septiembre de 1955.)

## MINISTERIO DE MARINA

*Decreto (rectificado) de 8 de julio de 1955 por el que se concede prima a la construcción de dos trasatlánticos que está construyendo la Sociedad "Ybarra y Compañía, Sociedad Anónima".*

Por Decreto de 9 de agosto de 1946 se fijó la compensación a otorgar por la Marina de Guerra a la construcción de dos trasatlánticos destinados al servicio de las líneas de la América del Sur, proyectados por la Empresa Nacional Elcano de la Marina Mercante.

Con posterioridad, la Sociedad "Ybarra y Cía., Sociedad en Comandita" (en la actualidad "Ybarra y Cía., S. A." solicitó la oportuna autorización para contratar con "Astilleros Nacionales" la construcción de dos buques de características similares y para el mismo servicio que los mencionados, por lo que la Empresa Nacional Elcano desistió de su proyecto.

Por tanto, y en atención a que los dos buques que está construyendo "Ybarra y Cía., S. A." han de realizar igual servicio y tener idénticas características para su posibe utilización por la Marina de guerra, y dado que esta Entidad se conforma con la misma prima entonces concedida a la Empresa Nacional Elcano de la Marina Mercante, procede al amparo de la legislación vigente resarcirla del mayor gasto que origina la construcción proyectada en orden a las necesidades de carácter militar.

En su virtud, visto el informe emitido por el Consejo de Estado, y a propuesta del Ministro de Marina, y previa deliberación del Consejo de Ministros,

DISPONGO:

Artículo 1.° Se concede una prima de catorce millones quinientas mil pesetas por unidad a los dos trasatlánticos que para el servicio con la América del Sur está construyendo en "Astilleros Nacionales" la Sociedad "Ybarra y Cía., S. A.", según el proyecto aprobado por los Ministerios de Industria, Comercio y Marina, la cual disfrutará a título de compensación por el mayor coste que origina la mejora de sus características requeridas por el Estado Mayor de la Armada, y será abonada en los mismos plazos y con requisitos similares a los que determina la legislación vigente para percibir las primas a la Construcción Naval.

Art. 2.° El Ministerio de Marina inspeccionará la construcción de las unidades a que se refiere el artículo anterior, a fin de comprobar que se cumplen las características y condiciones generales que fueron fijadas por la Marina de Guerra y constan en el correspondiente expediente.

Expedirá, asimismo, los certificados para el percibo de los plazos correspondientes a la compensación que se fija en el artículo anterior.

Art. 3.° El importe de la prima fijada en este Decreto se abonará con cargo al crédito extraordinario que al efecto se habilite.

Art. 4.° Por los Ministerios competentes se dictarán las disposiciones oportunas para el mejor cumplimiento de esta disposición.

Así lo dispongo por el presente Decreto, dado en Madrid a 8 de julio de 1955.—*Francisco Franco.*

El Ministro de Marina.—*Salvador Moreno y Fernández.*

(*Boletín Oficial del Estado* de 7 de septiembre de 1955.)

MAQUINAS HERRAMIENTAS PESADAS Y DE MEDIAS DIMENSIONES PARA ASTILLEROS, ARSENALES E INDUSTRIAS METALURGICAS Y SIDERURGICAS

STABILIMENTI

# S.EUSTACCHIO

BRESCIA - ITALIA

**Representante exclusivo para ESPAÑA:**

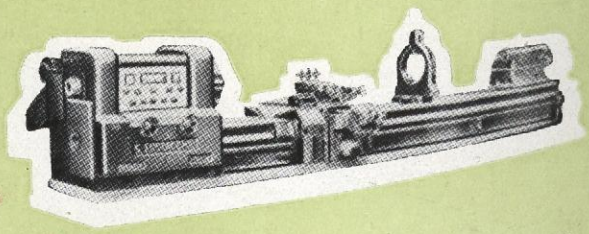
**GIOVANNI ROSSINI**

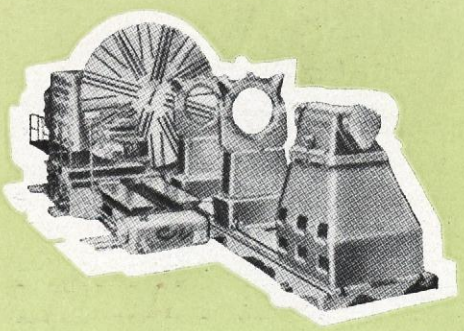
**1) Tornos paralelos con mando mecánico serie TP y con mando electrónico T. P. E. Alturas de las puntas: 500-600-700 mm. Distancias normales entre puntas, 3 a 12 m.**

Horizontal Lathes, Series TP mechanically controlled and Series TPE electronically controlled. Height of centers 1' 7 11/16" - 1' 11 5/8" - 2' 3 9/16". Standard lenght between centers from 9' 10" to 39' 4 7/16".

Tours parallèles à commande mécanique série TP et à commande électronique série TPE. Hauteur des pointes 500-600-700 mm. Distance normale entre les pointes, de 3 à 12 mètres.

Paralleldrehbänke, Serie TP mechanisch angetrieben und Serie TPE elektronisch angetrieben. Spitzenhöbe 500-600-700 mm. Normale Spitzenweite von 3 bis 12 meter.





**2) Tornos paralelos serie TP 16/32. Alturas de las puntas de 750-950-1.500-2.000 mm. Distancias normales entre puntas, de 5 a 30 m.**

Horizontal lathes, type TP 16/32. Height of centers 2' 5 1/2" - 3' 1 3/8" - 3' 7 5/16" - 4' 11 1/16" - 6' 7". Standard lenght between centers from 16' 5" to 98' 5".

Tours parallèles séries TP 16/32. Hauteur des pointes 750-950-1.100-1.500-2.000. Distance normale entre les pointes, de 5 à 30 mètres.

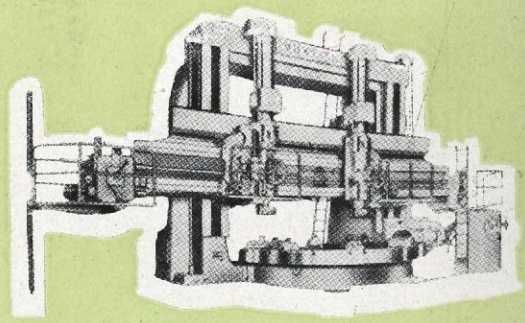
Paralleldrehbänke Typ TP 16/32. Spitzenhöhe 750-950-1.100-1.500-2.000 mm. Normale Spitzenweite von 5 bis 30 meter.

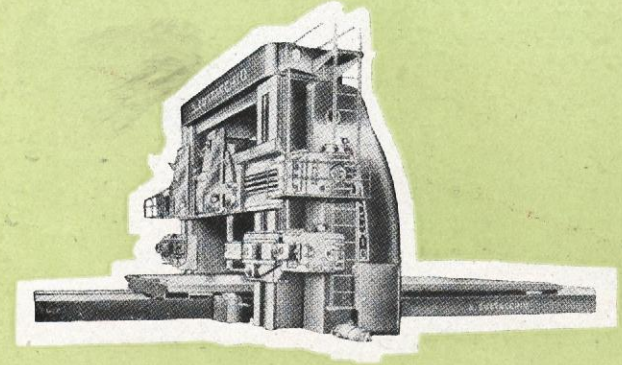
**3) Tornos verticales de dos montantes con plataforma de los siguientes diámetros: de 1.750-2.150-2.700-3.100-3.700-4.000-4.100-4.700 mm. y otros.**

Double Column Vertical Boring and Turning Mills with table having 5' 9" - 7' 5/8" - 8' 10 5/16" - 10' 2" - 12' 1 11/16" - 13' 5 7/16" - 15' 5" diameter and beyond.

Tours verticaux à deux Montants avec plateau de 1.750-2.150-2.700-3.100-3.700-4.100-4.700 mm., de diamètre et plus.

Zweiständer Karusselldrekbänke, Planscheibe Durchmesser 1.750-2.150-2.700-3.100-3.700-4.100-4.700 mm., und über.





**4) Cepilladoras de dos montantes para trabajos en uno o en los dos sentidos: anchuras de 1.000 a 4.000 mm. Longitudes de la mesa móvil, de 3 a 20 m.**

Double Column Planing Machines with one and two working directions: Width from 3' 3 3/8" to 13' 1 1/2". Table lenght from 9,84' to 65,62'.

Raboteuses à deux montants à un et deux sens de rabotage. Largeur de 1.000 à 4.000 mm. Longueur de la table mobile, de 3 à 20 mètres.

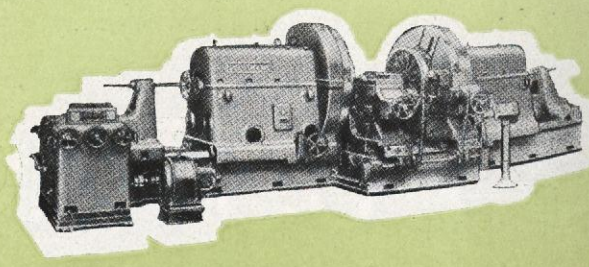
Ein und Zweiweg Zweiständer Hobelmaschinen. Breite von 1.000 bis 4.000 mm. von 3 bis 20 meter.

**5) Tornos para ejes montados de locomotoras. Diámetro de las ruedas, de 900 a 2.000 mm. Distancias entre las plataformas, de 2.000 a 3.000 mm.**

Locomotive Wheel Lathes, type AM 16: Wheel diameters 2' 11 7/16" ÷ 6' 7". Distance between chuck centers 6' 7" ÷ 9' 10 1/8".

Tours pour essieux montés de locomotive, type AM 16. Diamètre des roues, de 900 à 2.000 mm. Distance entre les plateaux, de 2.000 à 3.000 mm.

Radsatzdrehbänke, Typ AM 16. Raddurchmesser 900-2.000 mm. Spitzenweite 2.000-3.000 mm.



# Información Profesional

## SYMPOSIUM SOBRE CAVITACION

Los efectos de la cavitación en las hélices u otros elementos relacionados con los flúidos en movimiento, son conocidos desde hace tiempo. Pero puede decirse que hasta el último tercio del siglo pasado no se inició el estudio de estos fenómenos y hasta bien entrado el siglo actual no se extendió el interés por los mismos. En la actualidad, las condiciones en que trabajan las máquinas hidráulicas—entre ellas las hélices marinas—y otros sistemas hidrodinámicos, hacen que la cavitación sea un problema fundamental en muchos casos, ya que las velocidades han ido en constante aumento y no se puede admitir en el estado actual de la técnica las pérdidas de rendimiento, ni las erosiones o ruidos que produce aquel fenómeno. Por estas causas hay actualmente en el mundo un gran número de investigadores dedicados a su estudio. Y no solamente al ensayo y análisis de aparatos de un tipo determinado, para salir al paso de los inconvenientes que se puedan presentar durante su funcionamiento, sino al estudio del fenómeno en sí, para poder llegar a un conocimiento más profundo del problema y poder proyectar con más libertad y conocimiento de causa cualquier sistema hidrodinámico que pueda presentarse. Con el objeto de poner en contacto a dichos investigadores, y para tratar con la debida amplitud los problemas específicos que se les presentan, se ha celebrado del 14 al 16 de septiembre en el National Physical Laboratory de Teddington (Inglaterra) una reunión o Symposium, cuyo tema se limitaba a la Cavitación en Hidrodinámica.

Para asistir a dicha reunión se inscribieron 138 miembros de trece naciones; habiéndose presentado en ella los trabajos que a continuación se citan:

1. Resumen crítico de los últimos progresos en la investigación sobre cavitación, por P. EISENBERG, del Centro de Investigaciones Navales de los EE. UU.

2. Algunos factores que influyen en el nacimiento de la cavitación, por E. E. WILLIAMS, del NPL (G. B.).

3. Esfuerzos de tracción que puede soportar el agua en movimiento, por el doctor G. ZIEGLER, de la Universidad Técnica de Graz (Austria).

4. Influencia de la turbulencia y de la capa límite en la iniciación de la cavitación a partir de los núcleos gaseosos (burbujas) que pueda haber en el agua, por el profesor J. W. DAILY y el Sr. V. JOHNSON, del Massachusetts Institute of Technology (EE. UU.).

5. La resistencia a la tracción de los líquidos sometidos a cargas dinámicas, por el profesor R. M. DAVIES, el doctor D. H. TREVENA y los señores N. J. M. REES y G. M. LEWIS, de la University College de Gales.

6. Las burbujas de aire sin disolver como núcleos de cavitación, por el señor M. STRASSBERG, del canal David Taylor de Washington.

7. Instrumentos para la medida de fuerzas, presiones y velocidades variables, en los estudios de cavitación, por el doctor W. APPEL, de la Universidad de Iowa (EE. UU.).

8. Técnica para la medición de presiones instantáneas y la realización de fotografías de alta frecuencia en la cavitación producida por los ultrasonidos, por el doctor A. T. ELLIS, del Instituto de Tecnología de California (EE. UU.).

9. Instrumentos del nuevo túnel de cavitación y del canal de brazo giratorio del Admiralty Research Laboratory, por el doctor H. RITTER, de dicho centro (G. B.)

10. El túnel de 150 mm. de diámetro, en la sección de ensayo, del Laboratorio Hidráulico de St. Anthony Falls y su utilización para el estudio de la cavitación, por el doctor L. G. STRAUB, el profesor J. F. RIPKEN y el señor R. OLSON, de la Universidad de Minnesota (EE. UU.).

11. Algunas consideraciones sobre fórmulas modernas para tener en cuenta los efectos de escala en los fenómenos de cavitación, por el profesor H. GERBER, de la Universidad Técnica de Zurich (Suiza).

12. El arrastre de aire a sotavento de una cavidad permanente, por los señores R. N. COX y W. A. CLAYDEN, del Centro para la Investigación y Desarrollo del Armamento de Fort Halstead (G. B.).

14. Formas en que se produce la cavitación en las hélices reales, por el señor A. F. WEEKS, de los Admiralty Experiment Works de Haslar (G. B.).

15. Perfiles hidrodinámicos en flujo con y sin cavitación, por el profesor M. S. PLESSET y el señor B. R. PARKIN, del I. de Tecnología de California.

16. El flujo en perfiles y brazos de arbotante con números de cavitación tan bajos, que se produzca, a sotavento de los mismos, una extensa cavidad permanente, por el profesor doctor M. P. TULIN, del Centro (Office) de Investigación Naval de los EE. UU.

17. Efecto de las variaciones de presión estática en las características de los perfiles, por lo que a cavitación se refiere, por el profesor F. NUMACHI, de la Tohoker University del Japón.

18. Una teoría sobre el proceso que conduce a las averías que se producen con la cavitación, por el señor G. T. CALLIS, de la Manganese Bronze and Brass Co. Ltd., de Inglaterra.

19. Nuevos estudios sobre el proceso que conduce a las erosiones y la capacidad para producir éstas de las cavidades de tipo permanente, por el profesor R. T. KNAPP, del I. de Tecnología de California.

20. Algunos experimentos sobre la erosión producida por la cavitación en agua con mezcla de aire, por el profesor R. E. N. RASMUSSEN, de la Universidad Técnica de Dinamarca.

21. Mecanismo de las erosiones producidas por la cavitación, por el doctor W. H. WHEELER, del Mechanical Engineering Research Laboratory (G. B.).

Como se puede observar leyendo los temas de los trabajos presentados, éstos podrían dividirse en los grupos siguientes:

Estudio de los factores de los que depende la iniciación y desarrollo de la cavitación (2 a 6).

Instrumentos y técnicas de medida y ensayo de los fenómenos de cavitación (7 a 10).

Problemas relativos a los efectos de escala (11 a 14).

Variaciones en el comportamiento del sistema hidrodinámico debidas a la cavitación (15, 16 y 17).

Averías y erosiones producidas por este fenómeno (18 a 21).

El problema particular y específico de las hélices marinas no se trata directamente más que en los trabajos 13 y 14 aunque, naturalmente, haya otros muchos relacionados con él. Por ejemplo, el 18, orientado principalmente a la erosión que se puede producir en dichas hélices. En cambio, hay varios trabajos relativos a las cavidades que se pueden formar a popa de un cuerpo que se mueve en el agua, como consecuencia de su gran velocidad, o bien, si se prefiere—ya que así lo requieren muchas veces las condiciones en que se pueden realizar los ensayos—, cuando su parámetro de cavitación es muy bajo y se aproxima a cero.

Estos fenómenos se clasifican también entre los de cavitación, ya que sus causas y consecuencias son análogas a las que acompañan a los demás tipos; aunque en apariencia sean muy distintos a los que se presentan en las hélices o turbinas hidráulicas. A estas cavidades se les ha dado el nombre de permanentes, por formar una prolongación del cuerpo de una manera continua; si bien sus bordes pueden oscilar y aun estar compuestas de varias cavidades, variables en el espacio y en el tiempo. Su importancia reside en que es el tipo de estela que acompaña a un proyectil que penetra o se mueve a gran velocidad en el agua; por lo que algunos de los trabajos tienen el interés especial de publicar estudios que hasta ahora habían permanecido secretos por razones militares.

Desde el punto de vista de aplicación directa a las construcciones navales, hay también algunos datos de interés, tanto para el proyecto de hélices—por la teoría de circulación—, como para el dibujo de los brazos de arbotante u otros elementos para lanchas rápidas, con o sin sustentación dinámica.

# Revista de Revistas

## CONSTRUCCION NAVAL

### NORMAS PRACTICAS PARA LA PREDETERMINACION DE LA CONTRACCION TERMICA EN CONSTRUCCIONES SOLDADAS

E. VOLLBRECHT (*)

(De "Ciencia y Técnica de la Soldadura", 1955)

*Se exponen unas reglas, de procedencia alemana, para calcular la contracción térmica que puede experimentar una pieza soldada durante el proceso de unión, con ejemplos prácticos de aplicación de las mismas.*

INTRODUCCION

El problema de la contracción térmica no es un tema nuevo que se haya planteado con la introducción de la soldadura en la industria, sino que existía de siempre en las piezas fundidas. De todos modos, en estas últimas este fenómeno está bastante acusado, de forma que, en la fabricación, existen normas perfectamente conocidas para tener en cuenta la contracción. Pero se sabe que incluso en este campo tan bien estudiado de la técnica quedan rincones poco conocidos, con el resultado de que hasta ahora no se ha conseguido presentar normas para el proyecto de las piezas fundidas —a no ser que sean muy sencillas— que garanticen también un estado perfectamente libre de tensiones internas. Queda como único remedio, para reducir este inconveniente, por lo menos a un mínimo, el recocer las piezas; un método que, en consideración de que cada pieza fundida tiene ya dimensiones limitadas, no es muy cómodo, pero de todos modos ejecutable.

La construcción soldada, que hoy en día sustituye en muchos casos a la fundida, está sometida a fenómenos semejantes; pero, desgraciadamente, son mucho menos determinados que los que son de esperar en elementos fundidos, por influir en ella muchos factores más que dependen completamente de la voluntad, como son: la secuencia de los procedimientos de soldadura, la posición de las costuras, los electrodos elegidos, las costumbres individuales de los soldadores, el tipo de corriente, la duración de las diversas fases de la ejecución, etcétera. Aunque de estos factores no todos tienen el mismo grado de importancia, la suma de ellos hace casi imposible predeterminar, con métodos científicos, la contracción y las deformaciones que al final del proceso habrá experimentado un conjunto complejo de elementos unidos por soldadura.

En piezas de tamaño reducido queda, naturalmente, también la posibilidad de recocerlas; pero la ventaja especial de la soldadura, que es la de unir elementos en número y dimensiones prácticamente ilimitados para formar una unidad compleja, en muchos casos —y esto en los más adaptados para la soldadura— se pierde si hay que recurrir a este remedio.

Esto, naturalmente, en los albores de la soldadura, condujo a muchos inconvenientes, y hasta ha retardado su aplicación. Puede decirse que incluso en nuestros días aún existe mucha oposición en ciertos círculos, especialmente cuando se trata de realizar construcciones que precisan una elevada exactitud de las cotas, contra la amplitud de empleo que la soldadura merece por sus demás cualidades.

En vista de las ventajas insuperables que ofrece la soldadura en el campo económico, y también en el puramente constructivo, esta oposición se hubiera vencido seguramente ya hace tiempo si hubiese sido posible el análisis estrictamente científico, o sea matemático, de la contracción térmica en los elementos soldados. Pero lo dicho ya prueba el por qué no es posible la satisfacción de este deseo. El único remedio que queda, para lograr el proyec-

(*) Dipl. Ing., Baurat Z. W., de la Empresa Nacional Bazán.

tista un juicio sobre la forma y el método con los cuales se llegará a un conjunto soldado con deformaciones y tensiones permanentes mínimas, es el estudio estadístico de muchas construcciones y su evaluación práctica.

Esto no significa que pueda renunciarse al análisis científico, o hasta despreciarlo; pero, en el estado actual del problema, en la colaboración entre estadística y teoría, esta última debe limitarse a una sistematización de los promedios, formada a base del intento de aclarar teóricamente las tendencias del comportamiento de las estructuras bajo aquel tratamiento multilateral. Como es natural, un método como éste no es aplicable en un laboratorio o instituto puramente científico, sino que es la misma industria la que, con la multitud de objetos ejecutados, debe prestar su ayuda. En realidad, especialmente en Alemania, diversas empresas de categoría han evaluado estadísticamente sus experiencias en esta materia, ganadas durante su trabajo, y hasta las han transformado en normas para el futuro; pero, en principio, éstas no han logrado reconocimiento general por dos causas. La una es que, naturalmente, al referirse las experiencias a las ejecutadas en un determinado taller y a productos característicos del mismo, su valor se limita exclusivamente a estructuras semejantes y métodos parecidos a los usuales en esa fábrica. También hay que tener en cuenta que, normalmente, sólo se han ejecutado las investigaciones aplicables a los propios fines individuales de cada empresa. Las Casas, además, por razones económicas han considerado generalmente estas experiencias y las normas deducidas de ellas, como un secreto particular, en vista del trabajo y coste que indudablemente habían invertido en las mismas.

Resulta claro que, por no haberse sometido estas normas, tan distintas y hasta divergentes, a la crítica de la publicidad científica, no han podido madurar correspondientemente mediante discusión e intercambio de experiencias; con lo cual ha quedado retrasado, hasta nuestros días, el desarrollo adecuado de normas generalmente válidas, aunque se hayan formulado algunas reglas fundamentales. En fin, muchas empresas han temido presentar sus resultados al público para no perder prestigio y por temor a posibles consecuencias económicas desfavorables, al rechazar la ciencia las conclusiones sacadas.

En vez de aceptar esta actitud reservada, parece más conveniente e interesante dar a conocer en lo posible todas estas experiencias para tratarlas en público, aunque su aplicabilidad sólo se limite a un caso especial y hasta necesite una corrección científica, ya que sirve para entablar la discusión y adelantar el desarrollo de una elección de normas generalmente reconocidas.

Seguidamente se expondrán unas reglas procedentes de empresas de la Ingeniería Naval Alemana y otras de construcción civil (en parte también combinadas las unas con las otras). Sólo se han elegido fórmulas ya más o menos comprobadas por la experiencia; pero esto no significa que no necesiten, con el tiempo y la variación de las circunstancias, corrección y perfeccionamiento. Además, por razón de su procedencia anorgánica, no forman un conjunto cerrado y sistemático, sino sólo un compendio fragmentario.

## REGLAS PARA LA PREDETERMINACION DE DEFORMACIONES

### *Unión de planchas*

1) Uniones en un plano.

a) *Costuras de plancha, contracción transversal.*

Para la contracción en sentido transversal de una costura entre dos planchas, ejecutada en V, soldada a mano con electrodo ligeramente revestido y con corriente continua con amperaje prescrito (dependiendo del electrodo que ha de ser elegido en función del espesor de las planchas), se da la siguiente fórmula, a condición de que se suelde según el método del "paso de peregrino":

$$q = 1{,}5 + 1{,}0 \times s/20 \text{ (en mm)} \qquad [1]$$

Con electrodos de alma fundente, este valor disminuye en un 10 por 100, y con electrodo fuertemente revestido se incrementa en un 20 por 100. También aumenta un 10 por 100 empleando la soldadura en "U", mientras que con la en "X" los valores disminuyen en un 25 por 100. La máxima diferencia se produce con soldadura automática, aumentando la contracción en más de un 50 por 100.

Hay que tener en cuenta que este valor representa un promedio de cifras obtenidas en un pequeño número de talleres. Es muy posible que otras empresas lleguen a resultados algo distintos, y que, con el tiempo y analizándolos paralelamente al progreso de la ciencia, se logre una fórmula que se acerque más a los valores que son de esperar como promedios reales.

b) *Sentido longitudinal.*

La contracción longitudinal se ha determinado más o menos como constante sobre los espesores de plancha, si se ejecuta la soldadura de la misma manera y bajo las mismas condiciones que las anteriormente mencionadas. Para la forma en "I" o

LIT. S. DURÁ - VALENCIA

en "V" de la costura, la contracción es de 0,35 mm. por metro de longitud de costura. En costuras en "X" queda reducida a 0,30 mm/m., valor que también sirve para los otros tipos de costura al emplear electrodos de alma fundente. En costuras soldadas con electrodos fuertemente revestidos, el valor llega a 0,4 mm., y con soldadura automática a más de 0,5 mm. Como ya se ha dicho, estos valores son independientes del espesor de las planchas y sólo valen, naturalmente, suponiendo que el ancho de las planchas, en sentido perpendicular a la costura, sea relativamente grande. El valor de 0,35 mm. aumenta con el ancho limitado según la curva indicada en la fig. 1; los otros valores base se modifican correspondientemente.

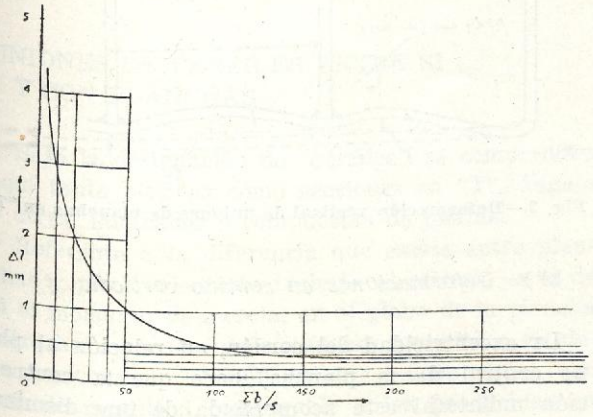



**Fig. 1.—Contracción térmica longitudinal de costuras, en función del ancho y del espesor de las planchas.**

Además, se supone que las planchas soldadas, en el momento de efectuar la soldadura, son libres en dos direcciones. De no ser así, como en la soldadura de parches, las cifras expuestas no son aplicables.

c) *Parches.*

La denominación de "parche" se utiliza aquí para trozos de planchas que van a soldarse en el interior de una zona cerrada de plancha, que se considera de dimensión grande en comparación con la del parche. La costura, entonces, se extiende alrededor del parche unos 360°.

Con esta soldadura surge el problema de cómo puede dominarse el estado de tensiones que resulta de la deformación limitada. Es fácil deducir que aquí el mismo parche sufrirá tracción radial (centrífuga), y que, por cuestiones de equilibrio, la plancha circundante será afectada por una tracción centrípeta de la misma magnitud. Las deformaciones correspondientes que disminuyen la circunferencia del parche, o sea la longitud de la costura, originan, en sentido tangencial, un campo de esfuerzos de compresión, debido al hecho de que la contracción circunferencial de la costura es mucho menor que la disminución forzada de la circunferencia por contracción radial. Este fenómeno puede incluso conducir a la formación de ondulaciones en el contorno del parche, por una especie de "pandeo", ondulaciones que producen, cuando aparecen en la forma clásica del problema, las llamadas "rayas de estrella".

A no ser que se tomen las precauciones debidas, es muy corriente que este esfuerzo de tracción (que es lo más fuerte en la misma costura) origine en ésta o en la zona de transición roturas tangenciales, peligro que es dudoso pueda remediarse por martillado. Debido a esto, aunque la construcción con planchas localmente reforzadas es la que permite desarrollar todas las cualidades favorables de la soldadura, no fué muy estimada en los primeros tiempos de empleo de este procedimiento. De todos modos, hoy en día se aplica mucho, por ejemplo, en la construcción naval, y a menudo es inevitable por la secuencia del montaje.

Se ha buscado la solución de este problema, es decir, la aplicación posterior de parches sin exceso de tensiones de tracción y rotura consiguiente, en diversos sentidos, habiendo resultado al final, como el más satisfactorio, la contramedida por abombado previo del parche.

La dificultad para aplicar satisfactoriamente este método, en un principio consistió en la predeterminación de la flecha necesaria del abombado, considerándose como valor adecuado la flecha que, después de haber terminado de soldar, habrá desaparecido justamente, dejando un mínimo de tensiones.

Se han hecho muchas pruebas en diversos talleres; pero, aunque se trataba de uno de los problemas más fundamentales y primarios de la soldadura, era muy difícil encontrar el que, entre todos, era el común. Al final, suponiendo un parche circular de espesor igual al de las planchas circundantes y una soldadura de secuencia diagonal (*), con electrodos ligeramente revestidos y la corriente continua prescrita para el espesor, se ha llegado a una regla aproximada para la flecha del abombado que destaca entre las otras por su sencillez y alto grado de aplicabilidad. La fórmula, muy sencilla, es:

$$f = k \cdot \sqrt{s \cdot D} \qquad [2]$$

En la fig. 2 se muestra el coeficiente $k$, en función del espesor del parche que, multiplicado por la raíz del producto del espesor de la plancha y del diámetro del parche, da la flecha buscada.

Para parches octogonales (hay que evitar los rectangulares, si es posible) se determinan los valores

(*) Véase "Cascos de buques totalmente soldados". II, Figura 9 (Ciencia y Técnica de la Soldadura, núm. 5, 1952).

inscribiendo un círculo que coincida lo más posible con el octógono. Teniendo éste formas muy oblongas, el diámetro del círculo se acerca a un máximo de aproximadamente 2 veces el diámetro mínimo del parche. Entonces, en su parte central, el abombado es de forma cilíndrica, mientras que, en parches circulares, es de forma esférica.

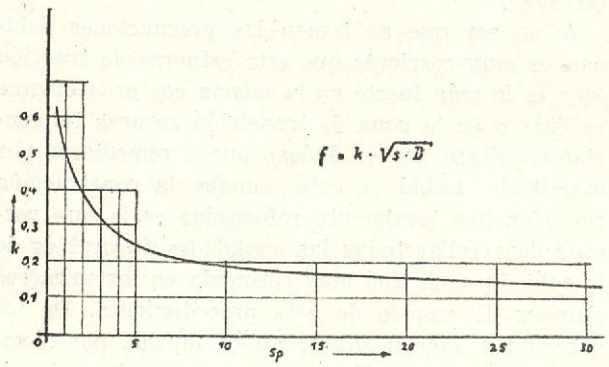



**Fig. 2.—Coeficiente k para la predeformación de planchas de refuerzo, soldadas en zonas cerradas ("parches").**

La costura normalmente se ejecuta en "V", colocándose la abertura de la "V" en el lado cóncavo del parche.

## 2) Uniones angulares de planchas.

En uniones angulares de planchas hay que distinguir entre dos formas: la unión del canto de una plancha con el plano de otra, o sea unión en "T", y la de dos planchas por sus cantos, o sea unión en "ángulo".

a) *Unión en "ángulo".*

a') *Deformaciones en sentido transversal.*

Las deformaciones en sentido transversal, en este caso, se determinan fácilmente, teniendo en cuenta que el ángulo se abre por la contracción de ambas planchas, deformación cuya magnitud en cada una de las dos planchas es la mitad de la indicada en 1b).

Además el ángulo formado por ambas planchas se redondea; pero, para este efecto, aún no hay definición matemática, dependiendo su magnitud también de si hay contra-cordón y de las dimensiones que tenga.

a") *Sentido longitudinal*

No hay diferencia con lo expuesto en 1b).

b) *Unión en "T".*

b') *Deformaciones en sentido transversal.*

Suponiendo una altura del cordón de 0,7 $s$ ($s$ = espesor de las planchas), la contracción transversal por cordón es prácticamente la mitad de la calculada según la fórmula indicada en 1a). Vale tanto en sentido horizontal como vertical, con lo cual la deformación en este último sentido causa el levantamiento correspondiente del pie $a$ de la unión (fig. 3). Con dos cordones vecinos, soldados alternamente, la contracción transversal llega al doble del valor anterior.

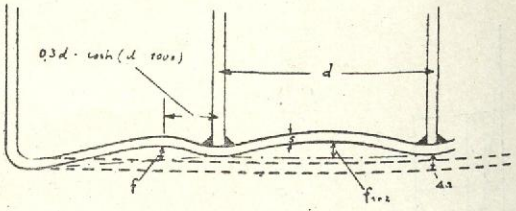



**Fig. 3.—Deformación vertical de uniones de planchas en "T".**

b") *Deformaciones en sentido vertical.*

La excentricidad del cordón, en relación al plano central de la plancha, hace que la contracción unilateral esté acompañada de una disminución del ángulo formado por las planchas, manteniéndose la simetría si la soldadura se efectúa alternando de lado; con lo que las dos alas sufren una curvatura entre el pie de la unión y el próximo apoyo, según indica en la figura.

La flecha de esta deformación curvada, suponiendo que la altura del cordón (que se considera continuo) es de 0,7 $s$, será:

$$f = \sqrt{s} \cdot \frac{d/20\,s}{d/20\,s + 1} \text{ (en mm)} \qquad [3]$$

en donde $d$ significa la distancia entre el pie de la unión y el apoyo próximo; todas las medidas deben darse en milímetros. Este valor se encuentra a

$$0{,}3\,d \frac{1}{\cosh\,(d : 100\,s)}$$

de distancia de la soldadura.

De no coincidir el valor efectivo $h$ del cordón con el teórico $h_t = 0{,}7\,s$, hay que multiplicar el valor $f$ por $(h/h_t)^{3/2}$.

Interesa también el resultado que da la soldadura de dos uniones vecinas. soldándose una segunda costura, al existir ya la flecha $f_1$ de una primera y suponiendo que la segunda, calculada inde-

pendientemente, daría $f_2$, la total en el centro de la clara será:

$$f_{1+2} = \sqrt{f_1^2 + f_2^2} \qquad [4]$$

b''') *Sentido longitudinal.*

En sentido longitudinal, la contracción por cordón es igual al valor medio indicado para planchas unidas en un plano, si la altura del cordón se considera igual a 0,7 *s*. Con otra altura u otra longitud se aplica la misma corrección indicada en el párrafo anterior. Con dimensiones relativamente limitadas en las planchas por la acumulación correspondiente de calor, se aplica la corrección dada en el gráfico de la fig. 1.

## UNIONES DE PERFILES ENTRE SI Y CON PLANCHAS

Bajo la designación de "perfiles" se comprenden aquí tanto pletinas como secciones en "T", ángulo y otras, laminadas o compuestas de pletina.

Referente a la diferencia que existe entre planchas y pletinas en este trabajo, el criterio es el de si el momento de inercia, en el plano de la plancha estrecha o pletina, prácticamente permite o no deformaciones por flexión en este mismo plano, que son de magnitud comparable a las producidas en sentido vertical a este plano. De no permitirlas es que se trata de planchas, de manera que especialmente vale la fórmula dada en el párrafo 1b) del apartado anterior, o sea en la fig. 1.

### 1) Uniones transversales (topes).

La soldadura de topes de perfiles origina una contracción longitudinal que es semejante a la transversal de la unión de dos planchas, pero generalmente resulta mayor, por la distinta distribución del calor aportado durante el proceso. Suponiendo que se suelda en "X" y con un número de cordones depositados uno sobre otro, elegido prácticamente y según las reglas normales, la fórmula para la contracción longitudinal es, aproximadamente:

$$q_p = 2{,}0 + 1{,}0 \times s/20 \text{ (en mm)} \qquad [5]$$

que da valores bastante mayores que la fórmula [1] para planchas que, en uniones en "X", reduce el valor normal a un 75 por 100.

La misma fórmula puede aplicarse análogamente a todos los tipos de perfiles, no sólo a pletinas; pero siempre hay que tener en cuenta que únicamente da valores aproximados si la soldadura se efectúa en forma simétrica, no sólo entre bandas, sino también en sentido vertical con respecto al eje neutro, para evitar deformaciones adicionales de flexión.

### 2) Uniones longitudinales.

a) *Perfiles o pletinas entre sí.*

a') *Deformación longitudinal.*

Uniendo dos pletinas para formar un perfil en "T", o un perfil con una plentina para formar una sección más compleja, el conjunto sufre una contracción longitudinal que puede determinarse según el párrafo 2b") del apartado anterior, respetando el coeficiente de corrección según el gráfico de la figura 1, y las correcciones dadas en ese mismo párrafo para alturas y longitudes de los cordones.

a") *Deformación por flexión.*

Al no estar la costura longitudinal situada en el eje de gravedad de la sección compuesta, el conjunto mostrará, después de haberse producido la contracción térmica resultante, una deformación por flexión cuya flecha se determina por la fórmula:

$$f_p = \frac{h^2 \cdot l \cdot \Sigma l_s \cdot (e_1 F_1 + e_2 F_2)}{320\,(J_1 + J_2)\,(F_1 + F_2)} \qquad [6]$$

en donde $h$ es la altura del cordón, $l$ la longitud del perfil, $l_s$ la suma de las longitudes de soldadura en ambos lados del tope, las $e$ las distancias desde el eje neutro de cada elemento parcial al centro de gravedad de los cordones y las $J$ los momentos de inercia de las secciones de ambos elementos parciales. Se ve que, al ser $e_1 F_1 = e_2 F_2$ (es decir, al estar colocado el cordón en el eje neutro del conjunto), la flecha llega a ser cero.

Se supone que, en sentido transversal, la soldadura se efectúa en proceso simétrico, para evitar que se superpongan deformaciones laterales.

b) *Unión de perfiles con plancha.*

Sabiendo que, en sentido transversal y longitudinal, vale lo dicho para la unión de planchas en "T", respetando el ancho reducido que representa la sección reducida del perfil, sólo se trata de evaluar la deformación vertical, o sea de flexión. Esta se determinará según la fórmula dada en el párrafo anterior, pero sustituyendo una de las pletinas por el ancho de la zona afectada de la plancha (concepto que corresponde al del "ancho eficaz" de planchas que colaboran con perfiles en la resisten-

cia estructural). se puede estimar este ancho, aproximadamente, como:

$$b_i = \frac{30 \,.\, s}{\cosh (100 : l)} \qquad [7]$$

en donde $b_i$ es el valor total, a ambos lados de la unión, $s$ el espesor de la chapa y $l$ la longitud de la plancha. Conviene saber que el factor constante 30 es discutido, y que vale la pena hacer la colección estadística de datos medidos prácticamente para confirmar su magnitud media real. Es de advertir que el valor 30 sólo vale a condición de que la altura $h$ se consiga con una sola capa de soldadura.

## EJEMPLOS

### SOLDADURAS DE REFUERZOS EN UNA PLANCHA

En una plancha de 4 mm. de espesor, de 2.000 mm. de longitud, se soldarán refuerzos con 500 mm. de separación. Estos refuerzos, a su vez, van soldados en forma de "T" por pletinas, de sección 40×3 mm. para el alma y 40×5 mm. para el ala. La soldadura de ambas uniones será de 2,5 mm. de altura y de tipo intermitente, con un factor de 0,4. Las deformaciones que con estas soldaduras se producirán, se calculan como sigue:

#### 1) Perfil.

Contracción longitudinal:

$$0{,}7\, s_m = 0{,}7\ (3{,}0 + 5{,}0)\ :\ 2 = 2{,}8 \text{ mm}$$

$$(b_1 + b_2)\ :\ s_m = (40 + 40)\ :\ 4{,}0 = 20$$

Para este parámetro, la curva de la fig. 1 da 2,15 mm.; entonces, la contracción longitudinal corregida resulta:

$$\Delta 1 = 2{,}5 \,.\, (2{,}5/8)^{3/2} \,.\, \sqrt{2 \,.\, 0{,}4} = 1{,}62 \text{ mm}$$

Flecha (fórmula [6]):

$$F_1 = 2{,}0 \text{ cm}^2 \quad e_1 = -\,0{,}35 \text{ cm} \quad J_1 = 0{,}0417 \text{ cm}^4$$

$$F_2 = 1{,}2 \text{ cm}^2 \quad e_2 = +\,1{,}90 \text{ cm} \quad J_2 = 1{,}60 \text{ cm}^4$$

$$f_p = \frac{0{,}25^2 \,.\, 200 \,.\, 0{,}4 \,.\, 2 \,.\, 200 \,.\, (-\,035 \,.\, 2{,}0 + 1{,}90 \,.\, 1{,}2)}{320 \,.\, (1{,}60 + 0{,}0417) \,.\, (2{,}0 + 1{,}2)} =$$

$$= 1{,}88 \text{ cm. (levantándose los extremos)}$$

#### 2) Conjunto perfil compuesto y plancha.

Contracción longitudinal:

$$\Sigma\, b/s = 580 : 4 = 145$$

Para este parámetro la curva de la fig. 1 da 0,39 mm/m., resultando para 2 metros de longitud:

$$\Delta 1 = 0{,}39 \,.\, (2{,}5/2{,}8)^{3/2} \,.\, \sqrt{2 \,.\, 0{,}4} \,.\, 2 = 0{,}588 \text{ mm.}$$

Contracción transversal por refuerzo:

$$q = \tfrac{1}{2} \,.\, (1{,}5 + 1{,}0 \,.\, 4{,}0/20) \,.\, (2{,}5/2{,}8)^{3/2} \,.\, 2 \,.\, \sqrt{0{,}4} =$$

$$= 0{,}905 \text{ mm.}$$

Con dos refuerzos por metro (con separación de 0,5 m.), la contracción transversal por metro es de 2×0,905=1,81 mm.

Flecha de los paneles entre refuerzos:

$$f_o = \sqrt{4} \,.\, \frac{500/80}{500/80 + 1} \,.\, (2{,}5/2{,}8)^{3/2} \,.\, 0{,}4 = 0{,}92 \text{ mm.}$$

$$f_{1+2} = \sqrt{0{,}52^2 + 0{,}92^2} = 1{,}30 \text{ mm.}$$

Flecha del conjunto plancha y perfil.

El ancho de plancha afectado, según la fórmula [7] es:

$$b_i = 120 : \cosh (400 : 2000) = 120 : 1{,}02 = 117{,}5 \text{ mm.}$$

$$F_1 = 3{,}20 \text{ cm}^2 \quad e_1 = 3{,}307 \text{ cm.} \quad J_1 = 5{,}44 \text{ cm}^4$$

$$F_2 = 4{,}70 \text{ cm}^2 \quad e_2 = +\,0{,}30 \text{ cm.} \quad J_2 = 0{,}063 \text{ cm}^4$$

La flecha resulta, según la fórmula [6]:

$$f = \frac{0{,}0025 \,.\, 200 \,.\, 0{,}8 \,.\, 200 \,.\, (-\,3{,}307 \,.\, 3{,}20 + 0{,}30 \,.\, 4{,}70)}{3{,}20 \,.\, (5{,}44 + 0{,}063) \,.\, (3{,}2 + 4{,}7)} =$$

$$= 1{,}695 \text{ cm.}$$

Se ve que esta flecha resulta contraria a la anterior del perfil solo, de manera que únicamente se necesita una predeformación total de, aproximadamente—0,2 cm. (bajando los extremos) para compensar la flecha final.

### SOLDADURA DE UN CILINDRO REFORZADO

Un casco cilíndrico de 1,4 m. de diámetro, compuesto por 3 tracas de 6 mm. de espesor, con soldaduras en V, se refuerza, a distancias de 300 mm., con anillos de refuerzo, de 5,6 cm². de sección, unidos con el forro exterior por cordones continuos de 2 mm. de altura. Calcular la contracción aproximada del diámetro del cilindro, para la añadidura previa correspondiente.

*Contracción transversal de las planchas:*

$$q = 3 \,.\, (1{,}5 + 1{,}0 \,.\, 6{,}0/20) = 5{,}40 \text{ cm.}$$

*Contracción longitudinal de los anillos*:

La contracción longitudinal (=circunferencial) de los anillos resulta, con $b/s=(300+560:6):6=$ $=65,5$ y contracción base, según la fig. 1, de 0,6 mm.:

$$0,60 \cdot (2,0/0,7 \cdot 6)^{3/2} \cdot \pi \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2} = 1,224 \text{ mm.}$$

*Suma*:

En la circunferencia, la suma es:

$$\Delta u = 5,400 + 1,224 = 6,624 \text{ mm.}$$

La contracción del diámetro, entonces, es de:

$$\Delta u : \pi = 2,11 \text{ mm.}$$

Resulta interesante decir que un experimento práctico ejecutado hace poco en España ha dado casi exactamente este mismo valor teórico.

LEYENDA DE SIMBOLOS

| Signo | DESIGNACION | Dimensión |
|---|---|---|
| $a$ | Alzamiento de uniones soldadas ..... | cm |
| $b$ | Ancho influído de chapa ..... | cm |
| cosh | Cosenos hiperbólicos ..... | cm |
| $d$ | Distancia entre refuerzos ..... | cm |
| $D$ | Diámetro de los parches ..... | cm |
| $e$ | Distancia del eje neutro del centro de gravedad del cordón ..... | cm |
| $f$ | Flechas ..... | cm |
| $f_{1+2}$ | Flecha común a dos efectos ..... | cm |
| $f_p$ | Flecha de los perfiles ..... | cm |
| $F$ | Area de la sección ..... | $cm^2$ |
| $h$ | Altura de los cordones ..... | cm (mm) |
| $h_t$ | Altura teórica de los cordones ..... | cm (mm) |
| $J$ | Momento de inercia de la sección... | $cm^4$ |
| $k$ | Coeficiente de deformación previa... | — |
| $l$ | Longitud de los perfiles ..... | cm |
| $l_s$ | Longitud de los cordones ..... | cm |
| $q$ | Contracción transversal de las costuras ..... | cm (mm) |
| $s$ | Espesor ..... | cm (mm) |

## TRANSFORMACION DE PETROLEROS EN BUQUES PARA CARGA DE MINERAL

(De "La Marina Italiana", agosto 1955).

### I.—Premisa.

A causa de los grandes programas de construcción de petroleros efectuados en los últimos años por casi todas las Marinas y, particularmente, por las grandes compañías afiliadas a los trusts petrolíferos y debido al esencial progreso de las características técnicas de las nuevas unidades, los petroleros de la anteguerra encuentran cada vez mayores dificultades para su utilización, sobre todo en aquellos de peso muerto inferior a las 13.000 toneladas y de velocidad inferior a los 12 nudos.

Esta es la razón por la que los petroleros más viejos se están desguazando, mientras que para los de edad media y que todavía están en condiciones de conservación satisfactorias, hay tendencia a emplearlos en otra forma.

Así muchos petroleros, particularmente de los Estados Unidos, después de larga y forzosa inactividad, y una vez convenientemente adaptados, se están destinando para el transporte del grano de Norteamérica. Y se están vendiendo en número creciente petroleros en el mercado a precios convenientes para transformarlos en buques de carga seca.

No es superfluo considerar que en los últimos años el tráfico de mineral ha alcanzado un desarrollo considerable y que los buques para esta misión están consiguiendo un ritmo creciente en relación con otros tipos de cargueros. De aquí ha nacido la conveniencia económica de transformar los petroleros de la anteguerra de tonelaje medio en buques para transporte de mineral, teniendo en cuenta que estas transformaciones resultan mucho más simples y menos costosas que las que serían necesarias para transformarlos en buques de carga general.

Consideraremos dos transformaciones típicas.

### II.—Transformacion del petrolero "Rhea".

El petrolero "Rhea", de la Compañía Auxiliar de Navegación de París, construído en el año 1928, tiene las siguientes características:

| | |
|---|---|
| Eslora total ..... | 142,03 m. |
| Eslora entre perpendiculares ..... | 135,00 m. |
| Manga ..... | 18,90 m. |
| Puntal ..... | 10,36 m. |
| Arqueo bruto ..... | 7.813 T. R. |
| Arqueo bajo cubierta ..... | 7.024 T. R. |
| Arqueo neto ..... | 4.185 T. R. |
| Peso del buque en lastre ..... | 5.154 t. |
| Peso muerto ..... | 11.733 t. |
| Desplazamiento ..... | 16.887 t. |
| Calado medio correspondiente ..... | 8,15 m. |
| Velocidad a plena carga ..... | 11 nudos. |
| Potencia sobre las 2 hélices..... | 4.100 CV. |
| Consumo medio de combustible diario, a plena carga, aprox. ... | 13 t. |

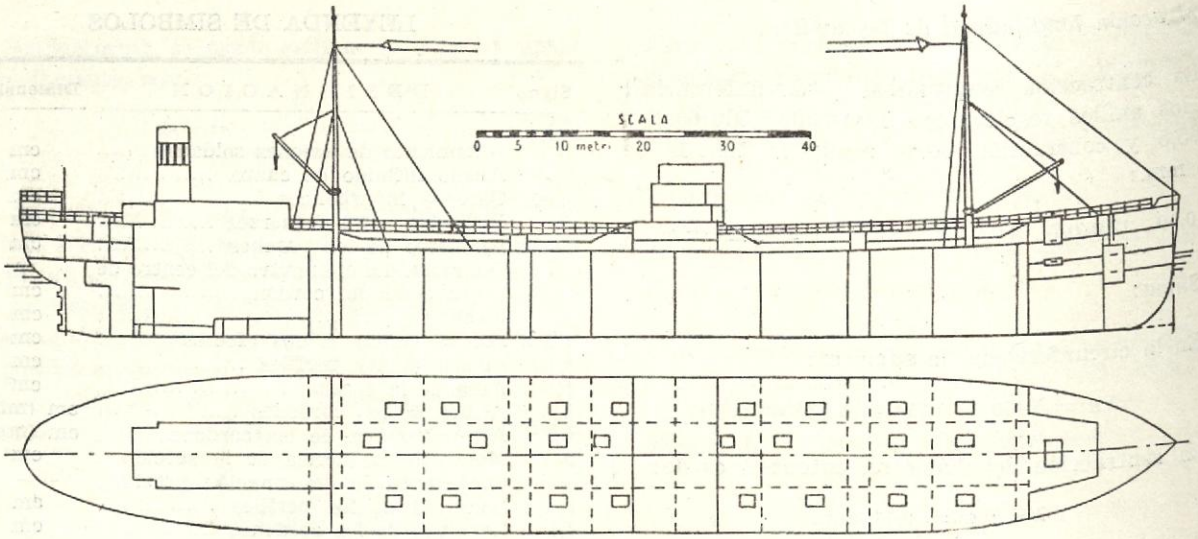



**Fig. 1.—El petrolero "RHEA", de 11.733 tons. de P. M.**

El casco de construcción longitudinal "Isherwood", con dos mamparos longitudinales a 4,065 m. del plano diametral, tenía tres filas de tanques con 8 en cada fila. Los tanques números 1, 2, 4, 5, 6 y 8, de 10,54 m. de largo, son reforzados por 3 bulárcamas, distantes entre sí 3,10 m. y del mamparo estanco transversal 2,17 m.; los tanques números 3 y 7, de 7,44 m. de largo, están provistos de dos bulárcamas a la misma distancia de los primeros. La capacidad de los tanques es la del cuadro I.

El "Rhea", comprado por la Sociedad Trasoceánica de Navegación "La Veloce", de Génova, en 1953, fué transformado en el astillero de Ansaldo, de La Spezia, en buque de transporte de mineral y rebautizado como "Jimmy Marsano". En la figura 2 puede verse una disposición del buque después de su transformación.

A semejanza de los buques modernos para el transporte de mineral o de carga líquida, los tanques centrales fueron transformados en bodegas

CUADRO I

| Tanques | METROS CUBICOS Centro | Estribor | Babor |
|---|---|---|---|
| 1 | 887 | 544 | 544 |
| 2 | 887 | 566 | 566 |
| 3 | 643 | 410 | 410 |
| 4 | 883 | 568 | 568 |
| 5 | 887 | 568 | 568 |
| 6 | 887 | 567 | 567 |
| 7 | 643 | 395 | 395 |
| 8 | 894 | 441 | 441 |
| TOTAL..... | 6.611 | 4.059 | 4.059 |

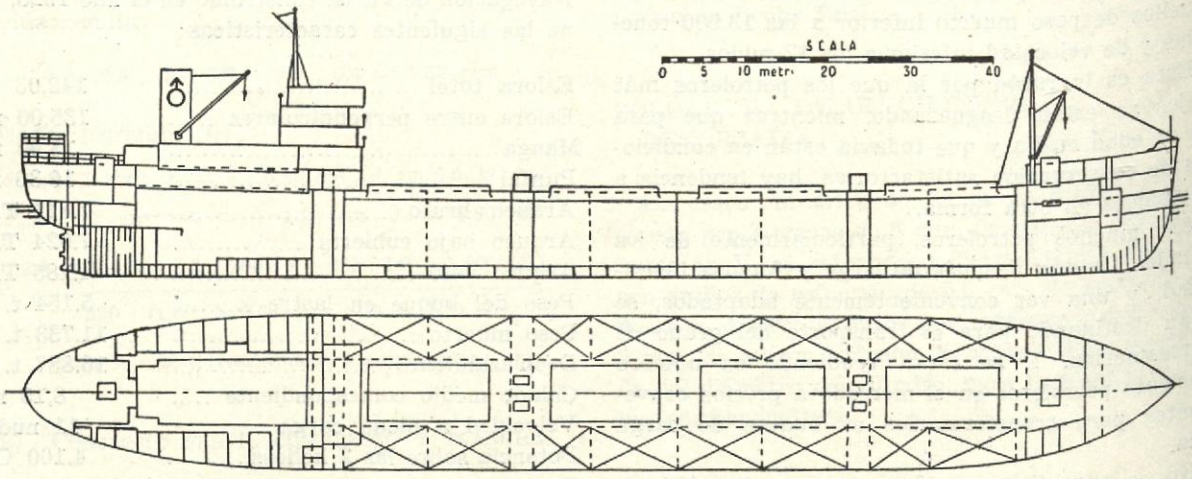



**Fig. 2.—El transporte de mineral y petróleo "JIMMY MARSANO" (ex-"Rhea"), de 11.500 tons. de P. M.**

para mineral, mientras que las dos filas de tanques laterales se han dejado sin modificar para poder utilizarse como tanques de lastre o eventualmente para transporte de carga líquida.

Para esta transformación se hicieron las siguientes obras:

*Casco metálico*:

a) Apertura de 4 escotillas de una manga común de 6,60 m., con brazolas de 610 mm. sobre cubierta y largos de: escotillas 1 y 3, 13,70 m.; escotillas 2 y 4, 15,00 m.

b) Instalación en cada escotilla de cierres metálicos tipo "Mac Gregor", de maniobra rápida, accionados por los chigres ya existentes.

c) Disposición del adecuado reforzado en cubierta, lateralmente a las nuevas escotillas y de una eslora (figuras 3, 4, 5, 6 y 7) en prolongación de la brazola, entre las 4 escotillas, para compensar la sección de cubierta suprimida.

interior del doble fondo de espesor aumentado, teniendo en cuenta la ausencia de forro de madera (figura 8); el fondo de la bodega se presenta sensiblemente realzado en los costados y en las extremidades para facilitar la descarga de mineral en su fase final.

h) Supresión de las escotillas de los tanques laterales recubriendo las aberturas con planchas en las que se han dejado unos registros de "paso de hombre".

*Alistamiento*:

Como consecuencia de los trabajos reseñados en los apartados a) y d), se modificaron:

La transmisión de mando del timón; la tubería de vapor de cubierta; servicio de agua salada y contra incendios; servicio de agua dulce; disposición de la escala real; pasamanos; servicio de ventilación y calefacción; servicio eléctrico.

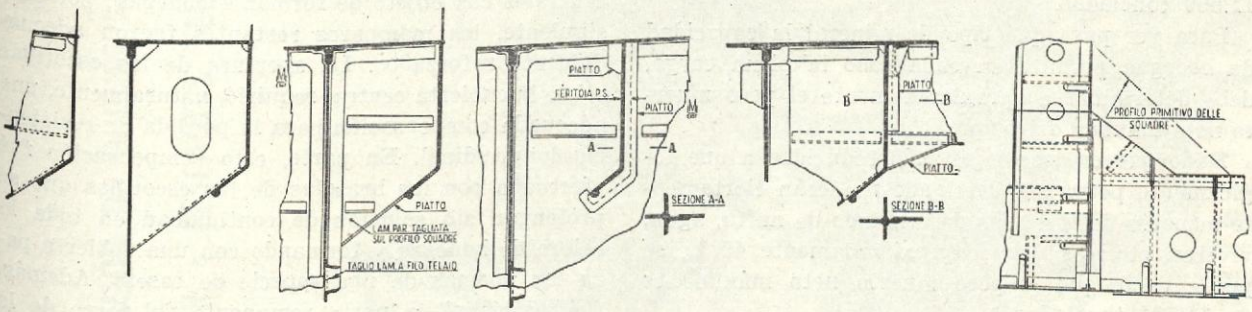



Fig. 3 Fig. 4. Fig. 5 Fig. 6 Fig. 7 Fig. 8

**Fig. 3.—Ligazón entre la eslora y los baos reforzados cortados en las bocas de escotilla. Fig. 5.—Consolas dispuestas a un espacio limitado de la clara de cuadernas. Fig. 5.—Corte de los mamparos estancos suprimidos. Fig. 6.—Paso de la eslora a través de los mamparos estancos existentes Fig. 7.—Paso de la eslora entre baos reforzados por fuera de las escotillas. Fig. 8.—Doble fondo.**

d) Supresión de la caseta central y traslado a la superestructura de popa de la caseta de alojamientos y puente de mando.

e) Supresión en los tanques centrales de los mamparos estancos transversales correspondientes a las cuadernas 39, 47, 55 y 63, desde la cubierta hasta una altura de 1.564 mm. sobre la línea de quilla.

f) Disposición de refuerzos adecuados en los mamparos 43, 44, 59 y 60.

g) En los tanques centrales: recortado de los ángulos con nervio de refuerzo situados en el borde superior de las varengas y de las consolas con flanja de ligazón entre varengas y mamparos longitudinales; disposición de 8 longitudinales de pletina con nervio, de la resistencia adecuada separados 813 mm. y soldados a las extremidades superiores de las varengas y al techo del doble fondo y puntales robustos de perfil de canal a la mitad de distancia entre varengas para unión entre longitudinales y el forro exterior; construcción del forro

*Fueron suprimidos*:

Los palos y su jarcia; los puntales de carga y sus equipos de maniobra correspondientes; la pasarela de comunicación entre superestructuras.

*Fueron dispuestos*:

Un mastelero para señales y antena de la radio sobre el puente de mando; un pequeño palo a proa de la altura mínima reglamentaria para las luces de trinquete; medios para la maniobra de las mangueras de embarco y desembarco de nafta y para la maniobra de desmontaje parcial de la maquinaria.

Ninguna variante se efectuó en la tubería de achique y llenado de las cisternas laterales, las cuales, como ya se ha dicho, se utilizarán para el servicio de lastre y eventualmente para carga de combustible. Para el servicio de sentina de las 4 bodegas centrales se suprimieron las conexiones de tubería de carga líquida y se dispuso una red de tubería de achique unida a la bomba correspondiente.

En fin, fueron aplicadas a las superficies metálicas de los ex tanques centrales, previa limpieza adecuada, una mano de minio y dos de pintura protectora; y a todas las partes nuevas y a las afectadas por los trabajos, mínio y pintura, según su necesidad y normas usuales.

## III.—Arqueo y peso muerto del "Jimmy Marsano".

Después de la transformación, el buque ha conseguido las siguientes características:

| | |
|---|---|
| Arqueo bruto ..... | 7.802 T. R. |
| Arqueo bajo cubierta ..... | 6.911 T. R. |
| Arqueo neto ..... | 1.906 T. R. |

El calado actual del buque es de 8,071 m., que corresponde a un desplazamiento de 16.727 toneladas, siendo el peso del buque en lastre (vacío) de 5.158 toneladas, el peso muerto resultante es de 11.569 toneladas.

Para ver para qué tipo de mineral la capacidad de bodegas permite en cada caso la plena carga, debe determinarse aproximadamente el peso muerto neto máximo del buque.

Dado que en los viajes más reducidos a que lógicamente podrá ser destinado no serán ciertamente menores de tres días de consumo de nafta, agua, víveres, etc.; es decir, aproximadamente 45 t., se puede decir que el peso muerto neto máximo es de 11.524 toneladas.

Siendo el volumen total de los ex tanques centrales (véase cuadro 1) de 6.611 m³, y el volumen del doble fondo de 1.040 m³, resulta una capacidad de bodegas de 5.571 m³, y, por tanto:

$$\frac{5.571}{11.524} = 0{,}483 \text{ m}^3/\text{ton. (17,3 pies cúbicos/ton.)}$$

No podrá, por tanto, conseguirse la utilización del peso muerto máximo más que con minerales de la citada densidad; por ejemplo, mineral de hierro, para cuyo transporte va a dedicarse este buque.

Como petrolero con una carga en los tanques laterales de petróleo semidenso, el peso muerto neto máximo sería de:

$$2 \times 4.059 \times 0{,}92 = 7.460 \text{ t.}$$

Si se consideran tres días de navegación, es decir, un consumo de 45 toneladas, el calado a la salida sería de 6,23 m., notablemente inferior al calado correspondiente en plena carga de mineral.

En condición no muy diferente, se encontrará el buque en lastre con los tanques laterales llenos de agua.

## IV.—Transformacion del petrolero "Europa".

El petrolero "Europa" de cerca de 12.750 toneladas de peso muerto, construído en 1935 para la Compañía "Texas" (Noruega), fué comprado hace algún tiempo por "K. Salversen y Sonner", que lo hizo transformar inmediatamente en Alemania en buque transporte de mineral. La obra de transformación fué efectuada en brevísimo tiempo, unos dos meses; iniciadas en diciembre, el buque, rebautizado "Ardour", salió en febrero para el Brasil a cargar mineral de hierro para el Reino Unido.

También en esta transformación se convirtieron los tanques centrales en bodegas para mineral, dejando sin variación los laterales para utilizarlos como tanques de lastre. Un doble fondo de acero recubierto de forro de madera, fué construído en toda la eslora de los tanques centrales, sensiblemente realzado en los mamparos longitudinales por los motivos ya expuestos. Se desmontaron algunos mamparos estancos transversales en los tanques centrales con objeto de formar 4 bodegas; por consiguiente, los mamparos restantes fueron adecuadamente reforzados. La apertura de las escotillas sobre la cubierta central requirió, naturalmente, una adecuada compensación para la pérdida de resistencia longitudinal. En parte, esta compensación fué efectuada con las brazolas de las escotillas que se prolongan sin solución de continuidad en toda la eslora de bodegas y formando con una cubierta para las mismas de una especie de caseta. Además, fué "doblada" la parte remanente del forro de la cubierta. El realzamiento de la brazola tenía principalmente el objeto de conseguir un mayor arqueo bruto para compensar la pérdida debida al peso de los nuevos materiales agregados en la transformación. Este objeto, sin embargo, no se ha conseguido por completo: en efecto, la transformación requirió cerca de 1.000 toneladas nuevas de acero y el "Ardour" que como petrolero tenía un peso muerto de 12.750 toneladas, ahora tiene 12.173 toneladas.

Las escotillas tienen tapas metálicas "Mac Gregor". El compartimiento de bombas primitivo fué suprimido y sustituído por uno nuevo debajo de la cubierta de alojamientos. El buque no está provisto de ningún equipo de carga y descarga, dependiendo, por tanto, enteramente de las instalaciones apropiadas de los puertos de atraque, como es normal.

Otra transformación de este género se está proyectando en Noruega. Un petrolero de 14.580 toneladas de peso muerto ha sido comprado por la C. T. Gogstad y Co." de Oslo. Actualmente, este buque navega como petrolero con el nombre de "Lido", pero deberá ser transformado en buque transporte de mineral muy pronto.

CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE BUQUES · VARADERO
ESCOTILLAS METÁLICAS ELCANO - MAC GREGOR · PESCANTES ELCANO - WELIN · PALOS BIPODES
ASTILLEROS DE SEVILLA
EMPRESA NACIONAL ELCANO

V.—Comparacion de las dos soluciones.

La primera solución realizada por el ingeniero C. Mezzani, es mejor desde el punto de vista técnico. El solo hecho de haber conseguido una compensación entre el peso de los materiales desmontados y el de los materiales agregados es, en resumen, la demostración más convincente.

Otras ventajas de no despreciable importancia que deben hacerse resaltar en esta solución, son precisamente:

1.° Un aumento de cerca de 65 m³. de la capacidad total de bodegas, debido a la ausencia de forro de madera en el techo del doble fondo, que supone además un aumento de peso muerto de cerca de 130 toneladas y eleva el peso del mineral a 2 t/m³.

2.° Cubierta libre de estructuras, tales como pasarela, arboladura, plumas de carga y su jarcia, escotillas de los tanques laterales y caseta central.

Evidentemente, la transformación efectuada en Alemania responde sobre todo a razones de urgencia para tener disponible el buque, lo que desde el punto de vista técnico, naturalmente, no puede considerarse. Las 1.000 toneladas de aumento del peso del peso del buque no grava sobre todo en el coste de la transformación, pero grava en la explotación del buque en el consiguiente aumento de consumo de combustible por el mayor desplazamiento y por el menor peso muerto resultante para la carga.

Si en la solución adoptada por el astillero alemán se eliminase el excesivo reforzamiento de la cubierta, el realzamiento de la brazola de las escotillas y el forro de madera que aumenta naturalmente el espesor del techo del doble fondo, el peso de la transformación de este género sería notablemente inferior.

En efecto, si esto se hubiese hecho como, por ejemplo, para la transformación del petrolero "Rhea", el aumento del peso del buque hubiese sido de unas 180 toneladas.

# Información General

## EXTRANJERO

### NUEVOS BUQUES CON GRUAS MOVIBLES SOBRE CUBIERTA

Los Astilleros de Oresundsvarvet A/B, de Landskrona (Suecia), han entregado recientemente, a una Compañía noruega, el buque de carga "Balkis", que está equipado con dos grúas de 5 toneladas, desplazables de proa a popa. Este buque ha sido construído de acuerdo con las reglas del Norske Veritas, para buques de pleno escantillón.

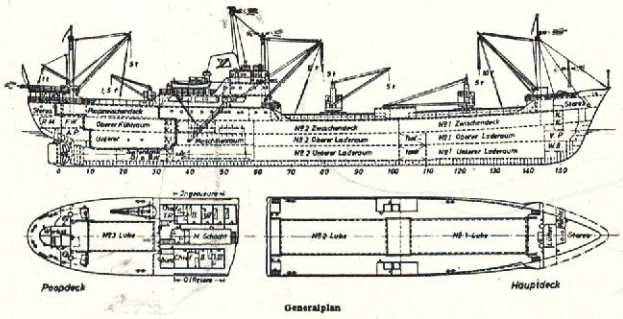



Fig. 1

Las características principales son las siguientes:

| | |
|---|---|
| Eslora total | 114,12 m. |
| Eslora entre perpendiculares | 103,63 m. |
| Manga total | 15,24 m. |
| Puntal a la cubierta superior | 8,79 m. |
| Arqueo | 4.212 T.R.B. |
| Velocidad | 16,4 nudos. |

Las grúas están montadas sobre las escotillas, que están provistas de cierres Mac Gregor, y cuando se abren pueden desplazarse de un lado a otro por estar montadas sobre una especie de puente-grúa, que puede rodar por los costados de las escotillas.

Como este buque está dispuesto para el transporte de frutas y otros alimentos, las bodegas de popa, que son las que están provistas de las grúas que se acaba de indicar, están ventiladas por 20 ventiladores eléctricos, pudiéndose cambiar 30 veces por hora el volumen de aire. Entre las dos bodegas de

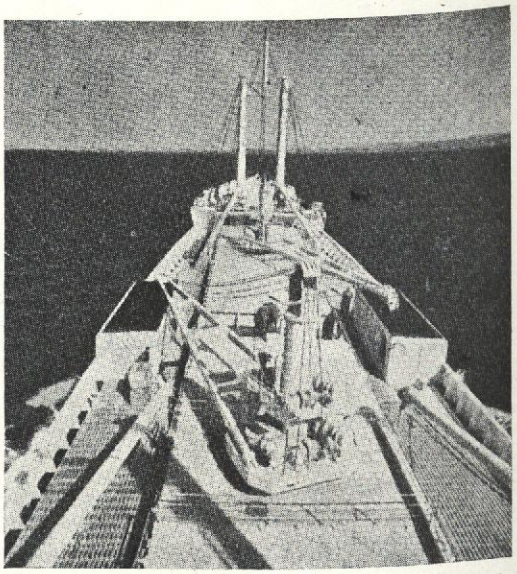


Fig. 2

proa se encuentran cuatro tanques verticales para el transporte de aceites vegetales, con una capacidad de 407 m³. A popa de máquinas existe otra bodega refrigerada que puede llevarse hasta una temperatura de 20° bajo 0.

La propulsión se realiza por un motor Diesel de dos tiempos, Gotaverken, capaz de desarrollar 3.700 caballos a 160 r. p. m.

# Un nuevo triunfo de la Industria Nacional

## EL MOTOR PC... ¡GANARA SU CONFIANZA!

**Porque... mecánicamente está**

- inspirado en la más pura técnica moderna
- proyectado por especialistas de gran experiencia
- mecanizado totalmente según normas ISA y DIN
- equilibrado estática y dinámicamente

**... y eléctricamente,**

- caracterizado de acuerdo con las prescripciones y normas de la VDE
- bobinado con material y procedimientos muy especiales
- secado e impregnado profundamente en el vacío y bajo presión

*Manufacturas Metálicas Madrileñas, S. A.*

MMMSA

Ferman

Manufacturas Legazpi, S. A.-499

## EL PRIMER BUQUE DE MOTOR CONSTRUIDO EN LA INDIA

En el mes de agosto ha hecho el primer viaje a Europa el buque "Jalavihar", de 4.664 T. R. B., que es el primer buque a motor construído en la India.

Este buque tiene un peso muerto de 7.134 toneladas y está propulsado por un motor MAN de 2.800 caballos, que le impulsa a una velocidad de 13 nudos.

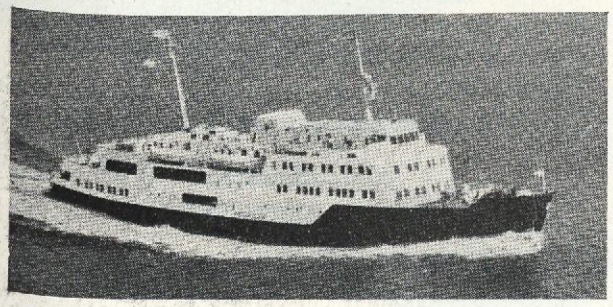
Como ya se ha indicado, este buque es el primero a motor construído en los astilleros Hindustan Shipyard Ltd., que en 1948 construyó el primer buque a vapor en aquel país.

## ENTREGA DEL BUQUE "ABSALON" PARA EL SERVICIO ENTRE LAS ISLAS DANESAS Y LA COSTA SUECA

En el mes de julio ha sido entregado por los Astilleros de Aalborg-Werft, a una Compañía danesa, el buque "Absalón", para el servicio entre las islas danesas y la costa sueca.

Las características principales son las siguientes:

| | |
|---|---|
| Eslora total | 70, 5 m. |
| Manga fuera de miembros | 13,— m. |
| Puntal a la cubierta principal | 3,70 m. |
| Altura libre en la cubierta de coches. | 2,10 m. |



Como la duración del viaje de Copenhague a Malmoe es solamente de una hora, no se han previsto camarotes para el pasaje. Hay amplios salones comedores y un café para el pasaje de las distintas clases.

El número de pasajeros máximo que puede transportar es de 1.200, y el de coches de turismo 10, que se cargan por medio de un accionamiento hidráulico que proyecta hacia el exterior una parte de la subida, para que puedan entrar los coches por sí mismos. En el interior se ha dispuesto una plataforma giratoria con objeto de facilitar la maniobra.

La propulsión se realiza por medio de dos motores Diesel Burmeister & Wain, de 7 cilindros, dos tiempos, sobrealimentados, capaces de desarrollar en conjunto 4.000 caballos a 300 r. p. m., en dos hélices. La velocidad de servicio es algo mayor de 17 nudos. Los grupos electrógenos consisten en 4 Diesel dínamos de 160 Kw., siendo los motores que los mueven también Burmeister & Wain, de tres cilindros, cuatro tiempos, sobrealimentados.

## EMPLEO DE LA SOLDADURA DEL ALUMINIO EN LA CONSTRUCCION NAVAL

Durante los días 7 y 8 de diciembre próximo se celebrará en Londres un Congreso organizado por The Institute of Welding, The British Welding Research Association, The Institution of Naval Architects, The British Shipbuilding Research Association y The Aluminium Development Association.

En él se presentarán y discutirán las siguientes Memorias:

*Primera sesión: Proceso y técnica de la soldadura.*

1. "La selección y uso de los procesos para la soldadura del aluminio en los astilleros", por P. T. Houldcroft, B. Sc. (Eng. Met.).
2. "Desarrollos recientes en la soldadura al arco de las aleaciones de aluminio en la Gran Bretaña", por W. I. Pumphrey, M. Sc., Ph. D.
3. "Procesos variables y control de calidad en la soldadura de planchas de NP5/6", por P. T. Houldcroft, B. Sc. (Eng. Met.), y A. A. Smith, B. Sc.
4. "La inspección y el control de calidad de la soldadura en las estructuras de aluminio", por A. E. W. Rogers.
5. "Inspección y control de calidad de la soldadura en gas inerte de las aleaciones de aluminio", por J. G. Young, B. Sc., y J. E. Tomlinson, B. Sc.

*Segunda sesión: Materiales y Proyecto.*

6. "Aleaciones de aluminio para la construcción naval", por H. J. Adams, M. Sc.
7. "Estructuras soldadas de aleaciones de aluminio, resistencia y características de las juntas soldadas y su influencia en el proyecto", por C. P. Oldridge, R. C. N. C.
8. La selección de materiales de aportación para

la soldadura de las aleaciones de aluminio", por P. T. Houldcroft, B. Sc. (Eng. Met.), y F. Fidgeon, B. Sc.

9. "La resistencia mecánica de las juntas soldadas de planchas de aleación de aluminio", por N. V. Almy, A. M. I. N. A.
10. "La comprobación de las estructuras soldadas de aluminio", por A. M. Mackie, B. Sc., D. I. C., A. F. R., Ac. S.

*Tercera sesión: Aplicaciones.*

11. "Experiencia escandinava en la soldadura al arco del aluminio en la construcción naval", por Arne Brinck, B. Sc., M. E., M. N. I. F.
12. "Dimensionamiento de estructuras de aleaciones ligeras para la construcción naval", por el profesor Ir. H. E. Jaeger.
13. "La construcción de superestructuras de aleaciones ligeras en los trasatlánticos *Flandre* y *Antilles*", por Pierre Vidal, Ing. E. N.
14. "Historia de algunos casos de pequeñas embarcaciones de aleación ligera soldada", por H. Goodwin.
15. "La soldadura de una pequeña embarcación de aleación de aluminio", por W. H. Dann, M. B. E., B. Sc., A. M. I. N. A., WHIT. SCH.
16. "Aleaciones de aluminio en el equipo de auxiliares y accesorios del buque", por E. C. Goldsworthy.

*Cuarta sesión: Aplicaciones y factores económicos.*

17. "Proyecto y construcción de casetas de superestructuras soldadas de aluminio", por Jhon F. Learhard, B. Sre., Ph. D., A. M. I. N. A.
18. "Casetas de superestructuras de aluminio totalmente soldadas", por A. R. C. Paterson.
19. "El uso y soldadura de aluminio en la construcción naval", por W. G. Warren, R. C. N. C.
20. "La economía del empleo del aluminio en los buques", por W. Muckle, M. Sc., Ph. D.
21. "La influencia de los métodos de fabricación en el coste y en la calidad de la soldadura", por J. G. Young, B. Sc., y J. E. Tomlinson, B. Sc.
22. "La economía del material de aleación de aluminio y otras ventajas referidas a dos tipos de buques, por James Lenaghan.

El importe de la matrícula es de 4 libras 4 chelines, en el que se incluye el suministro de un juego de los artículos mencionados, y la dirección para la citada matrícula es: The Secretary, The Institute of Welding; 2, Buckingham Palace Gardens; London, S. W. 1.

## EL PLENO DEL SCHIFFBAUTECHNISCHEN GESELLSCHAFT

Los días 17 y 18 de noviembre se presentarán en Hamburgo los trabajos que se indican a continuación:

"Realizaciones de la teoría actual de hélices marinas", por el doctor H. LERBS.

"La cadena con contrete y su fabricación", por el doctor KOCH.

"Experiencia con clima artificial en buques de carga alemanes", por el doctor Ing. HUDEMA.

"Materiales resistentes al calor en la construcción de máquinas marinas", por el doctor A. MATTING.

"Contribución a la teoría de las hélices óptimas en tobera (tobera Kort)", por los doctores H. E. DICKMANN y J. WEISSINGER.

"Causas y consecuencias de las roturas de los cigüeñales", por el doctor OPPITZ.

"La aplicación de la corriente alterna a los buques de carga seca", por el Ing. KOSACK.

"Estado actual de desarrollo de la propulsión eléctrica", por el Ing. W. HEIL.

"Acoplamientos magnéticos para la propulsión", por el Ing. G. LEMCKE.

"Propulsión por turbinas de vapor en pesqueros", por el doctor SCHMICK.

"Planteamiento y cálculo del balance térmico de las instalaciones de vapor", por el Ing. ANDERS.

# NACIONAL

## BOTADURA DE UN COSTERO DE 1.250 TONELADAS DE PESO MUERTO EN "ASTILLEROS Y TALLERES DEL NOROESTE, S. A."

El día 16 de septiembre último se efectuó en los "Astilleros y Talleres del Noroeste, Sociedad Anónima" (ASTANO), de El Ferrol del Caudillo, la botadura del costero de 1.000 toneladas de carga útil denominado *Marilí*, para don Luis Rial Paz.

Se trata de un costero con bodegas refrigeradas, cuyas características son las siguientes:

... Resulta un
ante, ¿verdad?

## CUARTO DE KILO DE CALCULO

En el mismo pabellón se encuentran multitud de otras máquinas calculadoras de menores pretensiones. Son las que conocemos todos, con mayores o menores variantes, con mayor o menor facilidad de manejo. Son esas máquinas de precisión calculadora que no realizan el trabajo de un equipo de contables, sino que sirven de ayuda a los mismos y se contentan con esto. Entre ellas nos ha llamado la atención, quiza por contraste, el polo opuesto de los "cerebros"; la minúscula "Curta", simpática, casi cordial y que hasta tiene un nombre bonito. "Curta" es ligera y suave; pesa 250 gramos y cabe en una mano. Sin embargo, es capaz de realizar las cuatro reglas fundamentales con una extraordinaria rapidez y exactitud. Puede uno llevarla en el bolsillo y realizar toda clase de sencillas operaciones en el mismo lugar de trabajo, en la oficina, en el campo, durante un viaje...

### EL "CEREBRO" POETICO...

Hemos visto los "cerebros" por
y por dentro. Su interior

(Del reportaje que el diario «YA» ha dedicado a la XXIII Feria Internacional de Muestras de Barcelona).

# LA CURTA

la más pequeña de las grandes calculadoras, por su

**FACIL MANEJO**

**EXACTITUD MATEMATICA**

**RENDIMIENTO ASOMBROSO**

**SILENCIOSA AL FUNCIONAR**

ha penetrado en poco tiempo en casi todos los paises del Universo, siendo la máquina de calcular adoptada por los **DIRECTIVOS DE EMPRESA, COMERCIANTES, CONTADORES, BANQUEROS, ARQUITECTOS, INGENIEROS, CONTRATISTAS,** etc.

Usted tambien debe de probar la **CURTA,** en la seguridad de que se entusiasmará y convencerá de sus múltiples ventajas.

**Su peso: 230 gramos**
**» » 350 gramos**

**Su capacidad: 8 x 6 x 11 cifras**
**» » 11 x 8 x 15 cifras**

Pl. Cataluña, 21 - BARCELONA
Teléfono 22 20 18

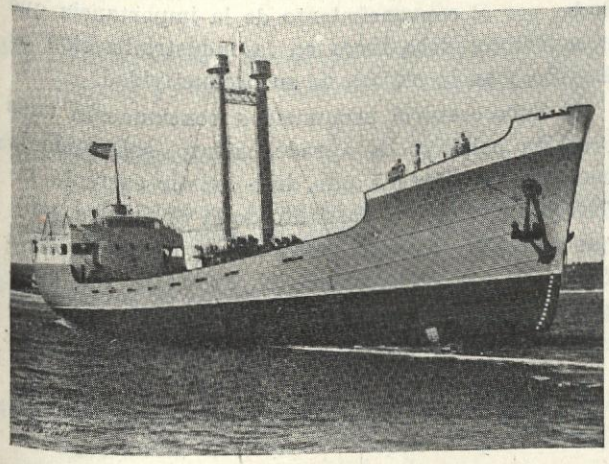
**Rudy Meyer** S. A.

Montera, 30 - MADRID
Teléfonos: 22 10 05 - 22 10 06

CURTA

| | |
|---|---|
| Eslora total | 69,— m. |
| Eslora en la flotación | 65,20 m. |
| Eslora entre perpendiculares | 64,— m. |
| Manga de trazado | 11,— m. |
| Puntal de trazado | 5,025 m. |
| Potencia del equipo propulsor | 1.250 B.H.P. |
| Velocidad | 12 nudos |
| Arqueo bruto | 996,43 T. R |
| Peso muerto | 1.250 t. |
| Capacidad de carga útil | 1.000 t. |

El buque va propulsado por un motor "Atlas Polar", de una potencia de 1.250 BHP.



Todos los aparatos auxiliares del buque han sido construídos por el mismo astillero en combinación con la factoría "F. E. N. Y. A.", que ha construído su parte eléctrica. Lleva 4 plumas servidas por 4 chigres eléctricos "Astano-Fenya", de 25 CV. cada uno. El molinete de 15 CV. y el aparato de gobierno electro-hidráulico son asimismo de "Astano-Fenya".

Para los servicios eléctricos del buque lleva montados dos Diesel-dínamos "Astano-Fenya" de 90 kilovatios.

El buque fué amadrinado por la señorita de Romero.

## EL PRIMER CENTENARIO DE "LA MAQUINISTA TERRESTRE Y MARITIMA"

En los primeros días del mes actual ha conmemorado el primer centenario de su fundación esta Empresa, tan ligada al resurtir industrial de nuestra Patria.

Para constancia de la efemérides, ha editado una valiosa biografía de sus actividades, titulada "La Maquinista Terrestre y Marítima, personaje histórico", que atentamente nos ha remitido, y de la que es autor el catedrático don Alberto del Castillo.

Es una interesante lección de historia la que se condensa en sus documentadas páginas y por las que puede seguirse el proceso completo del penoso nacimiento de nuestra industria. En ella se describe la fuerte lucha inicial entre los "proteccionistas", ilusionados con el renacer industrial de España, y los "librecambistas", atentos exclusivamente a sus negocios y mezquinos puntos de vista, que hacían el juego a las "presiones extranjeras", utilizando por ambas partes las influencias políticas de "turno".

En dicho volumen puede apreciarse el importante papel desempeñado por esta Empresa en el desarrollo inicial de la maquinaria naval española, principalmente en la destinada a las construcciones navales de la Marina de Guerra. "La Maquinista" construyó, en 1887, las máquinas y calderas de 1.500 CV. para los cruceros de segunda clase, no protegidos, de 1.189 t. y 14 nudos, "Cristóbal Colón" y "Conde de Venadito", de una serie de seis unidades. En 1888, las máquinas de los cruceros (de 5.000 t., 21,5 nudos, armados con 4 cañones de 20,3 mm.) "Alfonso XIII" y "Lepanto", de 11.500 caballos. Ambos de construcción española y gemelos del primer "Reina Regente", construído en Clydebenk, de infausta memoria por su trágica desaparición en el Estrecho.

Esta importante obra obligó a modernizar sus talleres en aquel entonces. Las calderas y máquinas de 15.000 CV., para los cruceros "Princesa de Asturias" y "Cataluña", de las que quedó el recuerdo de sus famosos álbumes de planos, magníficamente litografiados, todavía existentes. A continuación de las anteriores, construyó los equipos propulsores para los cruceros "Carlos V" y "Cardenal Cisneros"; y en 1894, las máquinas para los avisos "María de Molina", "Alvaro de Bazán" y "Marqués de la Victoria", que se construyeron en los Astilleros "Vila", de La Graña (El Ferrol del Caudillo). En 1897, contrató las máquinas de 6.500 CV. del segundo crucero "Reina Regente", de 20 nudos, 5.287 t., armado con 10 cañones de 150 mm., construído en El Ferrol.

Parece extraño que por la situación inicial de esta factoría en la Barceloneta, pegada a la costa, no se hubiese transformado esta importante industria en una factoría naval, sino que se limitase a construir exclusivamente la maquinaria naval para suministrarla siempre a otros astilleros de la Península.

Al iniciarse las construcciones correspondientes a la Ley de Escuadra del Almirante Ferrándiz, Gobierno Maura, y comenzar con ella la construcción de las turbinas de vapor, como máquinas propulsoras para la Marina Militar—1908—, desaparece el contacto de "La Maquinista" con la maquinaria naval que empezó entonces a desarrollar la "Sociedad Española de Construcción Naval".

Al desaparecer las máquinas de vapor alternativas en la propulsión naval, existe una laguna en el contacto de esta Empresa con la Marina, que la reanuda en 1925 al empezarse en España la construcción de motores Diesel con patente "Burmeister & Wain", construyendo entonces los de las motonaves "Dómine" y "Fernando Póo" y petrolero "Campillo", construídos por la "Unión Naval de Levante".

En dicho año entregó también al Arsenal de Cartagena un dique flotante de 7.500 toneladas, autocarenable, todavía en servicio.

Ha construído esta Empresa, hasta nuestros días, gran cantidad de equipos marinos Diesel para la Marina Mercante, el más potente de los cuales es el correspondiente al "Monte Arucas", de 7.300 CV., de cuyas pruebas en banco publicamos una fotografía en la portada de este número.

También sufrió esta Empresa últimamente el trágico déficit en el suministro de aceros laminados, que paralizó la actividad de los astilleros y que achacó a los "transformadores" una limitación de capacidad que no ha existido en otro caso más que en función de la escasa disponibilidad de primeras materias a que se vieron forzosamente supeditados.

Nos asociamos afectuosamente a la feliz conmemoración de "La Maquinista", deseándola toda clase de éxitos y prosperidades en su brillante etapa actual, en la que desearíamos se estrechasen cada vez más los lazos con la Marina, en el amplísimo campo existente de la maquinaria naval, que va a pasar por un período evolutivo totalmente revolucionario.

## NOMBRAMIENTO DE MIEMBRO DE HONOR DEL INSTITUTO DE LA SOLDADURA AL EXCMO. SR. DON ALEJANDRO SUAREZ, SUBSECRETARIO DE INDUSTRIA

En la sesión de clausura de la IV Asamblea Nacional del Instituto de la Soldadura, celebrado el día 8 del mes de octubre, bajo la presidencia del Excelentísimo señor D. José Ibáñez Martín, Presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tuvo lugar la entrega de un pergamino con el nombramiento de Miembro de honor del citado Instituto al Excmo. Sr. D. Alejandro Suárez.

Hizo la ofrenda en nombre del Instituto de la Soldadura, integrado por cerca de un millar de Miembros, el Ingeniero Naval, Consejero del mismo, D. Antonio Villanueva Núñez, quien destacó los relevantes méritos del actual Subsecretario de Industria y la predilección e interés que en todo momento ha demostrado por aquella Institución, sin duda, por el convencimiento de la importancia que la soldadura debe tener en la industrialización de España y en la mejora de su productividad.

El Subsecretario pronunció a continuación unas sentidas palabras de agradecimiento, señalando la cooperación estrecha que debe existir entre la industria privada y el Instituto de la Soldadura, para que aunando esfuerzos poder conseguir los mayores frutos en esta rama industrial. Prometió, finalmente, su apoyo para estos fines, que siempre ha mirado con el mayor interés.

## ASOCIACION DE INGENIEROS NAVALES.—V CONGRESO DE INGENIERIA NAVAL

En la relación de Entidades que subvencionaron el V Congreso de Ingeniería Naval, publicada en nuestro número 239 del pasado mes de mayo, por una omisión involuntaria, no se incluyó a la UNION NAVAL DE LEVANTE.

Rogamos se nos disculpe el error, al mismo tiempo que expresamos nuestro agradecimiento a U. N. L.

# Proveedores de la Industria Naval

**APARATOS DE PRECISION A. F. E. K.**

TACOMETROS magnéticos especiales para la MARINA y para la Industria en general. Garantía y precisión. Calle Rosario, 44, bajos. BARCELONA. Teléfono 30-77-26.

**ASTILLEROS Y TALLERES DEL NOROESTE, S. A.**

Factoría y domicilio social: PERLIO (Fene).—Direcciones: Telegráfica: "Astano". Postal: Apartado 994.—Teléfono 4 de Fene. EL FERROL DEL CAUDILLO.

**BOMBA PRAT, S. A.**

Bombas rotativas. Bombas centrífugas. Compresores. Humidificación y ventilación.—Apartado 16. Wifredo, números 109-113. BADALONA.

**Bombas y Construcciones Mecánicas WORTHINGTON, S. A.**

Fábrica y Oficinas Técnicas: Embajadores, 173 (Legazpi).—Teléfonos 27 97 40 - 48 - 49. — MADRID.

**COMERCIAL PIRELLI, S. A.**

Desde más de medio siglo, especializada en Conductores Eléctricos aislados para la Marina Mercante y la Armada. Neumáticos. Artículos varios de goma.—Ronda de la Universidad, 18.—BARCELONA.—Sucursales en Madrid, Bilbao, Sevilla, La Coruña y Valencia.

**CONDUCTORES ELECTRICOS ROQUE, S. A.**

Manufactura general de cables y demás conductores eléctricos aislados para todas las aplicaciones.—Diputación, 185.—BARCELONA.—Fábrica en Manlleu.—Madrid, Valencia, Bilbao, Sevilla, La Coruña, Zaragoza.

**CONSTRUCCIONES ELECTROMECANICAS ABRIL, S. A.**

Maquinaria Eléctrica.—Villarroel, 195. BARCELONA.—Dirección telegráfica: "Abrilmotor".

**CUCURNY, S. A.**

Tubería, Baldosín y Mosaico de Gres y Refractario, resistente a altas temperaturas. — Calle Princesa, 58 y 61. BARCELONA.

**EDUARDO BATISTE-ALENTORN**

Avenida de José Antonio Primo de Rivera, 416. BARCELONA.—Construcción de generadores y electromotores especiales para buques. Grupos convertidores para soldadura eléctrica.—Teléfono 231285.

**ESTABLECIMIENTOS LORY, S. A.**

Concesionarios de las PINTURAS MANO ROJA, de renombre mundial.—Consejo de Ciento, 380. BARCELONA.

**FABRICACIONES NAVALES Y ARTILLERAS, S. L.**

Teléfono 1401.—Apartado 986.—EL FERROL DEL CAUDILLO.

**GUILLIET**

Valencia, 30.—MADRID. — Agencias en BILBAO - BARCELONA - SEVILLA.

**KLEIN, S. A.**

Más de cincuenta años de experiencia en la fabricación de toda clase de artículos y correas de goma. Sucursales en BARCELONA, MADRID, BILBAO, SEVILLA y VALENCIA. Apartado 24. SEGOVIA.

**LA MAQUINISTA TERRESTRE Y MARITIMA, S. A.**

Apartado 94. BARCELONA.—Delegación en Madrid: Serrano, 5, bajo derecha.

**MAS, GOBERNA Y MOSSO, ING., S. L.**

Aparatos de elevación, grúas, ascensores, montacargas, polipastos "Magomo".—Pamplona, 95, 97 y 99. Teléfono 250843. BARCELONA.

**S. A. M. MAS BAGA**

Cocinas para buques, a carbón, leña y aceite pesado.—Hortaleza, 17. MADRID.—Valencia, 348. BARCELONA.

# ASTILLEROS

# S. A. Juliana

# Constructora Gijonesa

**APARTADO 49**
**TELEFONOS 3800-3801**
**Telégrafo: "JULIANA"**

GIJON

Construcción y reparación de toda clase de buques, calderas y máquinas marinas, estructuras metálicas, construcciones mecánicas en general. Fundiciones. Gradas. Disponemos de 3 de 150 metros.

# Tomás Ruiz de Velasco S. A.

Construcción y Reparación de Buques

(Desierto-Erandio)
**BILBAO**

## Compañía Española de Pinturas "INTERNATIONAL", S. A.

**Unicos agentes y fabricantes en España de las pinturas patentadas «HOLZAPFEL»**

Marca registrada

"HOLZAPFEL"

**LAS MEJORES Y LAS DE MAYOR CONSUMO MUNDIAL**

Casa matriz: LONDRES.—Factorías coasociadas en: BERGEN (Noruega).— COPENHAGUE (Dinamarca).— GOTHENBURG (Suecia). — GENOVA (Italia). — HAMBURGO (Alemania).— KOBE (Japón).—EL HAVRE (Francia).—MEXICO, Ciudad. MONTREAL (Canadá).—NEW-YORK (U. S. A.).—RIO DE JANEIRO (Brasil).—SIDNEY (Australia).—TRIESTE (Italia). WELLINGTON (Nueva Zelanda).

Patentes "International".—Para fondos de buques de acero.
"Navy Brand".—Composición para el mismo uso en barcos que navegan en aguas tropicales o muy sucias.
"Copper Paint Extra Strong".—Para fondos de buques de madera.
"Yacht composition".—Para fondos de buques de regata y recreo.
Boottoping.—Pintura para la línea de flotación de los buques.
"Black Topsides".—Para costados de buques.
"Funneline".—Pintura ignífuga para chimeneas.
"Danboline".—La pintura de mayor capacidad anticorrosiva y de cubrición
"Lagoline".—El esmalte más resistente a los ambientes exteriores.
"Esmalte Sunlight".—El más decorativo
"Esmaltes sintéticos Sunlight".
"Interlac".—Esmaltes y barnices nitrocelulósicos.
"Intervolt".—Esmaltes aislantes: más de 50 tipos.
"Dopes".—Barnices acetáticos y nitrocelulósicos para aviación. Barnices y esmaltes especiales para duraluminio. Barnices, pinturas y composiciones especiales para ferrocarriles, tranvías y trolebuses.

Pinturas para toda clase de aplicaciones y usos. Todas patentadas "HOLZAPFEL".—En todos los puertos y capitales del mundo podemos suministrar nuestras patentes, guardando depósitos en las principales poblaciones de España.

**Oficinas:** Ibáñez de Bilbao, 2, 2.° (Edificio Aznar) - **BILBAO**
Fábrica: LUCHANA-ERANDIO (Bilbao) - **Sucursal Madrid:** Núñez de Balboa, 71

# Fundición Bolueta S. A.

Explotadora de los procedimientos «GRIFFIN» y «SAFAK»

Ruedas "GRIFFIN" y ejes montados. Cilindros de laminación. Cilindros huecos. Piezas para trituradoras, dragas y excavadoras. Cruces y corazones de cruces. Piezas diversas templadas y sin templar. Fundiciones especiales.

**Teléfono 11245 - Apartado 26**
**Dir. telegr.: "Bolueta-Bilbao"**
**BOLUETA-BILBAO**

FABRICACION DE ALPACA - LATON - ALUMINIO COBRE Y ALEACIONES EN PLANCHA - CINTA BARRA - TUBO - HILO - PERFILES, ETC.

MANUFACTURA DE CUBIERTOS - METAL BLANCO PLATEADO - ALPACA EXTRA BLANCA - ALUMINITA - ALUMINIO - HIERRO ESTAÑADO

# *Metales y Platería Ribera, S. A.*

FABRICAS EN BARCELONA Y SALLENT

**BARCELONA**

Dirección Telegráfica: **PLATINOR**

Codes Used: A.B.C. 5.ª Ed. y Bentley's

**Paseo del Triunfo, 59-65 - Teléfono 51551**

# Crucero por el Mediterráneo

## en los vapores

## «BENICARLO» - «BENICASIM» «BENIDORM» - «BENISANET»

**Unos 35 días de viaje**

Con salidas cada doce días desde Barcelona, visitando los puertos de MARSELLA - GENOVA - LIVORNO - ALEJANDRIA - BEIRUT LATAKIA, con escalas eventuales en PIREO y ESTAMBUL

PRECIO DEL VIAJE REDONDO: PESETAS 10.000 (incluída manutención).

## Viaje a TIERRA SANTA

BEIRUT - BALBEECK - DAMASCO - AMAN JERICO - JERUSALEN, con excursiones a EL CAIRO y ALEJANDRIA y eventualmente ROMA

PRECIO DEL VIAJE, INCLUIDO CRUCERO: PESETAS 16.850

Para informes, detalles y condiciones, a:

**Naviera de Exportación Agrícola, S. A.**

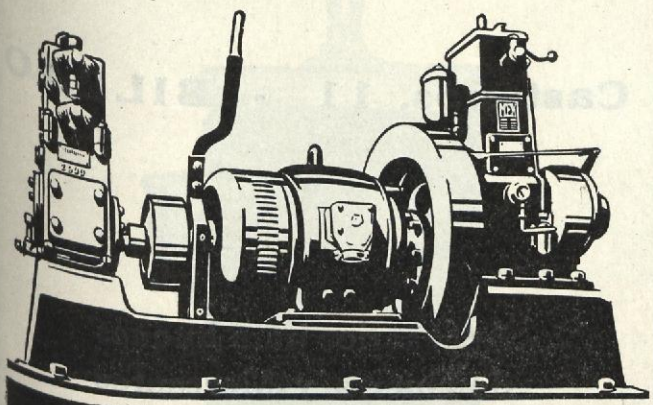
**Guzmán el Bueno, 2 Teléfonos 312206-312207**
**MADRID**

MEN

# MOTORES "DIESEL"

*de arranque a mano en frío*

CON CERTIFICADO **LLOYD'S**, BUREAU VERITAS, ETC.



# MOTORES MEN S. A.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

E. y J. PUJOL XICOY - Vía Layetana, 167 • BARCELONA

# LUIS RIAL PAZ

## ARMADOR DE BUQUES

Fernández Latorre; 1 al 9
Teléfonos 4807 y 6837

Rosalía de Castro, 9 y 11 - Teléfono 1142

Dirección Telegráfica: «RIASA»

**LA CORUÑA**

# Astilleros de Palma, S. A.

Proyecto, construcción y reparación de buques de acero y madera

**Especialistas en material flotante para puertos**

Construcciones Metálicas
Talleres de Maquinaria
Fundición de metales

Varadero con carro metálico y mecanismo transbordador de accionamiento eléctrico capaz para buques de 800 toneladas de peso

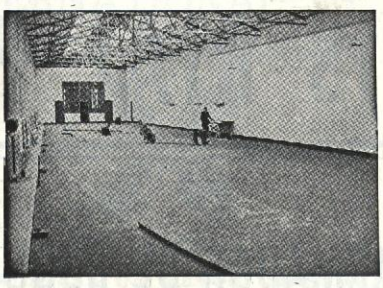
LA PEDRERA
**MALLORCA**
(BALEARES)

# Mano Roja

Se propaga por

DESDE VIGO A ADELAIDA. DESDE LA HABANA A HONG KONG
LAS PINTURAS ANTICORROSIVAS Y ANTI-INCRUSTANTES
MARCA *Mano Roja*
AL SERVICIO DE LA MARINA MERCANTE DEL MUNDO
Concesionarios: ESTABLECIMIENTOS LORY
Sección: *Pinturas Mano Roja*
CONSEJO DE CIENTO, 380
Dirección Telegráfica: MAROJA Teléfono 25 38 30.
BARCELONA

**TODA CLASE DE PINTURAS PARA BUQUES**



S. M. D. F.

# DIQUE GIJON

**CONSTRUCCION Y REPARACION DE BUQUES, MAQUINAS Y CALDERAS MARINAS - DIQUE SECO**

# Fundiciones Ituarte S. A.

**Castaños, 11 - BILBAO**

Accesorios para buques de Guerra y Mercantes

Valvulería en general, grifería, ventanillos, accesorios de luz, etc.

# Experiencias Industriales S. A.

**Dirección y Talleres:**
**ARANJUEZ (Madrid)**
**Teléfono 54**

Material de dirección de tiro para artillería de Ejército y Marina. — Proyectores y aparatos de señales para costas y barcos. — Instalaciones de iluminación por inundación de luz. — Aparatos de mando y maniobra para tracción eléctrica, generadores y motores. — Instalaciones de frenos para ferrocarriles. — Trabajos en acero inoxidable. — Cuchillería inoxidable industrial y doméstica.

# Astilleros G. RIERA, S. A.

Construcción y reparación de buques

**Construcción y reparación de maquinaria de todas clases**

**Construcciones metálicas**

**Fundición de hierro y bronce**

Gradas varaderos para buques

Dirección Telegráfica: GERIERA - Teléfono 3908
Apartado 86

**Carretera del Puerto Musel (La Calzada)**

**GIJON**

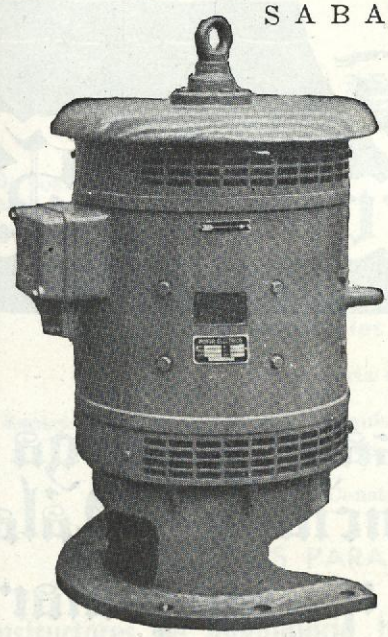
C.E.S.

**CONSTRUCCIONES ELÉCTRICAS DE SABADELL, S. A.**

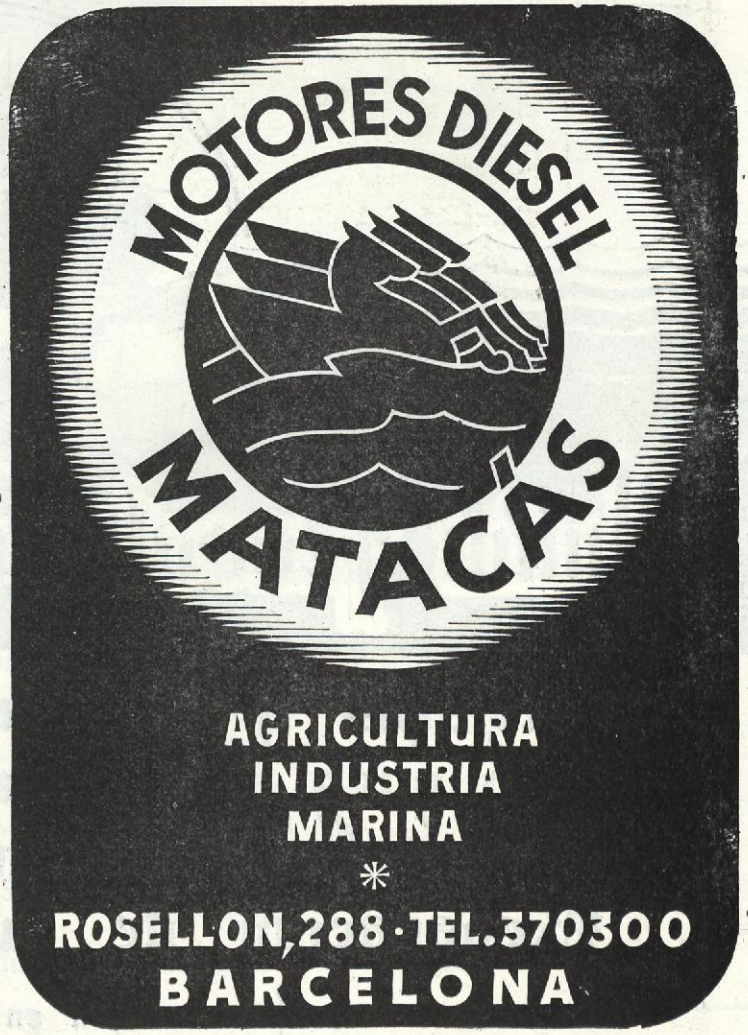
**MAQUINAS Y APARATOS DE LA INDUSTRIA ELECTRICA PARA LA MARINA**

Oficinas y Talleres: Sol y Padrís, 1 - Tel. 3000

SABADELL



**MOTOR VERTICAL CON CERTIFICADO LLOYD'S**



# Instituto Nacional de Industria

## DIQUE SECO DE CARENA DE 30.000 TONELADAS, "NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO", DE CADIZ

Este dique, propiedad del Instituto Nacional de Industria, se encuentra ya en servicio.

Es el dique mayor de España, con capacidad para cualquier buque de guerra o mercante español, pudiendo también vararse en el mismo casi todos los buques de gran porte de las Marinas extranjeras.

Las características principales son:

| | |
|---|---|
| Eslora útil ..... | 234,70 metros. |
| Manga máxima ..... | 36,30 " |
| Calado sobre picaderos a media marea ..... | 8,06 " |

Servicios de agua dulce y salada. Aire comprimido. Central eléctrica propia.

Varadas. Limpieza y pintado de fondos. Reconocimientos. Reparaciones.

Para solicitar servicios o informes, dirigirse a: DIQUE SECO DE CARENA DE 30.000 TONELADAS, "NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO", CADIZ, o a la Delegación de la Empresa Nacional Elcano en Cádiz: Isabel la Católica, 3.

**Proyectistas y constructores**
**buques de guerra, pasaje y carga**
**Diques flotantes en Valencia y Málaga**
**Reparación de buques y maquinaria**

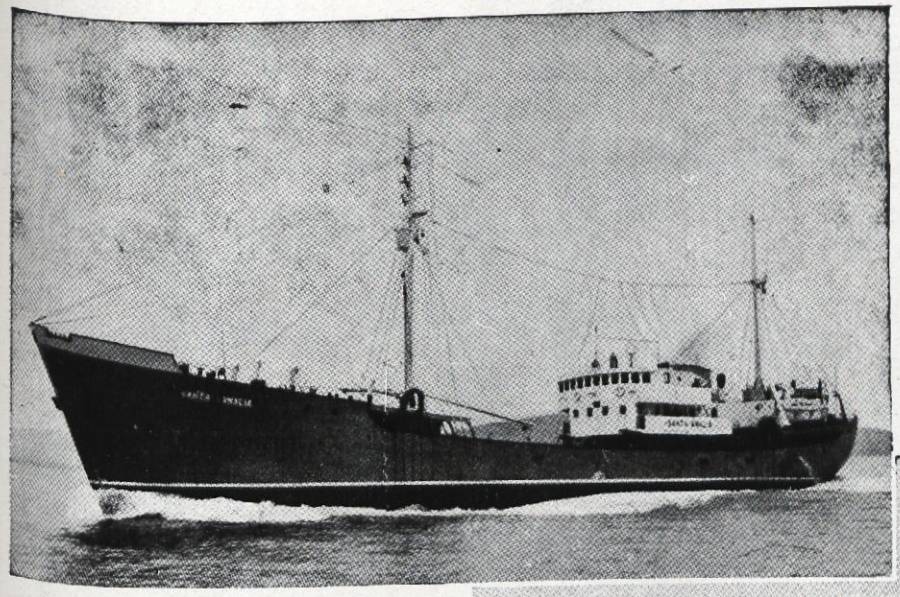
Casa central en Madrid: Alcalá, 53

# Astilleros y Talleres del Noroeste S.A.

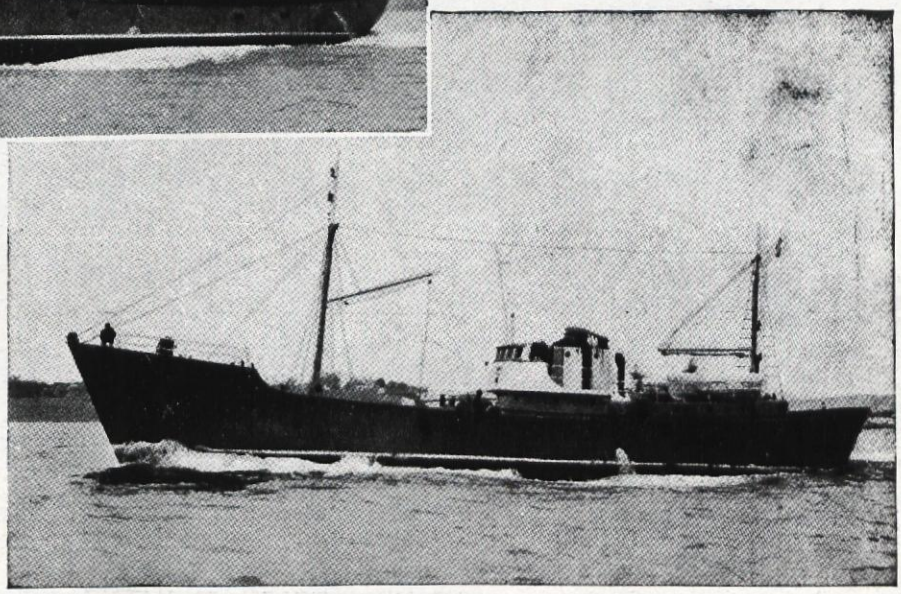
**CAPITAL SOCIAL: 55.000.000 DE PESETAS**

**Factoría y domicilio social: PERLIO (Fene)**

**DIRECCIONES:** Telegráfica: ASTANO / Postal: Apartado 994 / Teléfono: 4 de FENE — EL FERROL DEL CAUDILLO



**Buque bacaladero "Santa Amalia", de 2.500 toneladas, para P.E.B.S.A., en pruebas de velocidad.**



**Uno de los pesqueros tipo "Astano" últimamente construídos, en pruebas de velocidad.**

Construcciones navales de todas clases, hasta 10.000 toneladas de peso muerto

**Maquinaria de propulsión, principal y auxiliar, de vapor y diesel.**

**Especialistas en molinetes, maquinillas, cabrestantes, aparatos de gobierno eléctricos y electro-hidráulicos, y de toda clase de maquinaria auxiliar de casco.**

**Construcciones metálicas y maquinaria en general.**

4 VARADEROS PARA BUQUES HASTA DE 1.000 TONELADAS DE PESO

**Constructores de maquinaria frigorífica, con licencia de la Casa PAUL DUCLOS, de Marsella**

OFICINA PUBLICIDAD Y PROPAGANDA PIRELLI

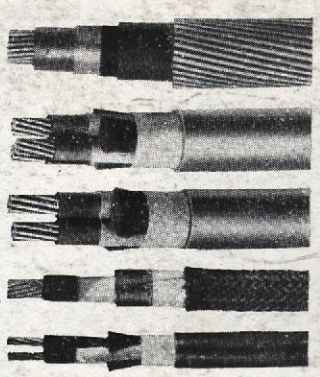
# Conductores especiales para los servicios de la marina

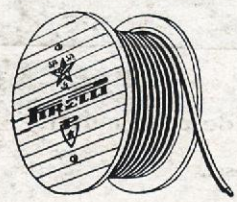
PROPULSION
MANDOS
DIRECCION DE TIRO
ILUMINACION
TELEFONIA
RADIO
TELEGRAFIA
SEMAFOROS
SEÑALES

PIRELLI

FABRICA LOS CONDUCTORES PARA TODAS LAS NECESIDADES DE A BORDO Y TIERRA:

PARA LA ARMADA
PARA LA MARINA MERCANTE
PARA PUERTOS, ARSENALES Y ASTILLEROS
PARA INDUSTRIAS NAVALES
PARA LA INDUSTRIA PESQUERA
PARA SERVICIOS FLUVIALES
PARA FARO Y GUIAS





PIRELLI

COMERCIAL PIRELLI, S. A. - BARCELONA - Ronda Universidad, 18
Sucursales: MADRID - SEVILLA - VALENCIA - BILBAO LA CORUÑA

DIANA, Artes Gráficas.—Larra, 12 Madrid