



D-13822



623.8535
A553
C.2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica

"Diseño de una Planta para
suministro de Aire Comprimido
a los submarinos tipo U-209
durante la estadía en puerto"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN MECANICA

Presentada por:

EDGAR ANDRADE ZAPATA

GUAYAQUIL

ECUADOR

AÑO

1993

AGRADECIMIENTO

A la Armada del Ecuador por brindarme la oportunidad de desarrollar mis horizontes intelectuales y personales y a la ESPOL por hacerlo posible.

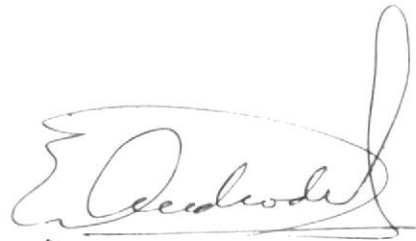
DEDICATORIA

a mi Esposa y a mi Familia.

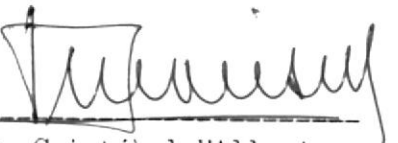
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Edgar Andrade Zapata". The signature is fluid and cursive, with a large loop at the end. It is positioned above a horizontal dotted line.

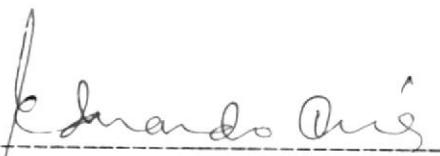
Edgar Andrade Zapata



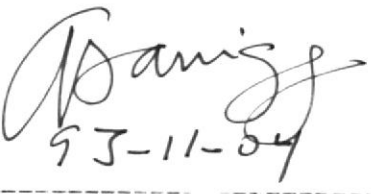
Ing. Cristóbal Villacis
Miembro del Tribunal



Ing. Jorge Félix
Miembro del Tribunal



Ing. Eduardo Orcés
Director de Tesis



93-11-04

Dr. Alfredo Barriga
Presidente del Tribunal

RESUMEN

La idea del desarrollo de esta tesis se basa en una recomendación contenida en el manual técnico de mantenimiento y operación del sistema de aire comprimido instalado a bordo de los submarinos. Esta recomendación establece que, durante la estadía del submarino en puerto, el suministro de aire comprimido debe realizarse desde una Planta en tierra. Desde la incorporación de este tipo de unidades a la Armada del Ecuador, hace más de una década, el aire comprimido se ha producido, tanto en puerto como en navegación, con los compresores de a bordo.

A fin de determinar el porqué de esta recomendación, se investiga, en cada submarino, todos los registros diarios existentes de horas de funcionamiento en puerto y en la mar de los compresores. Se determina que entre el 36.8 % y el 68.6% del tiempo de operación de los compresores tiene lugar cuando el submarino está atracado al muelle. Identificada así la necesidad, se plantean alternativas para reemplazar al sistema de a bordo cuando el submarino permanece en puerto. Se establecen las especificaciones de diseño y los requerimientos de aire comprimido, se escoge la alternativa más económica y en ella se

analizan las condiciones del flujo, se retroalimenta las correcciones que surgen de este analisis y se obtiene el disenõ final de la Planta. Se realiza un breve analisis economico, que se concluye que el sistema propuesto puede reportar un ahorro superior al 600 % .

ÍNDICE

RESUMEN	vi
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xiv
INTRODUCCIÓN	15
1 <u>SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO INSTALADO A BORDO</u>	17
1.1 <u>DESARROLLO EN EL DISEÑO DE LOS SUBMARINOS</u>	17
1.2 <u>DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO</u>	22
1.2.1 <u>DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO</u>	23
2 <u>NECESIDAD DE LA PLANTA EN PUERTO</u>	30
2.1 <u>DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</u>	40

	ix
3 <u>DISEÑO DE LA PLANTA</u>	41
3.1 <u>ALCANCE DEL DISEÑO</u>	41
3.2 <u>ESPECIFICACIONES DE DISEÑO</u>	41
3.3 <u>CONSUMO DE AIRE</u>	42
3.3.1 <u>TANQUES DE LASTRE</u>	44
3.3.2 <u>VÁLVULA DE CABEZA DEL SNORKEL</u>	51
3.3.3 <u>TANQUE SANITARIO</u>	53
3.3.4 <u>MOTOR VIRADOR DEL MEP</u>	53
3.3.5 <u>INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS</u>	55
3.3.6 <u>ARRANQUE Y VIRADO DE LOS MOTORES DIESEL</u>	58
3.3.7 <u>FLAPS DE VENTILACIÓN</u>	60
3.3.8 <u>FLAPS DEL AIRE ACONDICIONADO</u>	60
3.3.9 <u>FLAPS DEL SNORKEL</u>	63
3.3.10 <u>FLAPS DE LOS SILENCIADORES DE MAQUINAS</u>	63
3.4 <u>CONSUMO TOTAL DE AIRE</u>	68
3.5 <u>UBICACIÓN DE LA PLANTA</u>	70
3.6 <u>PRESIÓN DE TRABAJO</u>	76
3.6.1 <u>ANÁLISIS DE LAS OPCIONES Y SELECCIÓN DE LA PRESIÓN DE TRABAJO</u>	77
3.6.1.1 <u>TAMAÑO DEL RESERVORIO</u>	77
3.6.1.2 <u>POTENCIA REQUERIDA DEL COMPRESOR</u>	80
3.6.1.3 <u>OPCIÓN a) COMPRESORES EN TIERRA Y RESERVORIO EN TIERRA Y PRESIÓN DE TRABAJO ENTRE 32 Y 60 bar</u>	80

3.6.1.4	<u>OPCIÓN b) COMPRESORES EN TIERRA, SIN RESERVORIO, QUE ALI-</u> <u>MENTEN DIRECTAMENTE LOS GRUPOS DE AIRE DEL SUBMARINO</u>	85
3.6.1.5	<u>OPCIÓN c) COMPRESORES EN TIERRA Y RESERVORIO EN TIERRA,</u> <u>PRESIÓN DE TRABAJO DE 250 BAR</u>	87
3.7	<u>SELECCIÓN DE COMPRESORES</u>	88
3.8	<u>SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS</u>	91
3.8.1	<u>ANÁLISIS DEL FLUJO</u>	94
3.8.2	<u>ACCESORIOS</u>	96
3.8.3	<u>CALCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN</u>	100
3.8.4	<u>EQUIPOS Y SISTEMAS COMPLEMENTARIOS</u>	102
3.8.5	<u>JUNTAS Y ELASTOMEROS</u>	103
3.9	<u>SÍNTESIS DEL DISEÑO</u>	104
3.9.1	<u>CONSIDERACIONES ADICIONALES</u>	105
4	<u>ANÁLISIS ECONÓMICO</u>	108
4.1	<u>COSTO DE LA PLANTA</u>	108
4.2	<u>COMPARACIÓN DE COSTOS</u>	109
	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	111
	<u>ANEXOS</u>	114
	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	130

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>TÍTULO DE LA FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
1. Sistema del Snorkel.....	19
2. Secciones del submarino.....	21
3. Ubicación de equipos de Aire Comprimido.....	24
4. Tapas de inspección de los grupos de Aire en el casco exterior... 25	25
5. Manómetros y reductoras de aire en el Central.....	26
6. Manifolds de distribución de Aire Comprimido.....	27
7. Empleo de compresores en el SSILCA año 1989.....	34
8. Empleo de compresores en el SSILCA año 1990.....	35
9. Empleo de compresores en el SSILCA año 1992.....	36
10. Empleo de compresores en el SSHYRI año 1990.....	37
11. Empleo de compresores en el SSHYRI año 1992.....	38
12. Comparación de empleo de compresores.....	39
13. Evacuaciones de los tanques de lastre 1 y 2.....	49
14. Operación de los tanques de lastre.....	50
15. Sistema de aire de la válvula de cabeza del snorkel.....	52
16. Motor neumático virador del MEP.....	54
17. Interruptores automáticos.....	57
18. Distribuidor de aire para arranque de motores diesel.....	59
19. Flaps de Ventilación.....	61
20. Flaps del Aire Acondicionado.....	62

TITULO DE LA FIGURA	PÁGINA
21. Flap exterior del snorkel.....	65
22. Flap interior del snorkel.....	66
23. Flap del silenciador de gases de escape.....	67
24. Comparación de Consumo.....	69
25. Ubicación de la Planta.....	72
26. Vista exterior del muelle.....	73
27. Contenedores con repuestos y talleres.....	74
28. Estación de transformadores.....	75
29. Volumen requerido.....	79
30. Opciones para la selección de la presión de trabajo.....	90
31. Acoples de las botellas.....	93
32. Toma para carga de aire desde el exterior.....	94
33. Disposición final de la planta.....	100
34. Plano final de la Planta.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

<u>TITULO DE LA TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
I. Presiones de trabajo del sistema de abordó.....	28
II. Empleo de compresores en el SSILCA año 1989.....	31
III. Empleo de compresores en el SSILCA año 1990.....	31
IV. Empleo de compresores en el SSILCA año 1992.....	32
V. Empleo de compresores en el SSHYRI año 1990.....	32
VI. Empleo de compresores en el SSHYRI año 1992.....	33
VII. Presión de trabajo y aire libre requerido.....	43
VIII. Razón de consumo de aire libre.....	68
IX. Volumen de aire requerido para los consumidores.....	78
X. Presiones entre etapas.....	86
XI. Costo de los materiales.....	108
XII. Comparación de costos anualizados.....	110

ÍNDICE DE ABREVIATURAS¹

U - 209 :	Descripción del modelo del submarino.
CIC :	Centro de Información de Combate
TLT :	Tubo lanza torpedo
TC :	Tanque de compensación resistente
TCD :	Tanque de compensación y diesel
MEP :	Motor Eléctrico de Propulsión
SSHYRI :	Submarino Shyri
SSILCA :	Submarino Huancavilca
BASUIL :	Base Naval Sur de Guayaquil
DM :	Marco Alemán
USD :	Dólar Americano
Nm ³ /s :	Metro cúbico de aire normalizado (15°C y 1.013 bar)

¹ Las abreviaturas utilizadas en las fórmulas, se describen al pie de cada relación enunciada.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de diseño tiene por objeto el encontrar una alternativa más económica para el suministro de aire comprimido a los submarinos tipo U - 209 de la Armada, durante su estadía en puerto. Los costosos compresores instalados a bordo, la dificultad de realizar las reparaciones por el reducido espacio disponible, así como la insuficiente disponibilidad de repuestos en el mercado local, son algunas de las causas que han motivado el desarrollo de la presente tesis.

El trabajo se ha realizado siguiendo la metodología del Diseño Mecánico, se inicia con el reconocimiento de la necesidad en base a los registros diarios de horas de trabajo de los compresores. Identificada la necesidad, se define el problema y luego se analizan las especificaciones, de diseño : Consumo de aire libre, flujo requerido, presión de trabajo, selección de tuberías, compresores, cálculo de caídas de presión, etc. La selección de la presión de trabajo de la planta se realiza considerando las presiones de operación de los equipos que se usan en puerto y el empleo de las botellas removidas por desgaste en los trabajos de overhaul. Se

determina la presión permisible para operación segura de estas botellas, bajo criterios establecidos en normas (2). Luego se selecciona la tubería en base al análisis de correlaciones empíricas y la relación de Fanno para flujos compresibles.

El trabajo finaliza con un análisis comparativo de los costos de la planta en tierra y de la instalación actual. Realizados considerando el costo de cada opción como valor actual anualizado (12).

CAPITULO I

1 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO INSTALADO A BORDO

1.1 DESARROLLO EN EL DISEÑO DE LOS SUBMARINOS

A fin de clarificar ciertos aspectos importantes para comprender el sistema de aire comprimido de los submarinos se realizará una breve descripción generalizada de este tipo de buque.

El submarino tipo U-209 es un buque diseñado exclusivamente para operar bajo el agua, esta afirmación puede parecer redundante, pero es necesaria para diferenciar los submarinos modernos de los usados durante la primera y segunda guerras mundiales que eran propiamente "sumergibles", es decir buques con capacidad de permanecer periodos relativamente cortos bajo la superficie, esto explica el diseño de éstos con cañones en cubierta para defensa aérea y de superficie. De igual forma, la línea de casco de los sumergibles corresponden más a un buque de superficie, pues en muchos casos al agotar su periodo de permanencia bajo la superficie era necesario emerger y enfrentar eventuales tormentas en superficie.

Durante la navegación en inmersión, el submarino se propulsa aprovechando la energía que generan las baterías, que son acumuladores de plomo - óxido de plomo con ácido sulfúrico diluido como electrólito, en superficie, los sumergibles tenían la facultad de ser propulsados directamente, esto es, acoplando los motores diesel a la hélice. La evolución de los sumergibles a submarinos se produjo como consecuencia del invento del "snorkel" que permitió la carga de baterías sin necesidad de salir a superficie, a consecuencia de esta innovación, el submarino moderno es impulsado únicamente por el motor eléctrico, el sistema actual se concibe con motores diesel acoplados a generadores de corriente continua los cuales cargan las baterías o celdas que a su vez mueven el motor eléctrico de propulsión y la maquinaria auxiliar, en condición de emergencia se puede alimentar directamente el motor eléctrico con los generadores, pero será éste motor la única manera de accionar la hélice.

La innovación del snorkel consiste en un ducto rebatible que permite la admisión del aire para la combustión de las máquinas diesel, los gases de escape de estos motores son descargados por medio de difusores a una profundidad de 6 metros por lo que la presión de descarga de gases debe controlarse así como la profundidad del submarino durante el snorkel (ver figura 1).

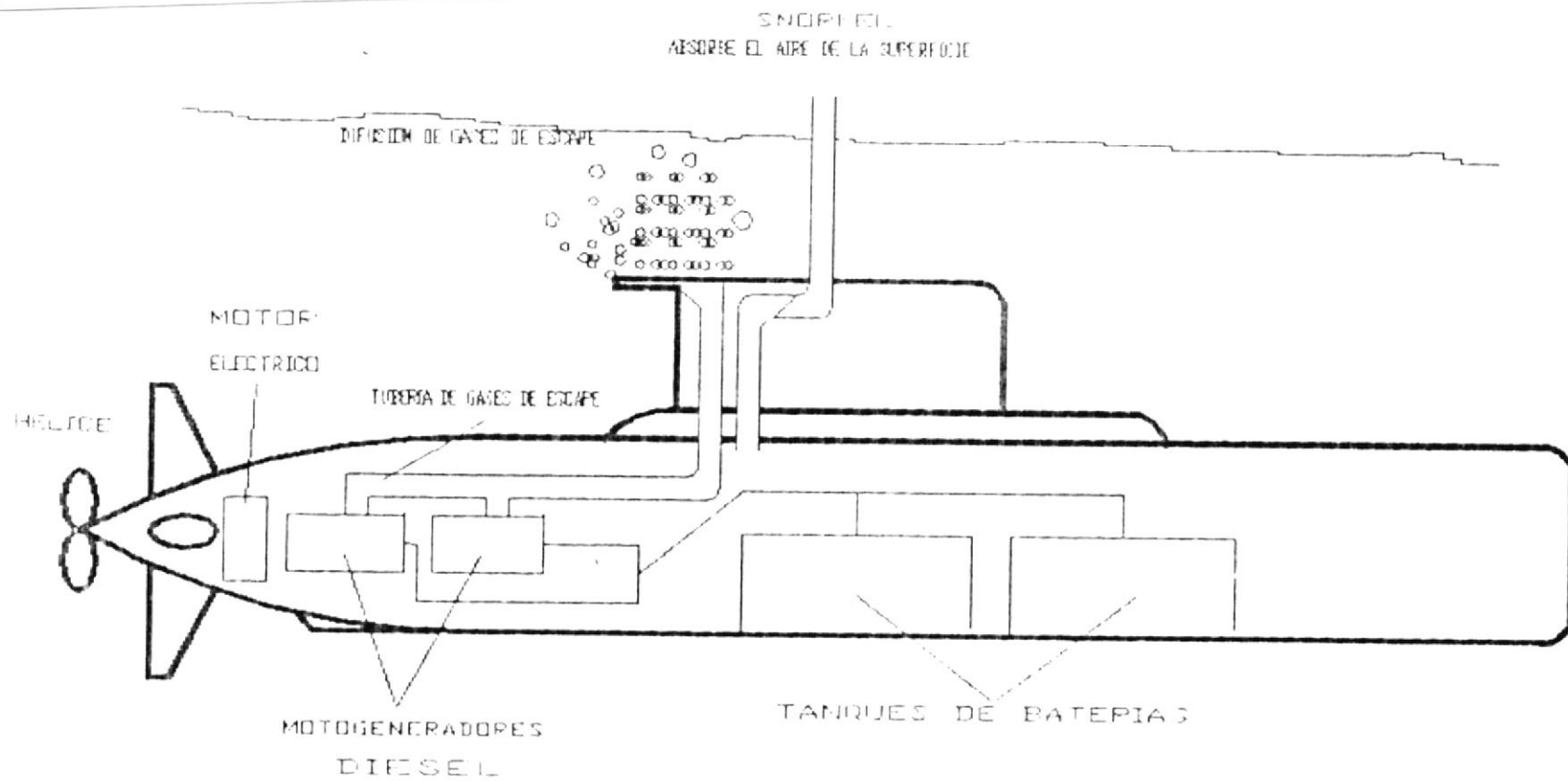


FIGURA 1.-

CARGA DE BATERIAS EN INMERSION

El submarino está compuesto básicamente por dos cascos uno interior resistente a la presión que contiene todos los equipos, baterías, torpedos y a la tripulación. Y de un casco exterior que le da la forma hidrodinámica a la vez que sirve para alojar, entre los dos cascos, a los tanques de lastre que posibilitan la inmersión del submarino. Equipos como el snorkel, periscopios, sistemas de gases de escape y otros, tienen válvulas y dispositivos de seguridad en los sitios donde atraviesan el casco resistente. Las características principales del submarino se detallan en el Anexo I

El interior del casco resistente se divide en cuatro secciones de proa a popa (Fig. 2) Torpedos, Centro de Información de Combate (CIC), Central y Máquinas, el nombre de cada sección se deriva de los equipos o actividades que se realizan en ellas. En torpedos se encuentran los tubos lanza torpedos y se almacenan los torpedos de recarga. En el CIC se encuentran los equipos sensores como periscopios, consolas de sonar, radar, equipos de comunicación, etc. que tienen la finalidad de obtener la información necesaria para el disparo de torpedos. El central es el cuarto de control de la operación del submarino, en él se encuentran los controles del timón, de los planos, que son aletas similares a los alerones de los aviones y que permiten al submarino desplazarse verticalmente, además se encuentran los tableros para control de generadores,

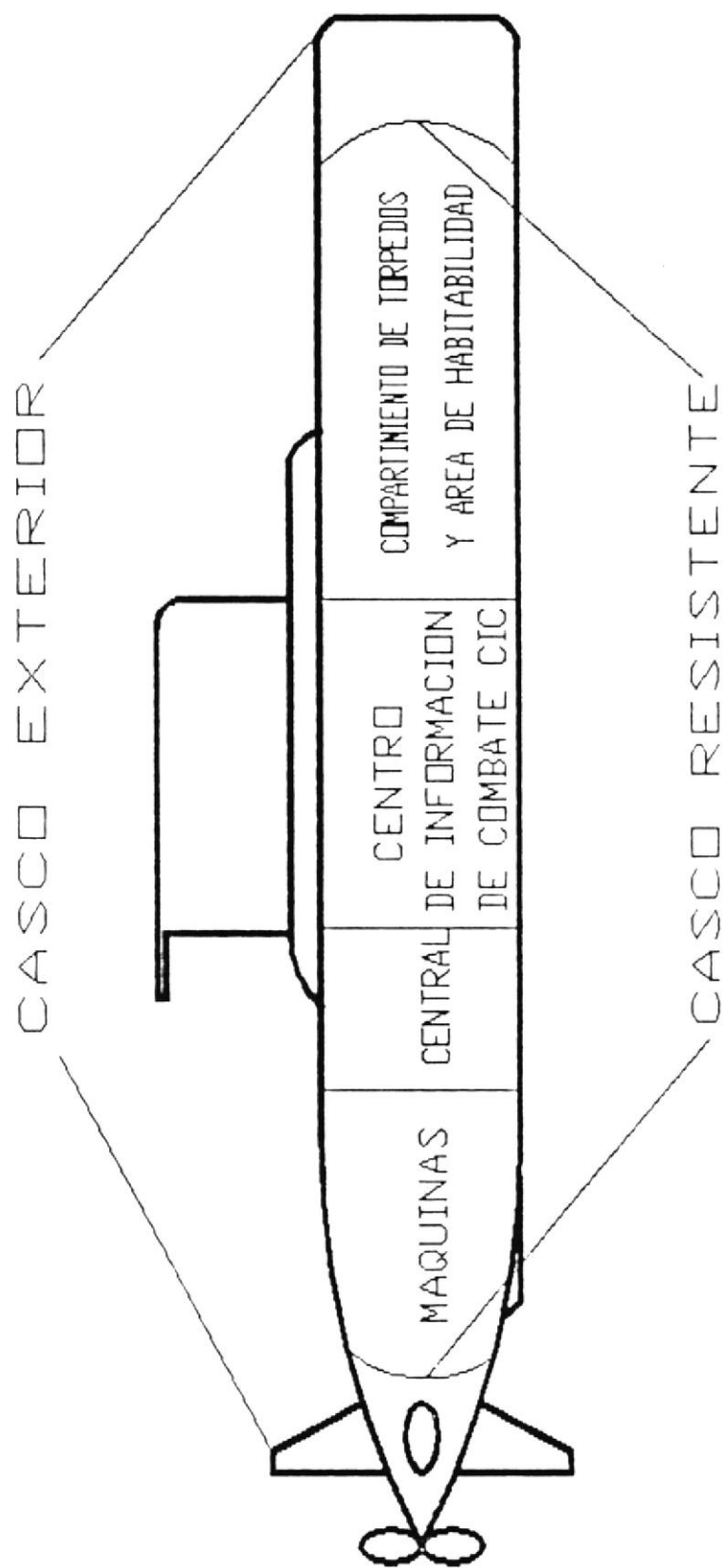


FIGURA 2.-

SECCIONES DEL CASCO RESISTENTE

conexión de baterías, control del motor de propulsión y de maquinaria auxiliar, en esta sección se encuentra el grupo de aire 1 y los manifolds de control, reductoras de presión y manómetros de todo el sistema de aire comprimido. En la sección de máquinas se ubican los motores diesel, compresores, motor de propulsión, bombas hidráulicas, convertidores de corriente DC/AC, plantas de aire acondicionado, ventiladores para succión del aire en snorkel, compresores de agitación del electrólito de las celdas, entre otros equipos.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido instalado en los submarinos trabaja con una presión de 250 bares producida por la acción de dos compresores reciprocantes impulsados mediante motores de corriente continua que son alimentados desde las baterías, las características de estos compresores se listan en el Anexo II.

La descarga de los compresores circula por un deshumidificador para posteriormente almacenarse en los reservorios o "grupos de aire" que están constituidos por botellas de 340 litros cuyas características se listan en el Anexo II, los grupos de aire comprenden un total de 16 botellas dispuestas de la siguiente manera: grupos 2

y 3, 6 botellas cada uno y grupo 1, 4 botellas. El grupo 1 se aloja dentro del casco resistente en la sección del central, mientras que los grupos 2 y 3 se ubican en la proa del submarino, fuera del casco resistente (Figuras 3 y 4)

1.2.1 DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido de los grupos de aire se distribuye en los manifolds del central y fluye a través de reductoras a varios subsistemas que trabajan a menor presión. En las figuras 5 y 6 se muestran fotografías de estos equipos. En general se divide al sistema de aire en subsistemas de alta y de baja presión. El de alta presión comprende los circuitos de aire que trabajan con 250 y de 60 bares, mientras que los sistemas de baja presión son los que trabajan con 32, 10 y 2.7 bares. Existen reducciones a 100 bares para el sistema de eyección de balsas salvavidas y a 200 bares para el acumulador de torpedos. Además de las reductoras, existen entradas directas de aire a 250 bar a los subsistemas de 10, 60 y 32 bares que se usan en condición de emergencia, cuando se produce alguna falla en las reductoras, se puede lograr la reducción manualmente.

Los planos completos de los sistemas de aire comprimido de alta presión se incluyen en el Anexo V.

TOMA PARA CARGA DEL EXTERIOR

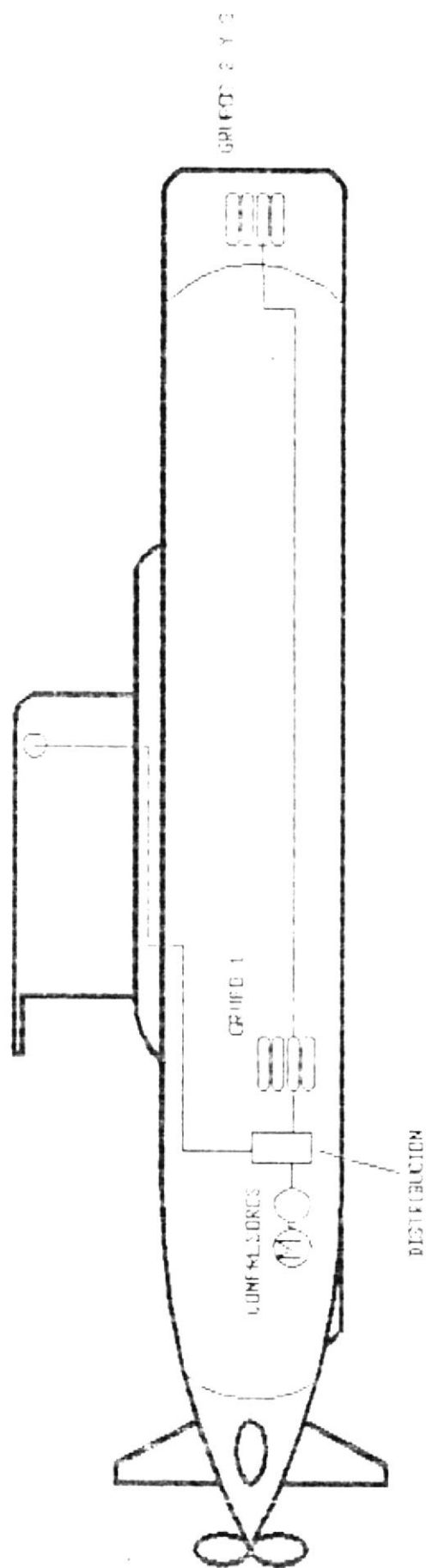
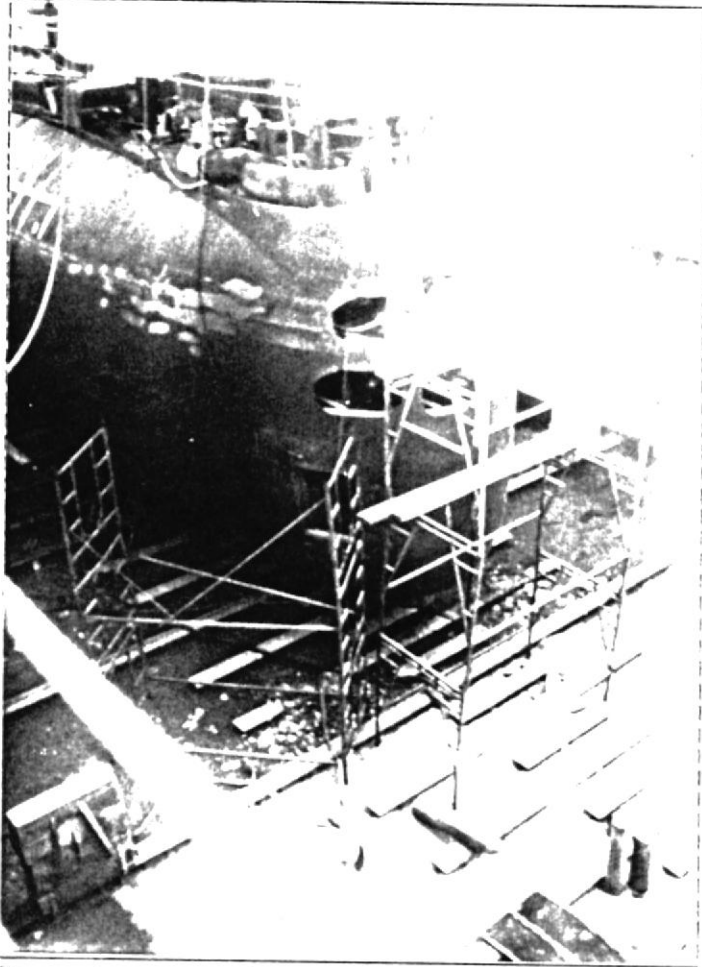


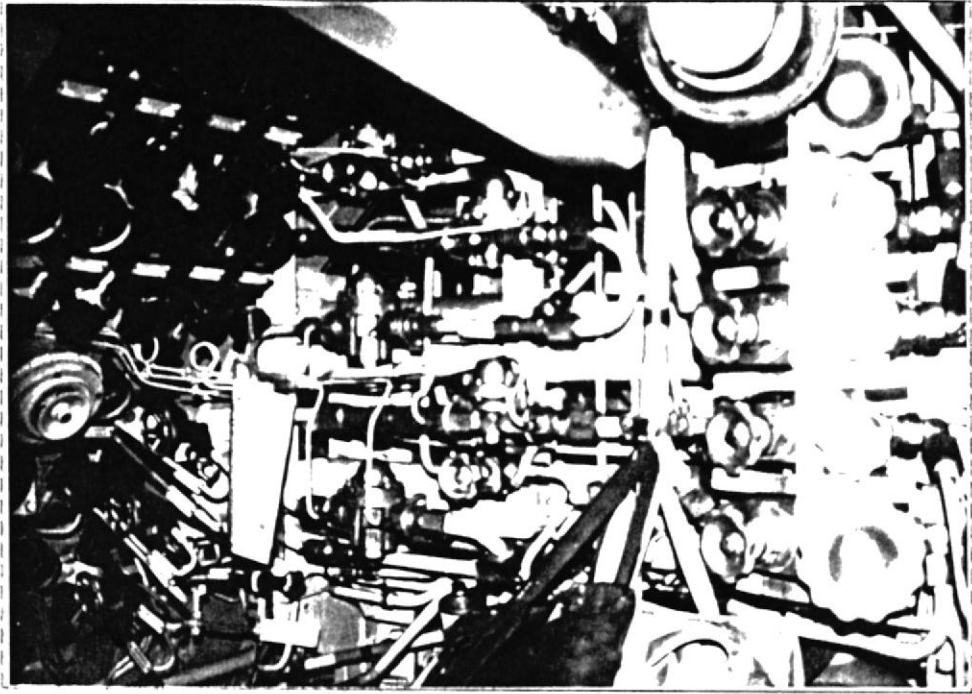
FIGURA 3.-
DISTRIBUCION DE LOS EQUIPOS





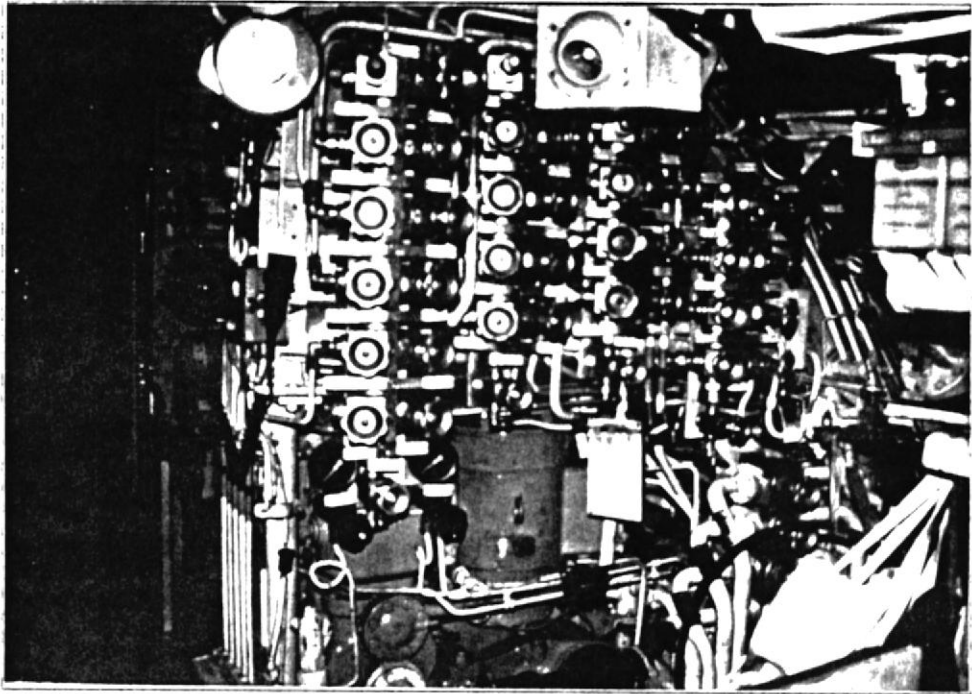
Tapa de inspeccion de los grupos de aire 2
y 3 ubicada bajo los tubos lanza torpedos

- FIGURA 4 -



Manómetros de control de presión, reductoras y Manifold de soplado de tanques de lastre.

- FIGURA 5 -



DISTRIBUIDORES DE AIRE (MANIFOLDS) EN EL COMPARTIMIENTO DEL CENTRAL

- FIGURA 6 -

En Tabla I se muestra los diferentes usos que se le da a los diferentes subsistemas de aire comprimido, en ella se ha señalado con una (p) aquellos equipos que se usan en puerto.

<i>Tabla I. - Presiones de Trabajo del Sistema de Abordo</i>			
PRESIÓN TRABAJO	REDUCTORA	REGULADORA MANUAL	EQUIPO QUE ACCIONA
250	No	No	Todos los subsistemas
200	No	Si: 250>200	Reservorio de torpedos
100	250>100	No	Eyección de balsas salvavidas
60	250>60	Si: 250>60	Tanques de lastre (p)
50	250>50	No	Válvula de Cabeza del Snorkel (p) Eyector de señales Empaques de mástiles Válvulas de refrigeración del MEP ^a Reductora a 10 bares Reductora a 6 bares
32	250>32	Si: 250>32	Eyector de Basura Tanque Sanitario (p) Válvula de Cabeza (p) Arranque de Motores diesel y Virador del motor de propulsión (p) Soplados de tanques de compensación resistentes Reductora a 2.7 bares
12	32>12	No	Motor del virador del MEP (p)

^a MEP : Motor Eléctrico de Propulsión

<i>Tabla No. I Presiones de Trabajo del Sistema de Abordo</i>			
PRESIÓN TRABAJO	REDUCTORA	REGULADORA MANUAL	EQUIPO QUE ACCIONA
10	250>10	Sí: 250>10	Cámara de acceso y pito Aire para los TLT ³ Sistema de tanques de equilibrio Bomba de achique #2 Interruptores automáticos (p) Reductora a 2.7 bares
6	50>6	No	Arranque y virado de máquinas (p)
2.7	32>2.7	Sí: 32>2.7	Soplado de TC ⁴ y TCD ⁵
1.1	10>1.1	No	Acciona los flaps de los ductos de ventilación en los comparti- mientos de habitabilidad (p)

³ TLT : Tubos lanza torpedos

⁴ TC : Tanque de Compensación sirve para ganar o perder peso adicional al de los tanques de lastre admitiendo o achicando agua de mar.

⁵ TCD : Tanques de Compensación y Diesel, cumplen igual función que los de diesel con la diferencia de que sirven para almacenar una reserva extra de diesel.

CAPITULO II

2 NECESIDAD DE LA PLANTA EN PUERTO

La necesidad de contar con una planta en puerto se analizará en base a la información del uso de los compresores de abordó que registra las horas de funcionamiento diarias de estos equipos, esta información se resume, en las Tablas II a la IV, en ellas se tabulan las horas de funcionamiento en puerto y en navegación y se ha calculado un promedio diario para cada mes considerando las horas totales divididas para el número de días que el buque ha permanecido en puerto y de forma análoga para el promedio en navegación. Los promedios generales que aparecen en la parte inferior de la tabla son la media de los promedios mensuales obtenidos.

TABLA II .- EMPLEO DE COMPRESORES EN EL BRILCA - 1989					
HORAS EN PUERTO			HORAS EN NAVEGACIÓN		
MES	HORAS	PROMEDIO	FECHA	HORAS	PROMEDIO
ENE	25,14	1,1342	28FEB/12MAR	80,48	4,1908
FEB	28,24	1,4162	20MAR/04ABR	37,64	4,2722
MAR	21,98	1,0812	27MAY/31MAY	15,32	2,0640
ABR	28,82	1,2128	12OCT/11NOV	124,76	4,4920
MAY	42,91	1,4504	07DIC/15DIC	28,98	4,8725
JUN	41,28	2,0440			
JUL	42,64	1,4084			
AGO	40,20	1,2000			
SEP	44,31	1,5437			
OCT	15,00	1,2500			
NOV	37,00	1,9474			
DIC	41,20	1,7957			
TOTAL EN PUERTO	466,00		TOTAL EN NAVEGACIÓN	307,18	
PROMEDIO GENERAL		1,5430	PROMEDIO GENERAL		4,9545

TABLA III .- EMPLEO DE COMPRESORES EN EL BRILCA - 1990					
HORAS EN PUERTO			HORAS EN NAVEGACIÓN		
MES	HORAS	PROMEDIO	FECHA	HORAS	PROMEDIO
ENE	44,82	1,5407	21ENE/04FEB	26,70	5,2429
FEB	38,71	1,7595	19MAR/27MAR	41,91	4,6567
MAR	27,00	1,2272	22ABR/02MAY	32,82	2,9826
ABR	9,50	0,4524	07JUN/12JUN	34,48	4,9257
MAY	25,64	1,2297	17SEP/29SEP	50,80	2,9077
JUN	22,00	1,0000	22OCT/05NOV	41,58	4,8847
JUL	21,24	0,6890			
AGO	11,64	0,2761			
SEP	25,00	1,4704			
OCT	15,84	0,5867			
NOV	28,32	1,3486			
DIC	20,50	0,9829			
TOTAL EN PUERTO	313,37		TOTAL EN NAVEGACIÓN	258,69	
PROMEDIO GENERAL		0,9772	PROMEDIO GENERAL		4,6195

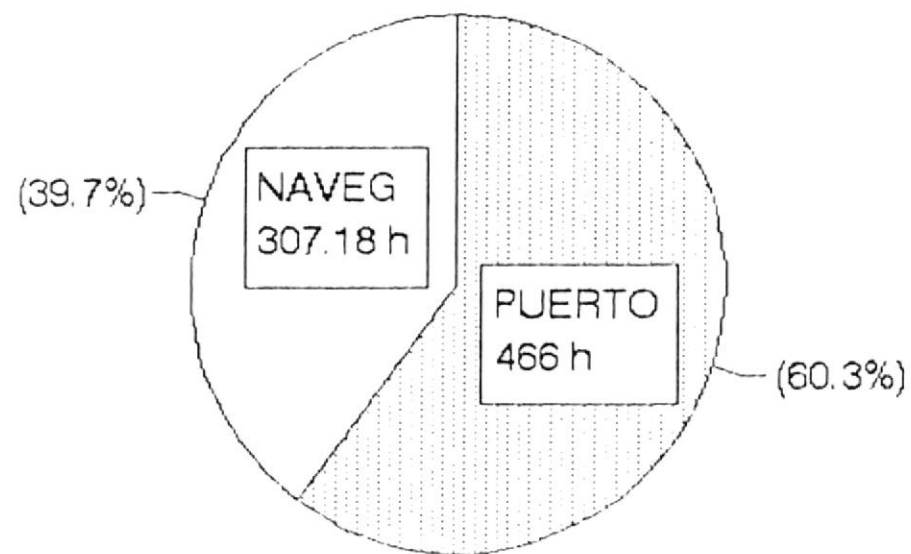
TABLA IV .- EMPLEO DE CONFRESORES EN EL BSHLCA - 1992					
HORAS EN PUERTO			HORAS EN NAVEGACIÓN		
MES	HORAS	PROMEDIO	FECHA	HORAS	PROMEDIO
ENE	21,00	0,9130	23ENE/30ENE	30,06	2,7575
FEB	16,50	0,5690	30MAR/07ABR	36,56	4,0622
MAR	20,00	0,6897			
ABR	30,25	1,3152			
MAY	22,00	0,7419			
JUN	10,32	0,3440			
JUL	11,34	0,3658			
AGO	4,00	0,1290			
SEP	9,00	0,4286			
TOTAL EN PUERTO	145,41		TOTAL EN NAVEGACIÓN	66,62	
PROMEDIO GENERAL		0,5843	PROMEDIO GENERAL		3,2108

TABLA V .- EMPLEO DE CONFRESORES EN EL BSHYRI - 1990					
HORAS EN PUERTO			HORAS EN NAVEGACIÓN		
MES	HORAS	PROMEDIO	FECHA	HORAS	PROMEDIO
ENE	62,74	2,0561	26MAR/02ABR	54,82	4,5692
FEB	24,82	1,2429	04MAY/12MAY	40,75	5,0938
MAR	44,84	1,7936	27JUN/29JUN	18,00	6,0000
ABR	25,16	1,4650	02AGO/21AGO	74,75	3,8275
MAY	27,41	1,6265	12SEP/14SEP	10,50	3,5000
JUN	25,50	0,9444			
JUL	61,49	1,9835			
AGO	8,16	0,7418			
SEP	24,16	0,8948			
OCT	10,14	0,3277			
TOTAL EN PUERTO	345,45		TOTAL EN NAVEGACIÓN	200,83	
PROMEDIO GENERAL		1,3390	PROMEDIO GENERAL		4,3659

TABLA VI .- EMPLEO DE COMPRESORES EN EL SBYRI - 1992					
HORAS EN PUERTO			HORAS EN NAVEGACIÓN		
MESES	HORAS	PROMEDIO	FECHA	HORAS	PROMEDIO
ENE	21,08	0,4800	05FEB/12FEB	27,82	3,4775
FEB	7,14	0,3768	18FEB/19FEB	14,00	8,0000
MAR	17,50	0,4034	30MAR/09ABR	24,32	2,2109
ABR	15,49	0,7374	14MAY/17MAY	28,15	7,0375
MAY	41,00	1,5185	22JUN/27JUN	40,82	4,8033
JUN	24,66	1,0275	30JUL/13AGO	80,84	5,3892
JUL	34,33	1,1838	13SEP/24SEP	95,00	7,9167
AGO	12,50	0,7500	30SEP/08OCT	71,65	7,9611
SEP	20,00	1,4284			
OCT	24,82	2,0492			
TOTAL EN PUERTO	219,55		TOTAL EN NAVEGACIÓN	384,4	
PROMEDIO GENERAL		1,2498	PROMEDIO GENERAL		5,7402

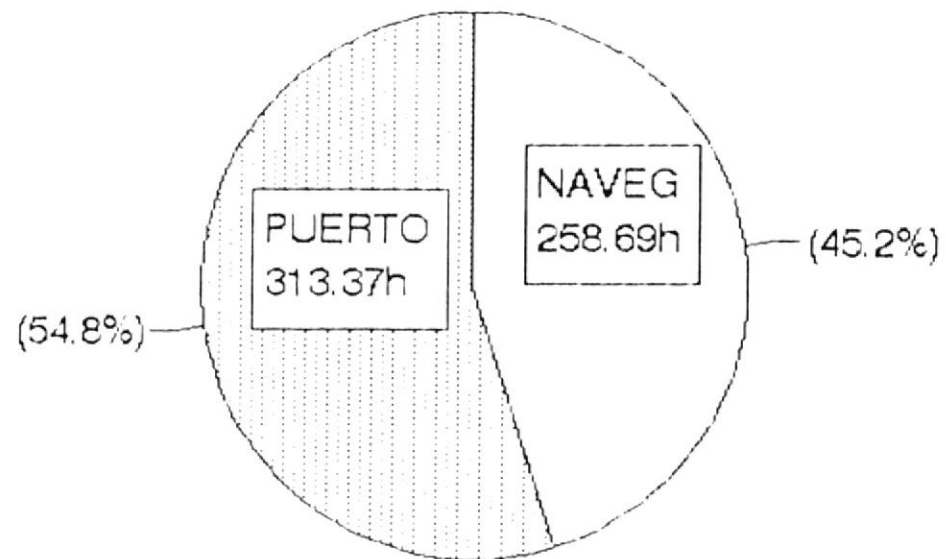
En las figuras 7 a 11 se grafica el empleo de los compresores en porcentajes de uso en puerto y en navegación en base a los datos de las tablas anteriores, claramente se observa que la instalación de la planta en tierra está plenamente justificada pues permitiría al menos duplicar la vida útil de este tipo de equipos. Para comprobar si esta tendencia es común para los dos submarinos, en la figura 12 se ha construido un gráfico de barras comparativo del uso en cada uno de los submarinos este gráfico muestra el empleo de compresores en los años 1990 y 1992 que son los años para los que se tiene información común para los dos submarinos.

EMPLEO DE COMPRESORES SSILCA - 1989



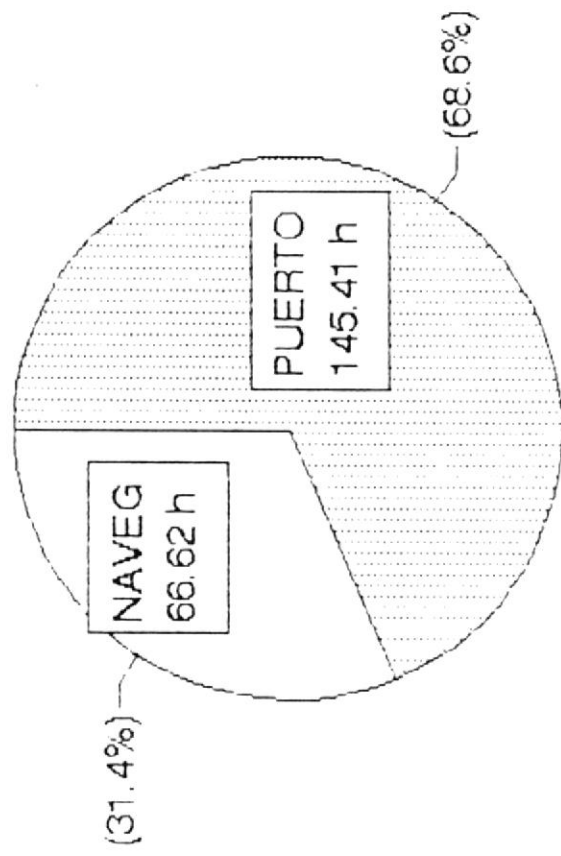
- FIGURA 7 -

EMPLEO DE COMPRESORES SSILCA - 1990



- FIGURA 8 -

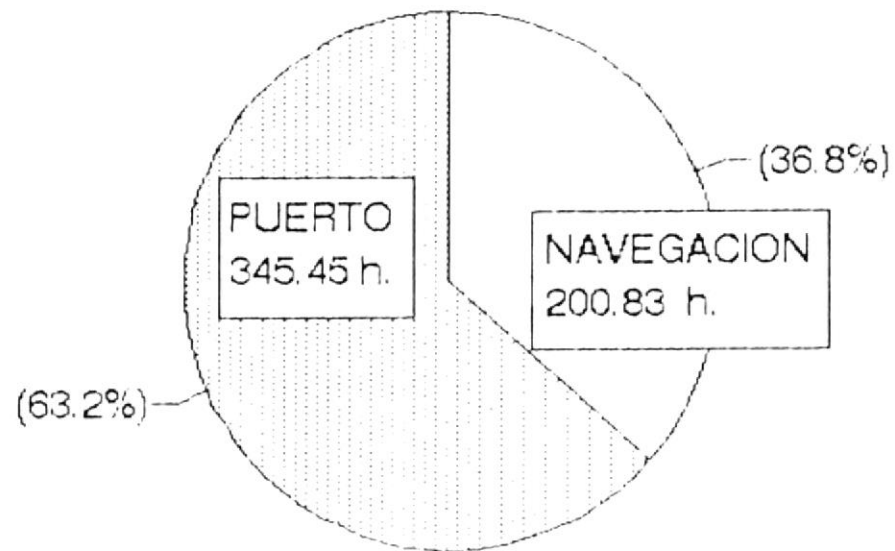
EMPLEO DE COMPRESORES SSILCA - 1992



- FIGURA 9 -

EMPLEO DE COMPRESORES

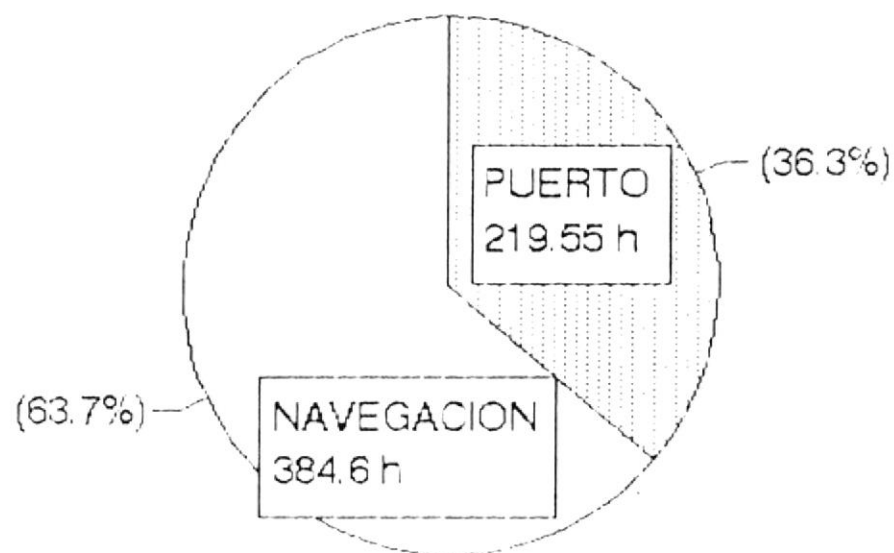
SSHYRI - 1990



- FIGURA 10 -

EMPLEO DE COMPRESORES

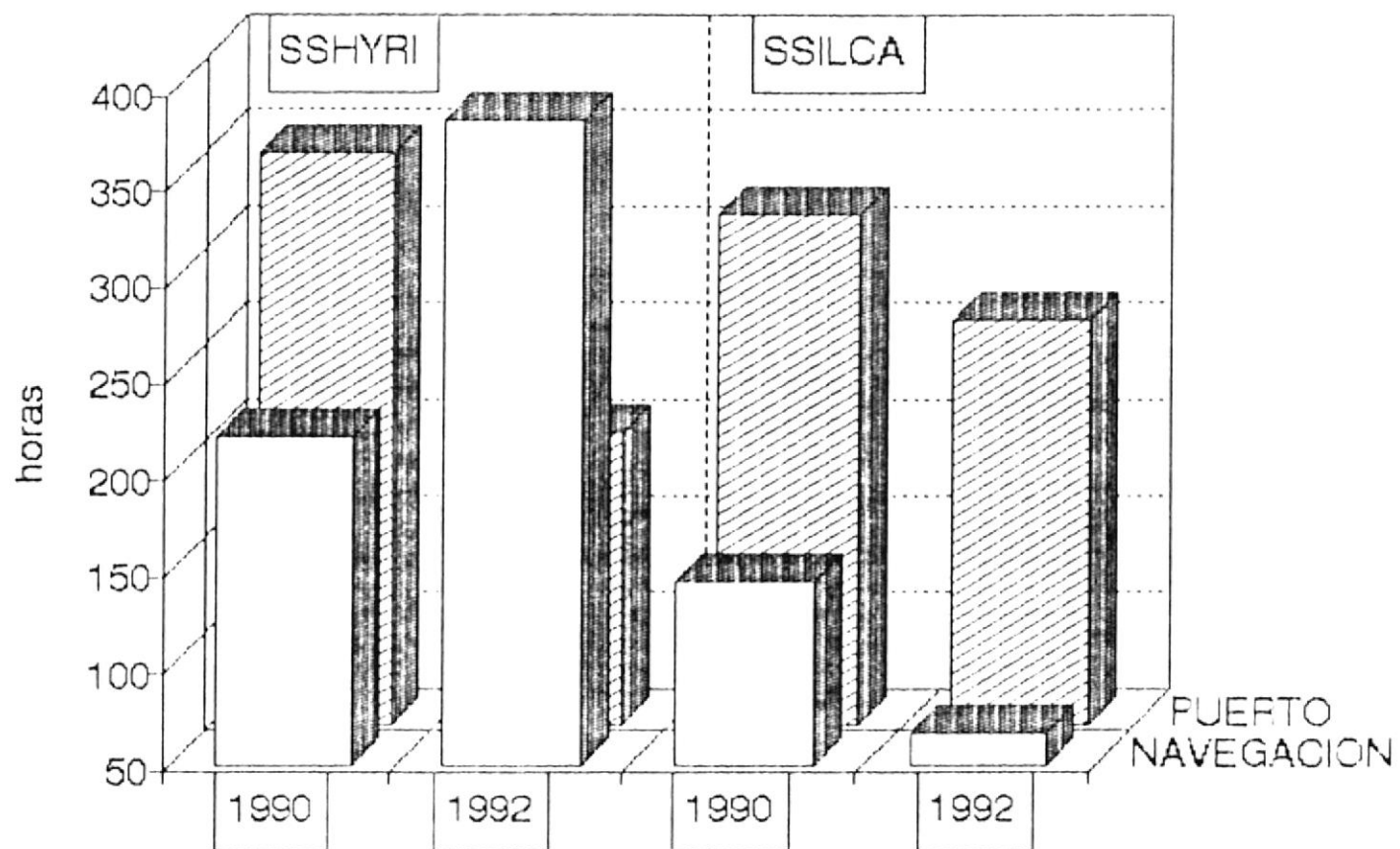
SSHYRI - 1992 (Hasta OCT)



- FIGURA 11 -

EMPLEO DE COMPRESORES

SSHYRI - SSILCA



- FIGURA 12 -

Respecto a la figura 12, el mayor empleo de compresores en el submarino Shyri en el año 1992 obedece al desarrollo de pruebas de aceptación luego del overhaul a que fue sometido en el año anterior, un comportamiento "normal" es el que corresponde a los años 1989 o 1990.

Adicionalmente, el uso en puerto de los compresores instalados abordo no es recomendado por el manual de operación y mantenimiento del sistema de aire comprimido. Al respecto, se puede señalar las siguientes desventajas:

- El precio de los compresores es alto (190 000 DM cada uno) si se considera que el ciclo de vida del sistema es de 5 años aproximadamente.
- El espacio disponible para el mantenimiento abordo es reducido lo que dificulta y encarece los trabajos.
- La disponibilidad de repuestos es limitada en el mercado local.

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad que se ha evidenciado en la sección anterior se puede plantear como problema en los siguientes términos:

" Diseñar una planta de aire comprimido en tierra para uso de los submarinos tipo U-209 durante la estadía en puerto que brinde una alternativa más económica frente al uso del sistema instalado abordo"

CAPÍTULO III

3 DISEÑO DE LA PLANTA

3.1 ALCANCE DEL DISEÑO

Antes de iniciar el desarrollo del Diseño es necesario establecer el alcance del presente trabajo, se trata de un ante proyecto, pues no se llegará a un diseño completo ni detallado de la Planta, su objetivo es el de demostrar la factibilidad de operar los consumidores del submarino que se utilizan en puerto desde una planta en tierra.

3.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Los parámetros a considerar para establecer las especificaciones de diseño son los siguientes:

- Consumo de aire
- Ubicación de la planta
- Presión de trabajo
- Selección de compresores
- Selección de tuberías y accesorios
- Equipos y sistemas complementarios

3.3 CONSUMO DE AIRE

Para el análisis del consumo de aire se comparará los datos obtenidos en las estadísticas de empleo de los compresores con una estimación del consumo de cada uno de los equipos que se utilizan en puerto, lamentablemente, los manuales y planos del submarino, con excepción del de los motores diesel, no especifican el consumo ni el tamaño normalizado de los actuadores que emplean, para estimar su capacidad, en el caso de los cilindros, se ha tomado sus dimensiones exteriores y se ha calculado su volumen normalizado asumiendo una compresión isotérmica con la siguiente relación:

$$V_{norm} = \frac{P_{op} \times V_{ac}}{P_{atm}}$$

V_{norm} = volumen normalizado; P_{op} = presión de operación del actuador;
 V_{ac} = volumen del actuador; P_{atm} = presión atmosférica

En la Tabla VII se detallan los equipos que se emplean en puerto, su presión de operación, sus dimensiones y el volumen de aire libre que emplean en su operación.

Tabla VII .-Presión de trabajo, Dimensiones y Volumen de Aire Libre requerido para operar cada consumidor en puerto.

EQUIPO	PRESIÓN DE OPERACIÓN(Bar)	ACTUADOR	DIMENSIONES (cm)	VOLUMEN (Nm ³)
Tanques de Lastre 1,2,5 y 6	60	Tanques	1) 21235 l 2) 18790 l 5) 33106 l 6) 23106 l	35
Válvula de Cabeza del Snorkel	50/32	Cilindro	ø14x50	0.3925
Tanque sanitario	32	Tanque	3057 l	33.63
Virador MEP	12	Motor neumático	Consumo máximo tabulado 182 l/s	
Interruptores Automáticos	10	Cilindro (5)	ø9.5x12.5	0.0487
Arranque y virado de las Mqs. Diesel	32	Distribuidor a los cilindros de la Mq. (4)	250 l	1
	6	Cilindro (48)	ø3.5x3.5	0.0113
Flaps de Ventilación	10	Cilindro (3)	ø6.5x9	0.0986
Flaps del AA de Torpedos	1.1	Cilindro (5)	ø9.5x13.5	0.0100
Flaps del Snorkel	10	Cilindro (2)	ø12x30	0.0746
Flaps de Silenciadores	10	Cilindro (4)	ø9x20	0.0560

Entre paréntesis , se ha indicado el número máximo de actuadores que pueden operar simultáneamente en puerto. Seguidamente se describe brevemente la función que realiza cada uno de los equipos

listados en la tabla anterior, a la vez que se estima su consumo, tomando en cuenta el volumen normalizado y el tiempo de operación.

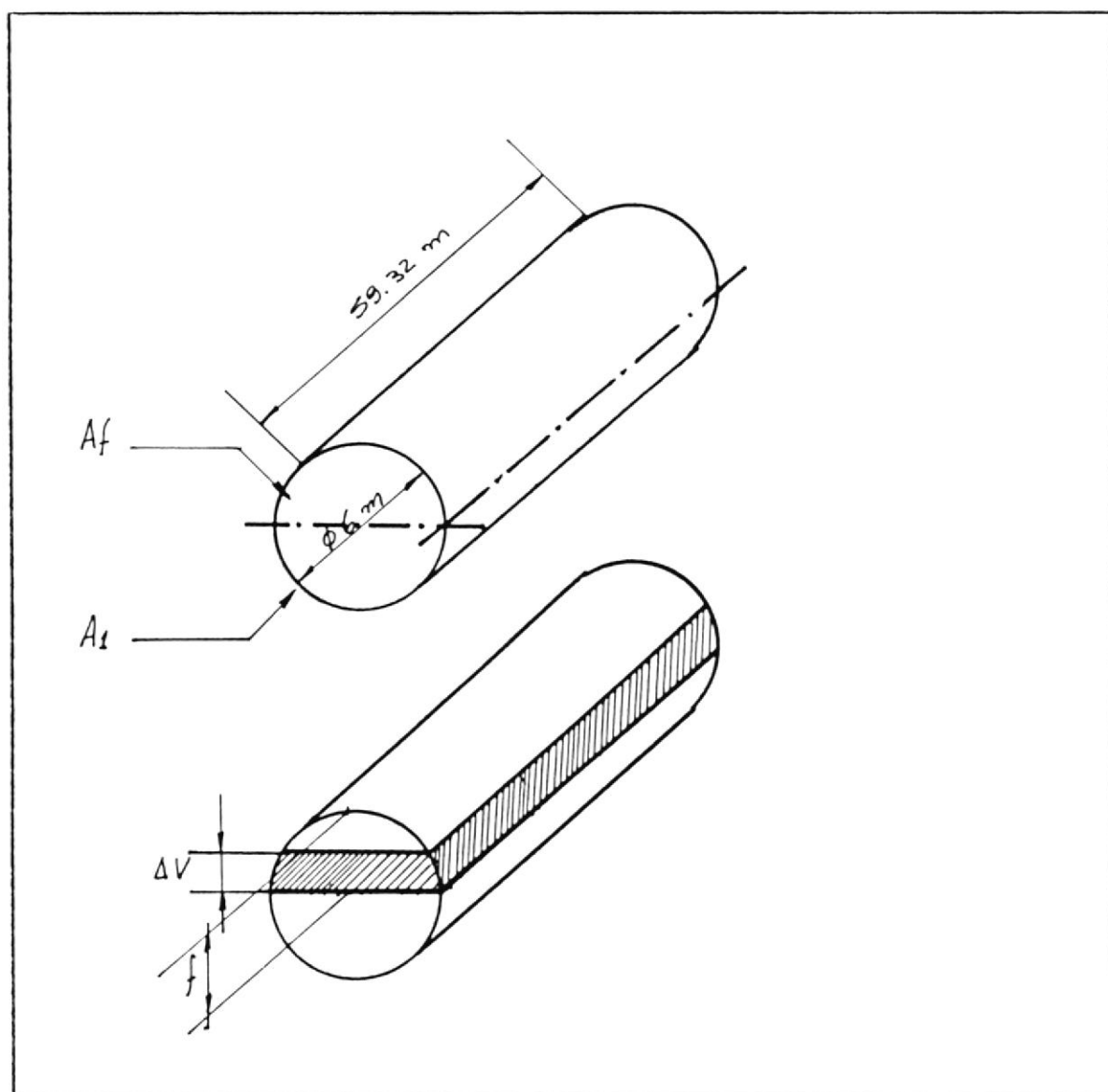
3.3.1 TANQUES DE LASTRE

Su función es la permitir al submarino sumergirse o salir a superficie. Los tanques 1,2,5 y 6 están ubicados entre el casco resistente y el casco exterior y disponen de una abertura en la parte interior que permite el libre ingreso del agua, mientras que en su parte superior se ubica una tapa denominada "evacuación" (ver Figura 13) que se acciona por medio de transmisiones mecánicas desde el interior del casco resistente y que permite, al abrirse, que el colchón de aire ubicado entre la superficie libre del agua y la parte superior del tanque se "evacue" al exterior. Al salir el aire el agua llena el tanque, el submarino gana peso y se hunde. Para salir a superficie, se cierra la evacuación y por medio de una tubería, ubicada en la parte superior del tanque cerca de la evacuación, se "sopla" aire a presión (60 bar) que empuja al agua obligándola a salir por la abertura inferior, al llenarse de aire el tanque, el submarino pierde peso y puede salir a superficie, un esquema de este proceso se muestra en la figura 14.

Durante la estadia en puerto, el submarino por efecto del movimiento de las olas, y porque la evacuación permite cierto paso de aire, va dejando escapar aire de sus tanques de lastre lo que hace que se hunda poco a poco (su calado aumente) y que cada cierto tiempo (una vez por día) se haga necesario "soplar" los tanques. Debido a que en superficie la presión de la columna de agua es mínima (0.06bar) se acostumbra usar 10 bares de presión durante un periodo de 1 minuto.

Para estimar el consumo de aire de los tanques de lastre se ha considerado la variación en el desplazamiento que ocurre al soplar los tanques de lastre. El análisis se describe a continuación:

Se ha idealizado al submarino como un cilindro de $\varnothing 6 \times 59.32$ metros que corresponde a las medidas reales de eslora total y diámetro del casco resistente, como el desplazamiento máximo en superficie es de 1265 m^3 se ha calculado el calado del cilindro en base a las tablas para áreas de segmento circular de radio unitario de la referencia (9). Así, el círculo de seis metros de diámetro, se ha dividido en dos áreas, A_1 es la parte sumergida y A_2 es la que queda sobre la línea de flotación:



Modelo para el cálculo de la capacidad de los tanques de lastre.

Los valores tabulados están en función de la longitud f señalada en el área A_f . El valor del área A_1 se ha obtenido dividiendo el desplazamiento total para la longitud del cilindro:

$$A_1 = \frac{\text{despl}}{L} = \frac{1265}{59.32} = 21.32 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el área Af será igual a:

$$A_2 = \pi r^2 - A_1 = 28.27 - 21.32 = 6.95 \text{ m}^2$$

Esta área se divide por r^2 para reducirla a la del círculo unitario, realizadas las operaciones, esta área Af corresponde a un valor tabulado de f igual a 0.5853.

Al soplar los tanques de lastre el submarino gana flotabilidad, es decir el calado se reduce, Al decrece y Af aumenta al igual que la longitud f. Si se considera que esta variación es de alrededor de un pie (0.3048 m), en términos del círculo unitario, este incremento se expresa dividiendo el incremento por el radio:

$$f_2 = f_1 + \Delta f = 0.5853 + \frac{0.3048}{3} = 0.6852$$

a este valor de f corresponde un área de círculo unitario igual 0.947 , que se multiplica por r^2 para obtener el área real Af igual a 8.52 m^2 y un área A1 igual a 19.75 m^2 .

La variación en el desplazamiento será entonces igual a:

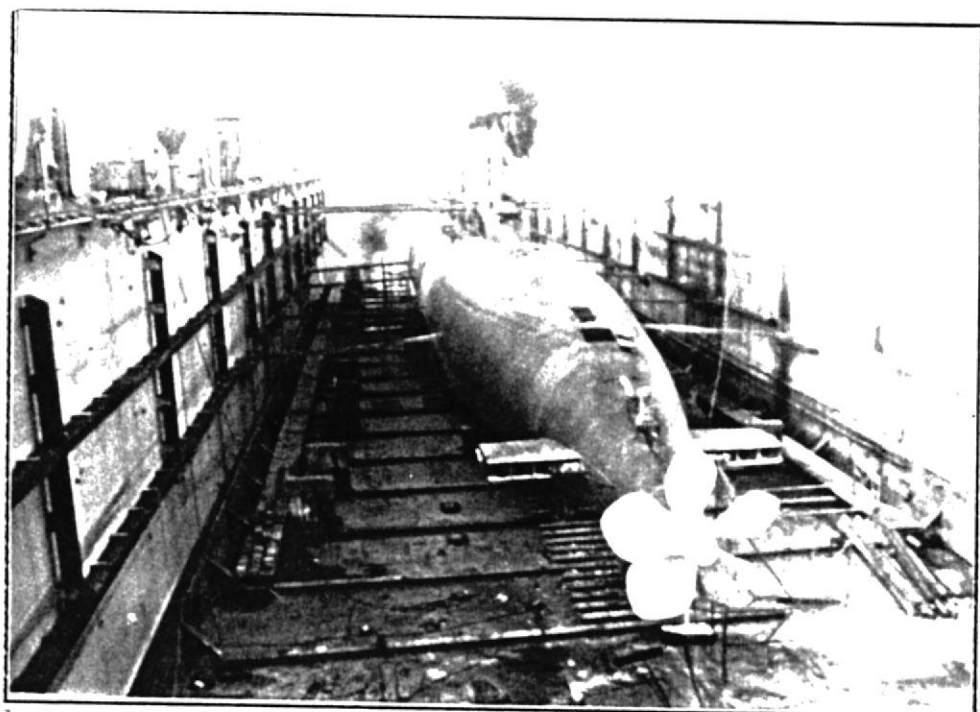
$$\Delta V = V_1 - A_1 \times l = 1265 - (19.75 \times 59.32) = 93.17 \text{ m}^3$$

Pero, se debe considerar que esta variación en el desplazamiento incluye al casco resistente, que representa alrededor del 76% del volumen total. Por ello, de los 93.17 Nm³, únicamente el 24% será aire que reemplaza al agua en los tanques de lastre, es decir 22.4 Nm³, si se toma un factor de seguridad de 1.5, se puede redondear esta cifra en 35 Nm³. El flujo de aire al soplar los tanques de lastre, considerando que la presión es prácticamente igual a la atmosférica (1.06 bar) será :

$$Q = \frac{\Delta V}{t} = \frac{35 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} = 0.583 \sim 0.6 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

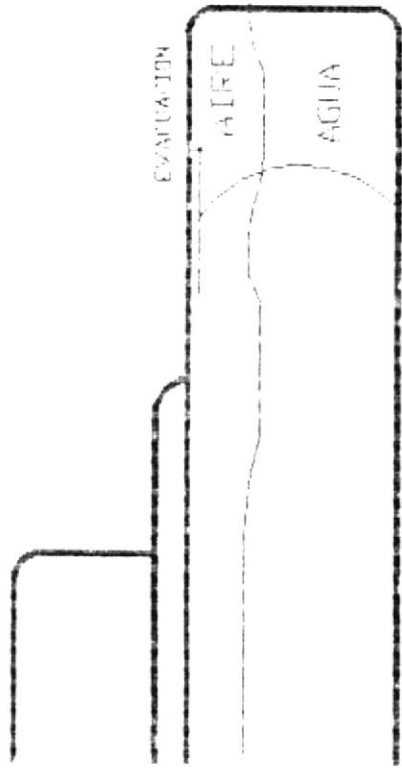
El caudal necesario para soplar los tanques es entonces igual a 0.6 Nm³/s .

La variación de calado al soplar los tanques de lastre se ha tomado igual a un pie aunque en verdad es algo mayor, pero debe tomarse en cuenta la idealización del submarino como un cilindro.



Los rectángulos rojos ubicados en la parte superior, delante de la hélice indican la posición de las evacuaciones de los tanques de lastre 1 y 2

- FIGURA 13 -



1. EL AIRE QUE SE ENCONTRA EN EL TANQUE
 SE DESPLAZA HACIA LA SUPERFICIE DEL
 AGUA Y SE ESCAPA POR LA SUPERFICIE.

PARA HUNDIRSE, SE ABRÉ LA EVACUACION DESDE EL INTERIOR
 POR MEDIO DE LA TRANSMISION MECANICA DEL AGUA INMEDIATA
 LIBREMENTE POR LAS AERACIONES. MIENTRAS EL AIRE ESCAPA
 POR LAS EVACUACIONES, TAMBIEN QUE EL SIEMPRE EN LA
 PROFUNDIDAD, SE CIERREN LAS EVACUACIONES PARA PERMITIR
 EL SOPLO DE LOS TANQUES DE LASTRE.

FIGURA 14.-
 OPERACION DE LOS TANQUES DE LASTRE

3.3.2 YÁLVULA DE CABEZA DEL SNORKEL

Se ubica en el tope del ducto de admisión de aire, su función es la bloquear el ingreso de aire al interior del submarino en caso de que el submarino no pueda controlar la profundidad durante la carga de baterías en inmersión. El aire comprimido actúa sobre un pistón que vence la fuerza de un resorte y abre la válvula, si el submarino se hunde, un par de electrodos accionan la válvula solenoide cortando el suministro del aire permitiendo que el resorte cierre la válvula e impide que el agua ingrese al interior del submarino. Cuando la válvula se cierra, las máquinas diesel continúan operando absorbiendo el aire del interior del submarino hasta que se detienen por la acción de un vacuómetro que activa el control electrónico de parada.

El sistema opera normalmente con aire de 32 bar y en emergencia con 50 bar. En la figura 15 se muestra un esquema del circuito, el tiempo de operación del cilindro es de 1 segundo y en puerto se requiere de su acción durante la carga de baterías, pero su acción no es cíclica, una vez que se ha izado el snorkel, el aire comprimido mantiene abierta la válvula. Su consumo es de $0.3925 \text{ Nm}^3/\text{s}$, con una presión de operación de 50 bar (condición de emergencia).

4-1544-11

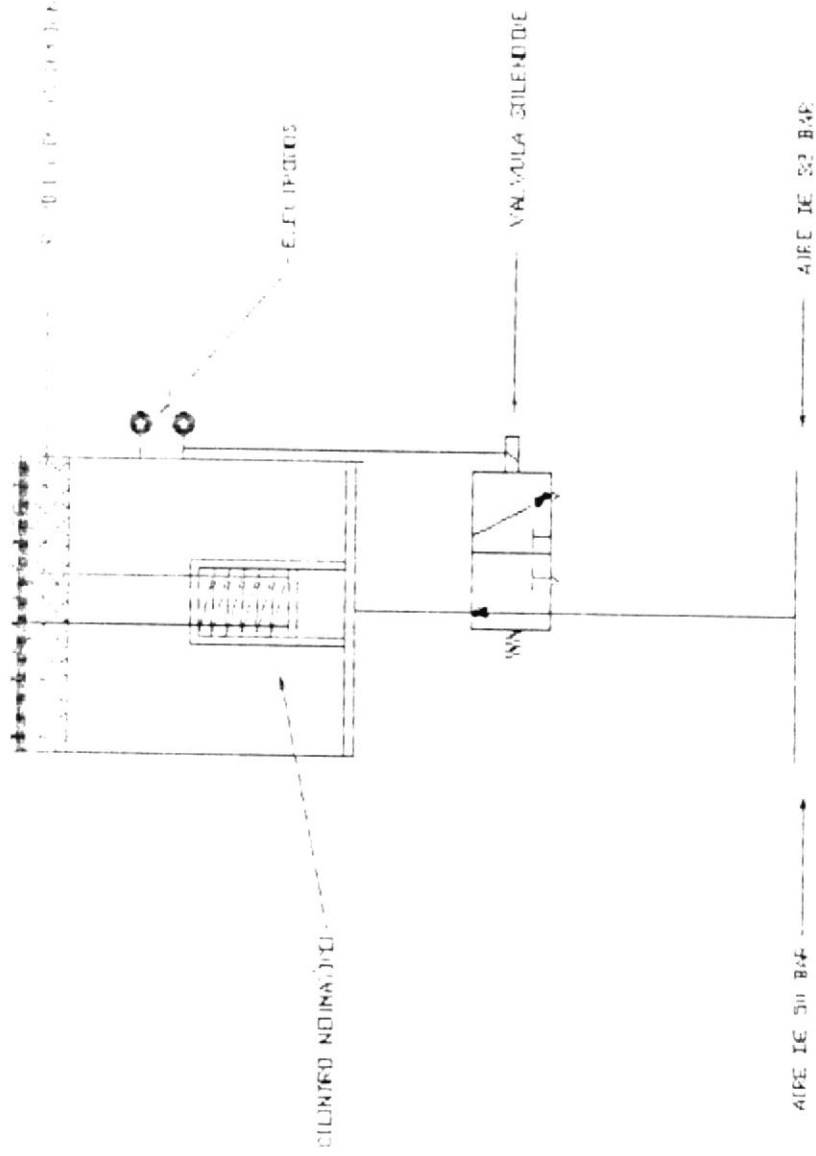


FIGURA 15.-

SISTEMA DE AIRE DE 50 BAR Y 22 BAR

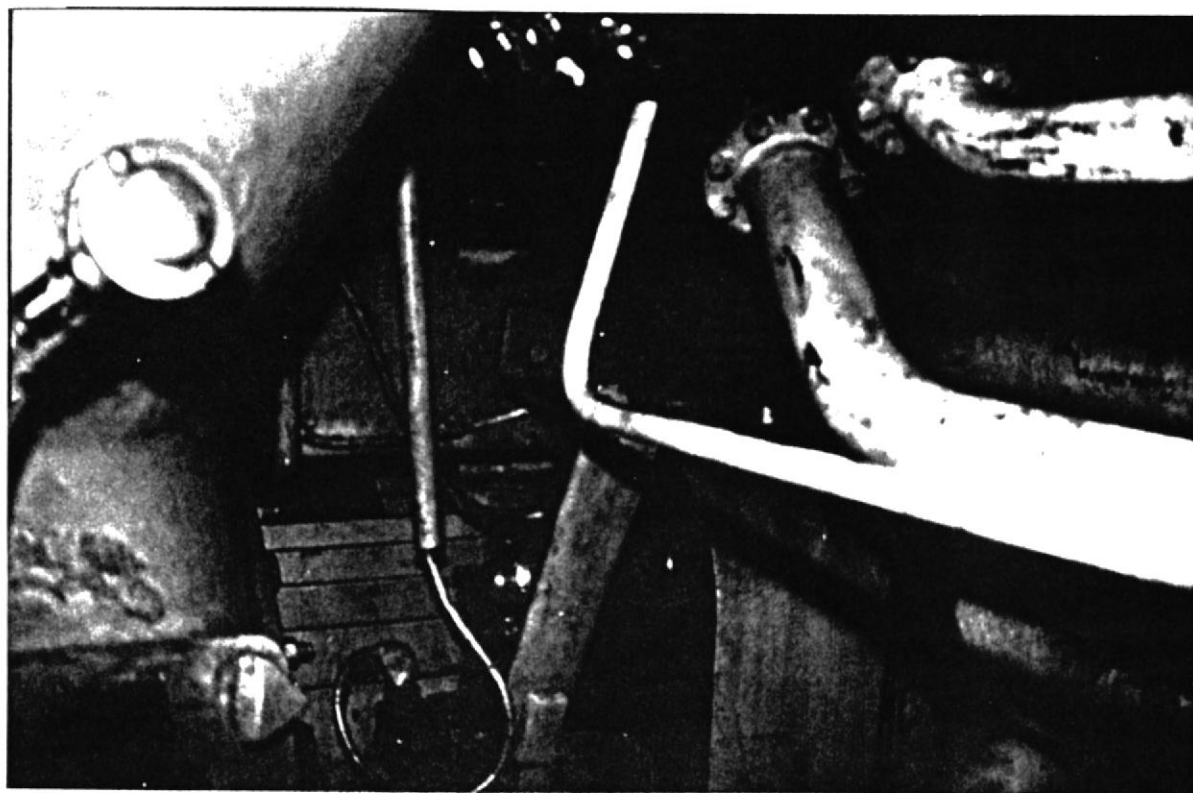


3.3.3 TANQUE SANITARIO

Sirve para recolectar todas las aguas servidas de abordo. Durante la navegación en inmersión, para vaciar este tanque primero se lo sella y luego se lo presuriza para poder eyectar el contenido venciendo la presión exterior, el principio es similar al de los tanques de lastre, con la diferencia de que este tanque se encuentra en el interior del casco resistente y no tiene libre comunicación con el exterior. Cuando el submarino se encuentra en puerto, la presión de soplado no excede los 10 bares, y el tiempo aproximado de soplado es de 5 minutos por lo que el consumo se puede aproximar a 0.1121 Nm³/s.

3.3.4 MOTOR VIRADOR DEL MEP

El motor neumático virador del MEP se acopla manualmente por medio de un engrane que permite girar el MEP para trabajos de mantenimiento, dado que no se dispone de sus características de consumo de aire, se ha tomado como referencia para estimar su consumo el más alto valor tabulado en la página 580 de la referencia (3), para un motor de pistón Atlas Copco modelo MZK 62/9.7 kW, de 0.182 Nm³·. En la Figura 16 se muestra una fotografía de este equipo, en ella se observa la palanca para invertir el giro del motor.



Motor neumático para virado del MEP, la palanca que se aprecia al fondo sirve para invertir el giro

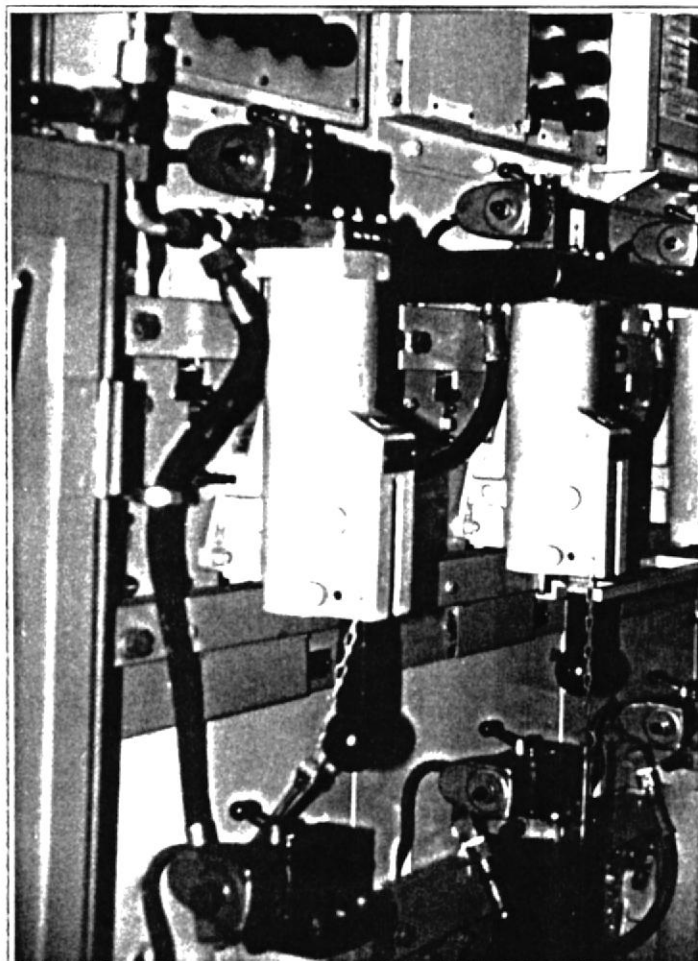
- FIGURA 16 -

3.3.5 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

Son los que interconectan las barras colectoras de baterías y generadores. Las 480 celdas del submarino se agrupan en cuatro baterías de 120 celdas cada una, estas baterías se conectan en serie, en paralelo o en serie - paralelo dependiendo de la corriente que se requiera entregar al MEP para mayor o menor velocidad. En puerto, los interruptores automáticos se usan para la carga de baterías desde una estación de tierra por medio de una toma en la vela, se alimentan las baterías y se las va conectando en serie o paralelo dependiendo del tipo de carga. La conexión o desconexión se realiza por medio de los interruptores automáticos, en ellos, el aire comprimido actúa sobre un pistón provocando que éste conecte o desconecte los contactos del interruptor, el ingreso del aire es controlado por una válvula solenoide, de manera que las secuencias de conexión y desconexión de los interruptores se hallan automatizadas, en caso de emergencia, la conexión puede realizarse accionando manualmente la válvula solenoide, para permitir el paso del aire, o desplazando el vástago por medio de la palanca de operación manual.

En puerto, durante la carga de baterías, se conectan y desconectan únicamente cinco interruptores automáticos, 1-2-3-4 y 5 para conexión de las baterías en serie y 1-5-6-7 y 8 para la conexión en paralelo. La conexión de éstos se realiza en 2 segundos por lo que de acuerdo a las dimensiones y el volumen de aire libre calculado, el consumo se puede estimar en $0.0244 \text{ Nm}^3/\text{s}$.

En la figura 17 se muestra una fotografía de los interruptores automáticos, el elemento de color verde que se aparece en la parte superior izquierda de cada interruptor es el compartimiento donde se aloja la bobina que acciona la válvula neumática, sobre ésta se puede apreciar una palanquita para el accionamiento manual del bloque neumático. La palanca con el manubrio de bola es para accionamiento manual del vástago del cilindro.



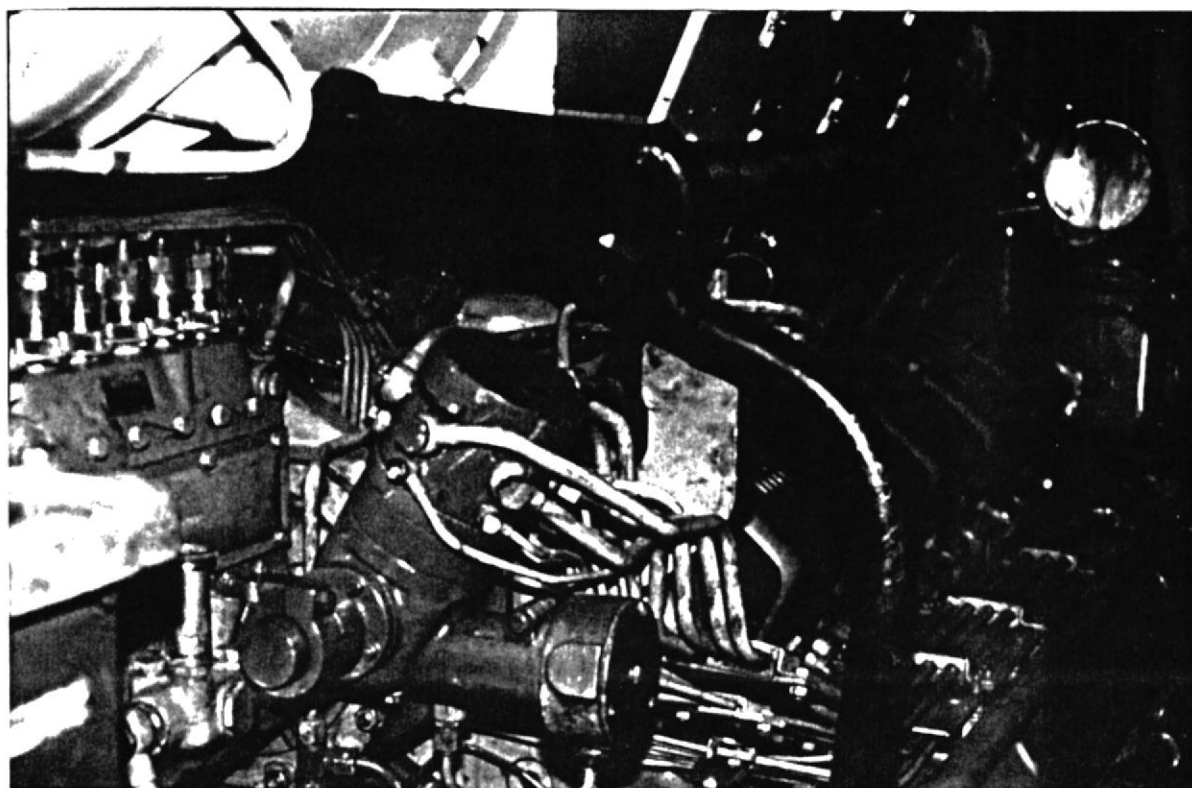
Interruptores Automáticos. Los componentes verdes son la bobinas de los solenoides. Las palancas al lado de las cadenas son para conexión manual

- FIGURA 17 -



3.3.6 ARRANQUE Y VIRADO DE LOS MOTORES DIESEL

El suministro de aire comprimido para los motores diesel es de 32 y 6 bar, el primero se distribuye a los pistones y sirven para vencer la inercia y ganar velocidad a la máquina durante el arranque. El aire a 6 bar acciona las válvulas de descompresión de los cilindros desplazando unos pequeños pistones, estas válvulas se mantienen abiertas durante las 10 primeras vueltas del cigüeñal para permitir el escape de condensaciones en el interior de la cámara del cilindro que podrían ocasionar problemas durante el arranque y la operación de la máquina. El proceso del virado y arranque dura aproximadamente un minuto por lo que el consumo para las cuatro máquinas será de $0.0169 \text{ Nm}^3/\text{s}$. Considerando que el sistema va a reemplazar al de abordo, se debe tomar en cuenta la regulación de la American Bureau of Shipping (1) que recomienda que la capacidad del reservorio de abordo debe proveer un mínimo de seis arrancadas por cada máquina no reversible, ello implica que este flujo de $0.0169 \text{ Nm}^3/\text{s}$ debe mantenerse por lo menos durante seis minutos, lo que será una de las consideraciones a la hora de diseñar el tanque reservorio de la planta. En la figura 18 se aprecia el distribuidor de aire de virado y arranque.



En primer plano, el distribuidor de aire comprimido para virado y arranque de uno de los motores.

- FIGURA 18 -

3.3.7 ELAPS DE VENTILACIÓN

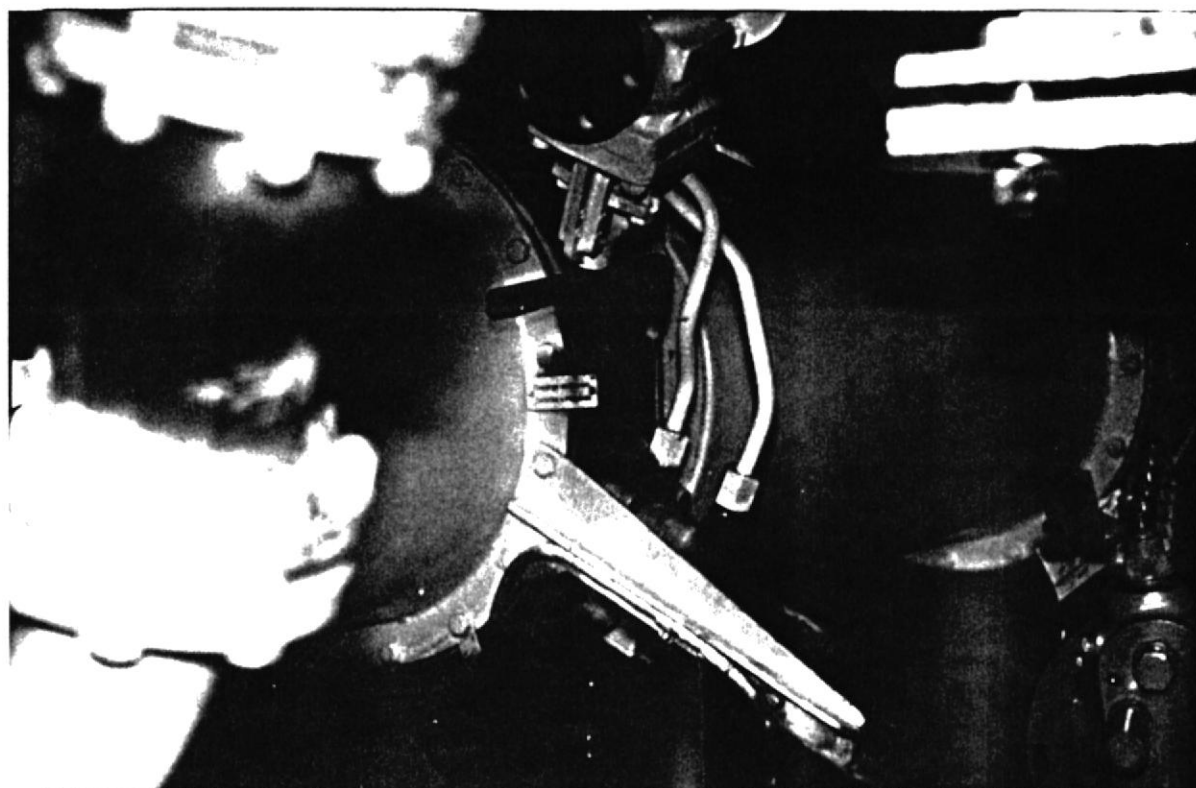
Los flaps de ventilación dirigen el flujo de aire dentro de los ductos del sistema de ventilación de abordo, el sistema consta de dos ventiladores, el de baterías, y el del buque. El primero, de mayor capacidad, hace circular el aire por los tanques de baterías para eliminar los gases que se desprenden durante la carga o descarga de las celdas, en especial del hidrógeno cuya acumulación puede llegar a niveles explosivos. El ventilador del buque permite la circulación del aire en el resto del submarino, de ahí su nombre. La mayoría de los flaps se accionan manualmente, a excepción de aquellos que por su importancia o su ubicación requieren de un accionamiento neumático. Este accionamiento consiste en un cilindro neumático que acciona la palanca posicionadora del flap deflectando el flujo dentro del ducto u obstruyéndolo completamente (ver figura 19). El cilindro se acciona en 1.5 segundos por lo que el consumo, para los tres flaps accionados neumáticamente, se puede estimar en $0.0657 \text{ Nm}^3/\text{s}$.

3.3.8 ELAPS DEL AIRE ACONDICIONADO

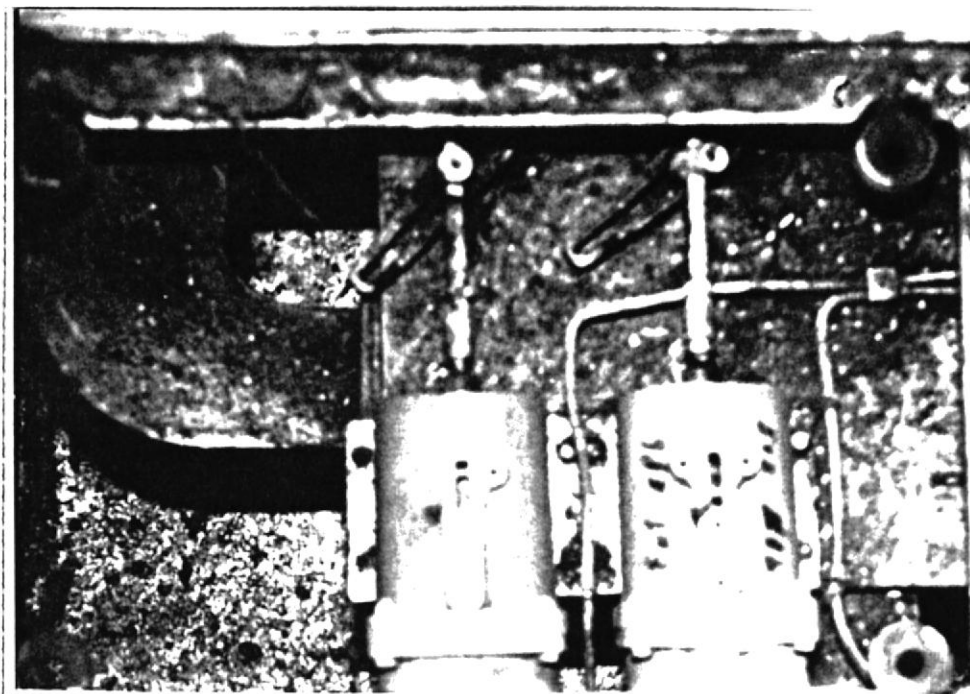
En los ductos de aire acondicionado de la sección de Torpedos y de los espacios de habitabilidad, se dispone de controles de temperatura que accionan cilindros neumáticos y posicionan

los flaps deflectores regulando así el suministro de aire acondicionado (ver figura 20). Estos cilindros se accionan completamente en un lapso de 3 segundos por lo que el consumo se puede estimar en $0.0033 \text{ Nm}^2/\text{s}$.

FIGURA No. 19



Cilindro neumático de accionamiento de los flaps del sistema de ventilación



Cilindros neumáticos de accionamiento de los flaps para regulación del flujo de Aire Acondicionado

- FIGURA 20 -



3.3.9 ELAPS DEL SNORKEL

Los flaps del snorkel tienen como función la de permitir el flujo del aire exterior hacia el interior del submarino, por seguridad se ha concebido al sistema con dos flaps, uno exterior y otro interior (Figuras 21 y 22), que se accionan independientemente, cada uno con un cilindro neumático. La operación de estos flaps se realiza controlando en forma manual el paso de aire comprimido hacia los cilindros actuadores y constituye una de las condiciones críticas del submarino cuando se los abre para cargar baterías en inmersión dado el peligro de que se pueda presentar ingreso de agua al interior.

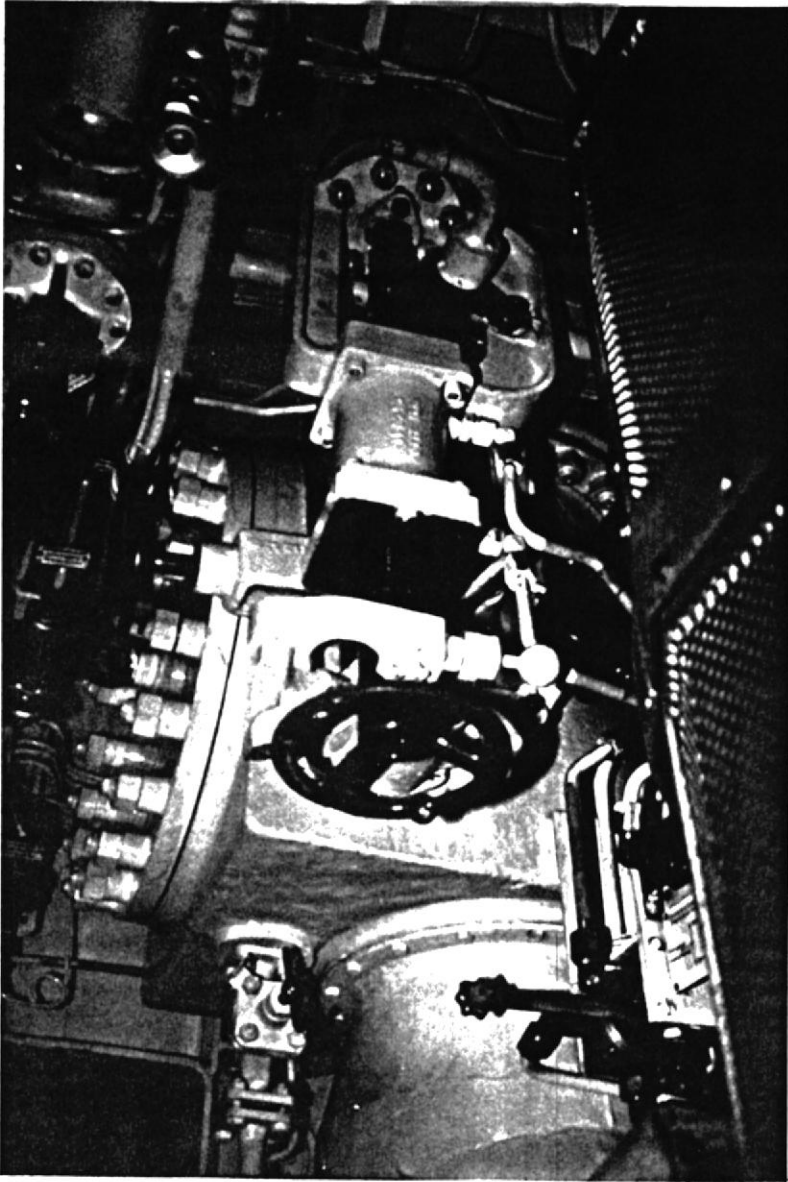
En puerto estos flaps se accionan al realizar carga de baterías, desde la planta en tierra, por que el sistema de ventilación así lo exige, la operación de estos flaps toma aproximadamente 1 segundo por lo que el flujo estimado para los dos es de $0.0746 \text{ Nm}^3/\text{s}$.

3.3.10 ELAPS DE LOS SILENCIADORES DE MAQUINAS

Este dispositivo evita que al encender las máquinas bajo la superficie, el agua pueda ingresar al interior de la máquina a través de los ductos de gases de escape, para ello, la

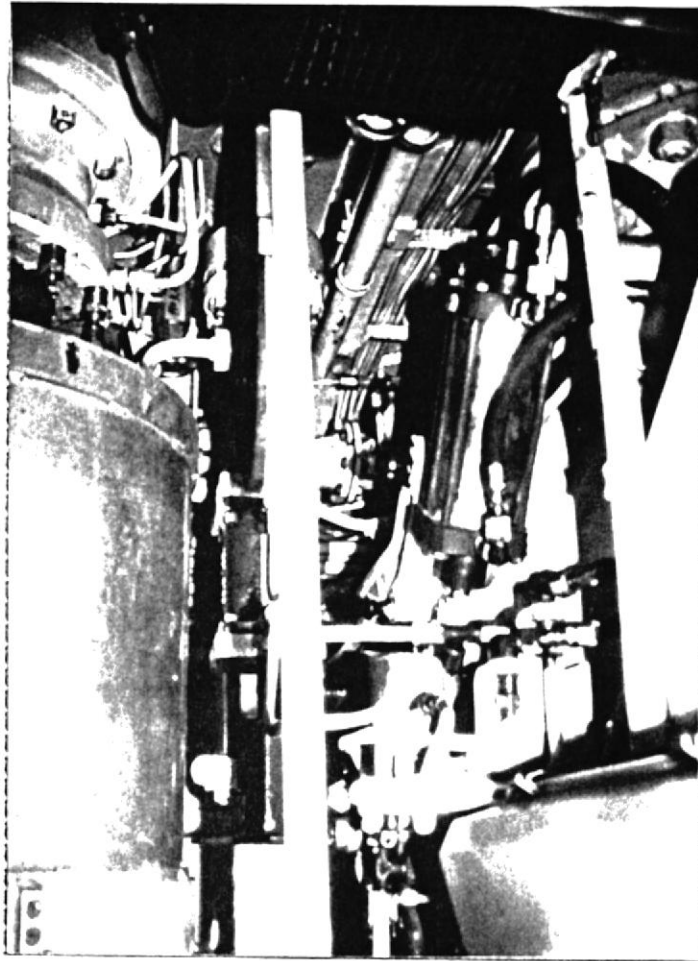
válvula solenoide que permite el flujo de aire al cilindro neumático que acciona al flap se encuentra gobernada por el sistema automático de arranque y control de los motores diesel, una vez que la máquina arranca, el flap se abre para permitir la descarga de los gases con una presión de 0.6 bar lo que permite que pueda vencer la columna de agua. Si por cualquier causa la máquina se para, el flap se cierra automáticamente evitando que pueda producirse ingreso de agua. En puerto, a pesar de que no existe este peligro, el flap se acciona por efecto del sistema de control automático de arranque de las máquinas. El consumo estimado es de 0.056 Nm³/s.

En la fotografía de la figura 23 se muestra el cilindro neumático, con su vástago extendido y en primer plano el silenciador de gases de escape.



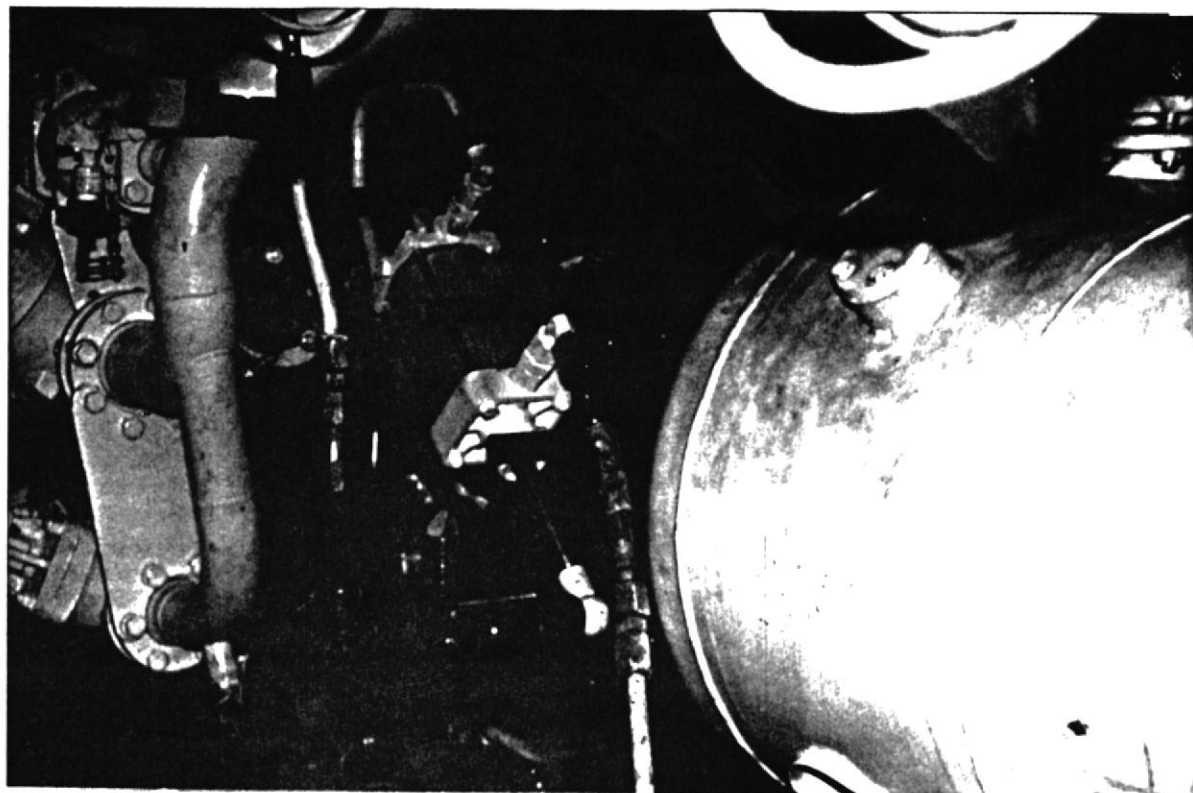
Cilindro de accionamiento del flap exterior del snorkel

- FIGURA 21 -



Cilindro de accionamiento del flap interior
del snorkel

- FIGURA 22 -



Cilindro de accionamiento del flap del silenciador de gases de escape de uno de los motores diesel

- FIGURA 23 -

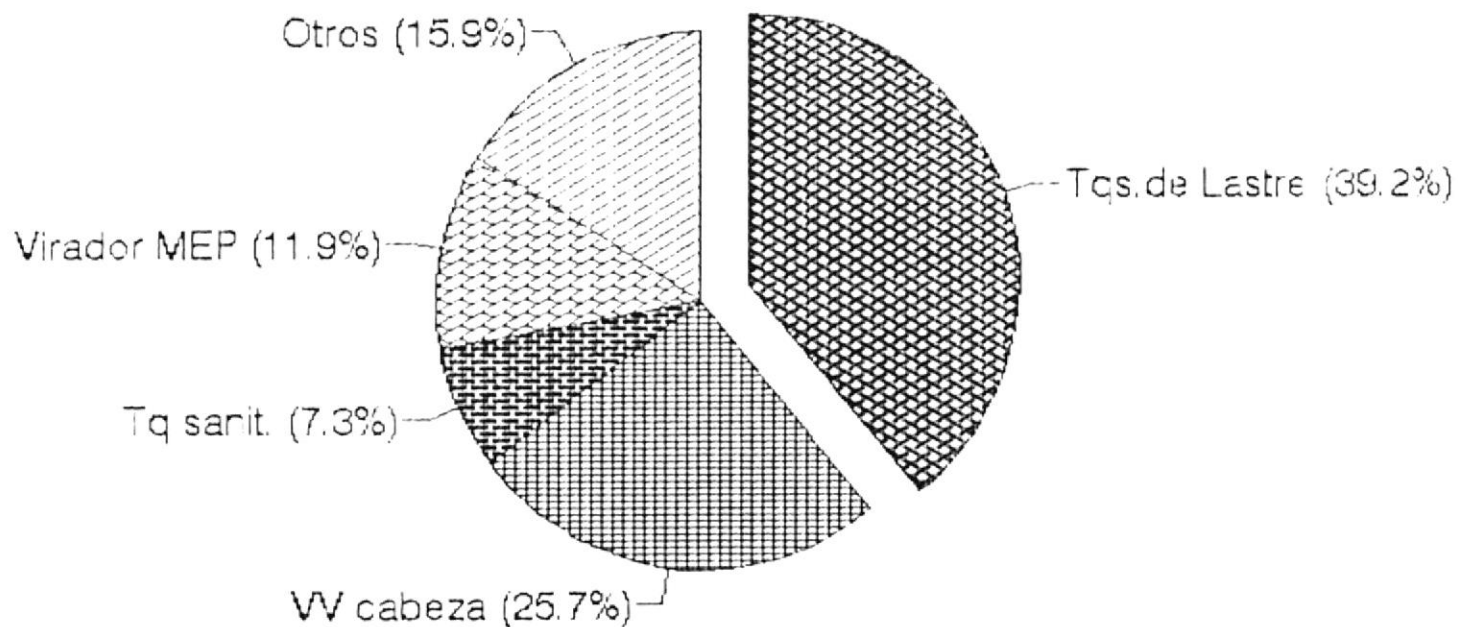
3.4 CONSUMO TOTAL DE AIRE

El gasto total estimado obtenido de cada uno de los de los consumidores se detalla en la Tabla VIII :

<i>Tabla VIII :- Razón de Consumo de Aire de cada equipo</i>	
EQUIPO	CONSUMO (Nm ³ /s)
Tanques de lastre	0.6
Válvula de Cabeza del Snorkel	0.3925
Tanque Sanitario	0.1121
Motor virador del MEP	0.1820
Interruptores automáticos	0.0244
Arranque y Virado de Mqs. Diesel	0.0190
Flaps de Ventilación	0.0657
Flaps del AA de torpedos	0.0033
Flaps del Snorkel	0.0746
Flaps del silenciador de Mqs.	0.0560
TOTAL	1.5296

El caudal total obtenido de 1.53 Nm³/s sería el caudal pico, el que se demandaría suponiendo que todos los consumidores considerados se operen simultáneamente. Sin embargo, si se compara los valores obtenidos de consumo como en la figura 24 se observa que el 39.2 % del consumo total (aprox. 0.6 Nm³/s) corresponde a los tanques de lastre. Además, el flujo requerido para esta maniobra

COMPARACION DE CONSUMO TANQUES DE LASTRE vs. OTROS EQUIPOS



- FIGURA 24 -

es lo suficientemente alto para suplir la demanda de cualquiera de los demás consumidores.

Por ello, si la planta alcanza a cubrir la demanda de soplar los tanques de lastre cubrirá con exceso la demanda del resto de equipos. La capacidad de la planta será entonces de $0.6 \text{ Nm}^2/\text{s}$ (0.5 Kg/s) estimada para los tanques de lastre. Esta capacidad es suficiente para cubrir futuras demandas como el uso de herramientas neumáticas para mantenimiento de la cubierta o la instalación de elevadores neumáticos para el muelle.

Sin embargo, la desventaja de establecer esta capacidad será la limitación en abastecer el soplado simultáneo de los tanques de lastre de los dos submarinos, por ello, se deberá de establecer un horario de soplado, así por ejemplo, el Shyri deberá soplar sus tanques de lastre al amanecer, mientras que el Huancavilca lo hará en la tarde.

3.3 UBICACIÓN DE LA PLANTA

En el diagrama de la figura se aprecia la disposición del muelle de los submarinos en la Base Naval Sur (BASUIL). Inicialmente se pensó ubicar la planta al lado de la estación de transformadores, en la orilla del estero, pero luego, y considerando que el peso de

los compresores, fundación y el de las botellas usadas como reservorio podrían eventualmente provocar el deslizamiento del relleno cercano a la orilla del estero, la planta se ubicará en el sitio señalado, la presencia de la edificación de la estación de transformadores garantiza la suficiente firmeza del suelo.

Las fotografías de las figuras 26, 27 y 28 presentan el aspecto real del esquema mostrado en la figura 25. La ubicación es la más cercana a los submarinos y no resta espacio en el área del muelle.

En la ubicación de la planta además del criterio de firmeza del suelo, se ha considerado también el abastecimiento eléctrico que queda garantizado por la estación de transformadores que se aprecia en el esquema y en la fotografía. La planta deberá contar con el suficiente resguardo de la intemperie, y deberá proveer el suficiente aislamiento sonoro sin comprometer la ventilación de los compresores.

El tendido de tuberías no presenta inconvenientes, pues el muelle cuenta con un canal cubierto con láminas metálicas, diseñado con esta finalidad.

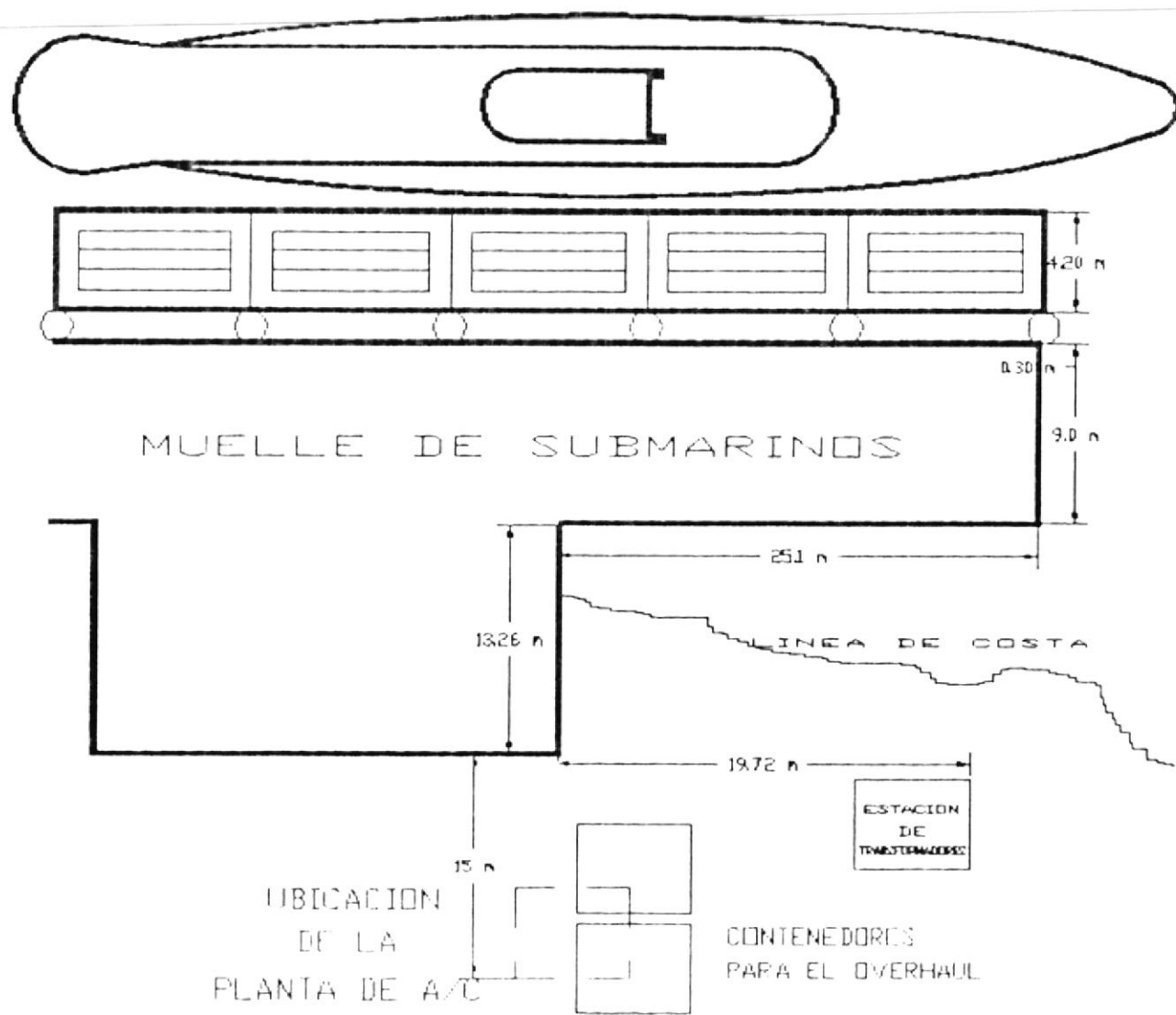


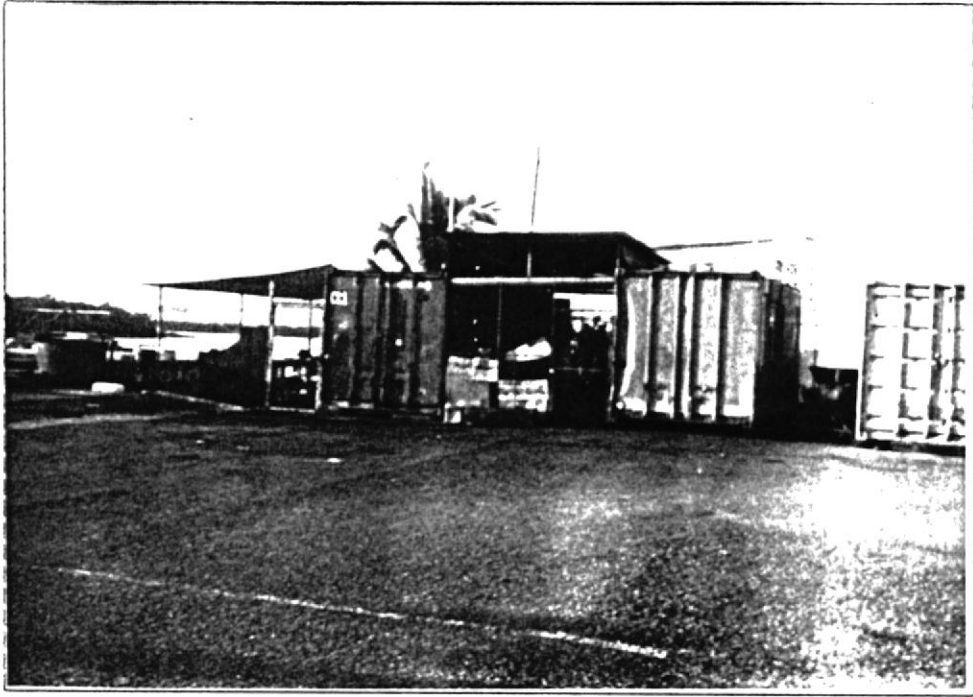
FIGURA 25.-

UBICACION DE LA PLANTA



Vista exterior del muelle de Submarinos. Las tomas para las mangueras, estarán ubicadas a la derecha del armario verde que está al lado de la grúa

- FIGURA 26 -



Contenedores con repuestos y talleres para trabajos del overhaul

- FIGURA 27 -



Estación de transformadores detrás de los contenedores

- FIGURA 28 -

3.6 PRESIÓN DE TRABAJO

La presión de trabajo de la planta requiere de una solución de compromiso, en una aproximación inicial se considerarán las siguientes opciones :

- a) Compresores en tierra con reservorio exterior a una presión de trabajo entre 32 y 60 bar. Los grupos de aire del submarino serían aislados y el consumo estaría alimentado exclusivamente por la planta exterior a menor presión. El rango de trabajo entre 32 y 60 bar obedece, en caso de la presión mínima, a la requerida para arrancar los motores diesel. Y en caso de la presión máxima, a la requerida para el soplado de los tanques de lastre, pero, como se indicó anteriormente, la presión usada en esta actividad cuando el submarino está en puerto no sobrepasa los 10 bar, de ahí que, para este caso, la selección de la presión de trabajo vendría a ser un compromiso entre el costo del reservorio, relativo a su tamaño, y el de comprimir el aire a la presión de trabajo, entre 32 y 60 bar. Pues a mayor presión se requerirá mayor potencia lo que implica mayor costo.

- b) Compresores en tierra, sin reservorio, que alimenten los grupos de aire del submarino, los que actuarían como reservorio.
- c) Compresores en tierra con reservorio exterior y una presión de trabajo de 250 bar.

3.6.1 ANÁLISIS DE LAS OPCIONES Y SELECCIÓN DE LA PRESIÓN DE TRABAJO

Los parámetros a considerar en el presente análisis serán :
el tamaño reservorio y la potencia requerida para los compresores.

3.6.1.1 TAMAÑO DEL RESERVORIO

El tamaño del reservorio queda definido por los datos de la Tabla IX de la cual se ha extraído los siguientes valores de volumen requerido :

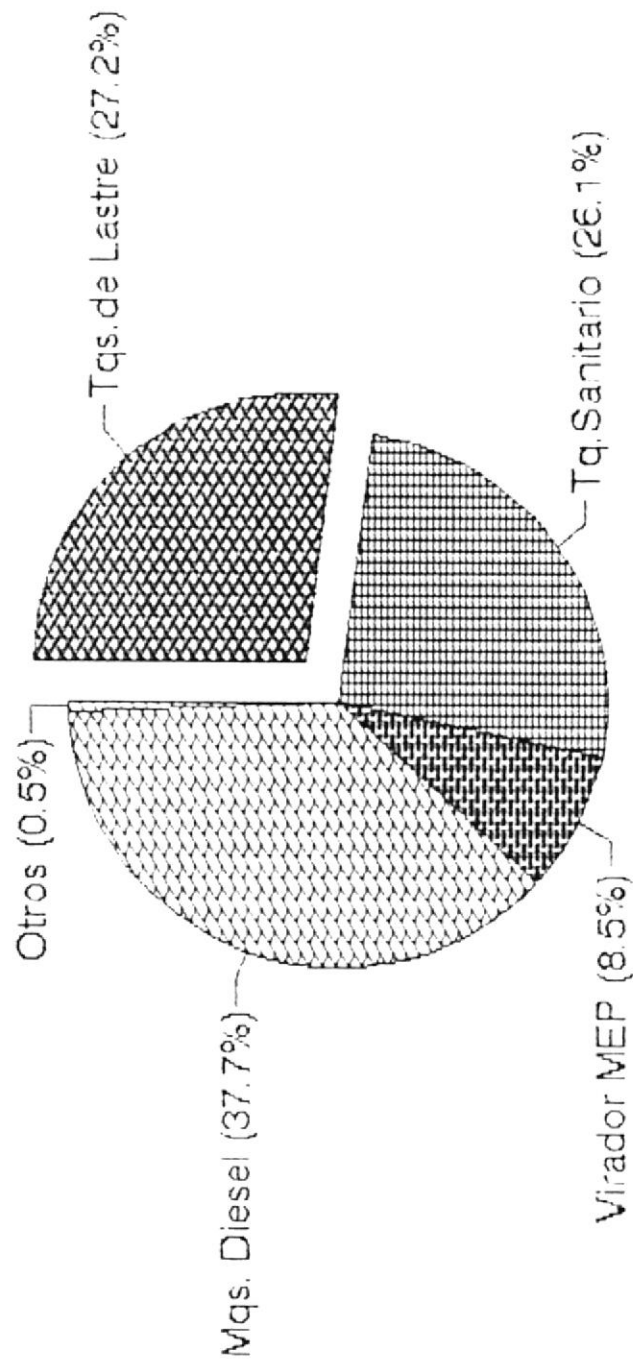
<i>TABLA IX</i> <i>Volúmenes de Aire Requeridos por los consumidores</i>	
EQUIPO	VOLUMEN (Nm ³)
Tanques de Lastre 1,2,5 y 6	35
Válvula de Cabeza del Snorkel	0.3925
Tanque sanitario	33.63
Virador MEP	10.92 ⁴
Interruptores Automáticos	0.0487
Arranque y virado de las Mqs. Diesel	48.54 ⁷
Flaps de Ventilación	0.0986
Flaps del AA de Torpedos	0.0100
Flaps del Snorkel	0.0746
Flaps de Silenciadores	0.0560
TOTAL	128.78

De forma análoga al dimensionamiento del flujo de la planta, el análisis de los volúmenes requeridos refleja que el 37.7% del volumen total requerido, según se puede apreciar en la figura 29, corresponde al considerado para los

⁴ Se ha considerado un tiempo extremo de operación continua de 60 segundos.

⁷ Se ha tomado en cuenta la regulación de ABS de seis arranques por cada Máquina diesel para los dos submarinos, en total 48 arranques.

VOLUMEN REQUERIDO TANQUES DE LASTRE vs. OTROS EQUIPOS



- FIGURA 29 -

arranques de las máquinas. Por lo tanto, se considera que con un reservorio de 100 Nm³ se abastecerá sin problemas la demanda de los consumidores de los dos submarinos, incluyendo el arranque simultáneo de máquinas diesel. No obstante, se hace necesario el establecer los horarios de soplado para los tanques de lastre como se indicó anteriormente, no por causa del volumen del tanque sino por el flujo requerido.

En atención a la presión de trabajo se debe considerar el espesor de la plancha del reservorio, como referencia se tomarán las fórmulas para espesores del Código ASME para tanques de presión (2) :

Esfuerzo Longitudinal :

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$

P=(kPa) Presión de diseño; R=(mm) radio interior del recipiente; S=(MPa) esfuerzo máximo permitido; t=(mm) espesor mínimo requerido; E = eficiencia de la junta soldada.

Esfuerzo Circunferencial :

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$$

Las expresiones anteriores son aplicables siempre que P no exceda $0.385SE$, ni el espesor exceda la mitad del radio interno del recipiente.

3.6.1.2 POTENCIA REQUERIDA DEL COMPRESOR

La estimación de la potencia de compresión se hará en base al análisis de la página 3-21 de la referencia (6) y la página 92 de la referencia (3). El número de etapas recomendado para el rango de 10 a 180 bar es de tres etapas, la razón de compresión total (r_t) está definida por la siguiente relación:

$$I_t = \left(\frac{P_i}{P_f} \right)$$

r_t = razón de compresión; p_i = presión inicial o de aspiración; p_f = presión final o de descarga.

La razón óptima teórica para la compresión entre etapas (r_s) está dada por:

$$I_s = \sqrt[s]{I_t}$$

s es el número de etapas

La potencia total será la suma de la potencia requerida para cada etapa. Se ha asumido una compresión politrópica y se considera al aire como gas ideal, en base a las prácticas realizadas en el Laboratorio de Energía y Fluidos, con un coeficiente politrópico determinado experimentalmente de $n = 1.34$. La relación de la potencia, con las consideraciones establecidas y considerando que la temperatura de ingreso en cada etapa es igual a la de aspiración y que la presión de descarga de una etapa es

igual a la de aspiración de la siguiente, sera entonces, adaptando una relación de la ref. (5) :

$$W = \frac{an\dot{m}RT_1}{1-n} \left[(r_t)^{\frac{n-1}{an}} - 1 \right]$$

a = número de etapas; n = coeficiente politrópico (1.34); r_t = razón total de compresión; R = Constante de aire (286.9 J/kgK); T_1 = temperatura de aspiración (30 °C)

Como se cuenta con un reservorio suficientemente grande y debido a que la demanda no es continua ni ciclica, la capacidad volumétrica del compresor estará sujeta a la disponibilidad de los modelos del mercado, sin embargo, como primera aproximación se asumirá una capacidad de 0.0-165 Nm³/s (35 cfm) que permitiría llenar completamente el reservorio en un lapso de una hora y cuarenta minutos. El rango de conexión y desconexión de los compresores, será función de la presión mínima requerida, que es la de arranque de los motores diesel, es decir no menor a 32 bar.

3.6.1.3 OPCIÓN a) COMPRESORES EN TIERRA Y RESERVORIO EN TIERRA Y PRESIÓN DE TRABAJO ENTRE 32 Y 60 bar

Esta opción se ha planteado en primer lugar porque tiene la ventaja de que en los trabajos de overhaul de cada uno de los submarinos, se han retirado y cambiado botellas de los grupos de aire que han sufrido un desgaste en su espesor, ya que esto compromete su operación a 250 bar. Este desgaste se ha medido por medio de un equipo portátil de ultrasonido. A fin de estimar la presión de operación segura para estas botellas, se empleará nuevamente la relación del código ASME. En primer lugar, y debido a que no se dispone de esta información, se estimará la resistencia del material de 34 CrMo del que están hechas las botellas (ver Anexo II). En el Anexo III se listan las mediciones realizadas en las botellas retiradas y las realizadas en una botella nueva y en cuatro botellas reemplazadas seleccionadas al azar. Los valores de espesores mínimos se presentan a continuación :

Botella reemplazada #1.....	14.08 mm.
Botella reemplazada #2.....	13.48 mm.
Botella reemplazada #3.....	12.3 mm.
Botella reemplazada #4.....	12.85 mm.

Botella nueva16.23 mm.

Con el espesor mínimo de la botella nueva y la presión de 250 bar se despeja la resistencia de la fórmula ASME, se obtiene un valor de 312.7 MPa. Con este valor y un espesor de 12 mm, menor al mínimo medido, se calcula la presión y se obtienen un valor de 123 bar, es decir, que las botellas removidas están en condiciones de soportar una presión de trabajo de 123 bar con igual margen de seguridad que una botella nueva. A manera de comprobación y para estimar de alguna manera el factor de seguridad, se ha calculado el esfuerzo de membrana hemisférico en la sección cilíndrica con la siguiente relación:

$$\sigma_h = \frac{p_i d_i}{2t}$$

σ_h = esfuerzo hemisférico; p_i = presión interna del recipiente; d_i = diámetro interior; t = espesor de la pared

Con el espesor de 16.23 mm y la presión de 250 bar se obtiene un esfuerzo hemisférico de membrana de 296.52 MPa.

El factor de seguridad definido por :

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_h} = \frac{312.7}{296.52} = 1.054$$

Con el espesor de 12 mm y la presión de 250 bar se obtiene un factor de seguridad de 0.76. Mientras que, con el espesor de 12 mm y el factor de seguridad de 1.054, la presión permisible resulta igual a 180.5 bar.

Del análisis anterior se concluye que las botellas removidas pueden ser sometidas sin problemas a una presión de trabajo de 123 bar. Una ventaja adicional al usar las botellas removidas, es que el reservorio puede ampliarse en el futuro si se da el caso de que se incremente la demanda de aire comprimido con el uso de herramientas neumáticas para mantenimiento de la cubierta o la instalación de elevadores neumáticos, en reemplazo de la grúa autopropulsada con que se cuenta actualmente para transporte de equipos al submarino.

Para el caso de la alternativa que se considera, $r_s = 3.94$ por lo que las presiones de trabajo teóricas para el compresor, suponiendo una presión de descarga de 60 bar isométrica (882 psig) serán las que se tabulan a continuación

<i>Tabla X .- Presiones entre etapas</i>		
ETAPA	PRESIÓN INICIAL (bar abs)	PRESIÓN FINAL (bar abs)
I	1	3.94
II	3.94	15.52
III	15.52	61

La potencia requerida será de 5.8 kW (7.73 HP)

3.6.1.4 OPCIÓN b) COMPRESORES EN TIERRA, SIN RESERVORIO, QUE ALIMENTEN DIRECTAMENTE LOS GRUPOS DE AIRE DEL SUBMARINO

Esta opción no presentaría restricciones en cuanto al uso de los consumidores. Para este rango de compresión se recomiendan cuatro etapas, las que, de acuerdo a las relaciones enunciadas, darían presiones a 3.98, 15.82, 62.99 y 250 bar, que corresponden aproximadamente a las presiones de descarga en las etapas de los compresores instalados actualmente a bordo. La potencia calculada de compresión para esta opción sería de 7.8 kW (10.4 HP). En relación a la potencia requerida por la opción anterior, parecería que no hay mucha razón para considerar una opción diferente a esta, pero, si se examinan los datos de los compresores instalados, se observará que éstos requieren de una potencia de 39 HP (29 kW). Este exceso, aparte de la

mayor capacidad de los compresores de abordó ($0.02 \text{ Nm}^3/\text{s}$ frente a los $0.0165 \text{ Nm}^3/\text{s}$ considerados) se explica porque en este caso, para cuatro etapas de compresión, ya no son aproximadas las consideraciones de la ecuación planteada, principalmente por la diferencia de temperaturas a la succión de las etapas que son considerablemente mayores a la temperatura ambiente.

3.6.1.5 OPCIÓN c) COMPRESORES EN TIERRA Y RESERVORIO EN TIERRA. PRESIÓN DE TRABAJO DE 250 BAR

Para dimensionar el tanque se consultó al Ingeniero Carlos Merchán de "Industria Acero de los Andes" de Quito, empresa especializada en la manufactura de tanques de presión bajo el código ASME. Aplicando la fórmula de espesor del Código ASME con un acero SA 516 de 17.5 Kips/sq.in. de resistencia, el espesor estimado para un tanque cilíndrico de 10 pulgadas de radio, con tapas esféricas, y una presión de 250 bar, fue de 2.4 pulgadas (61.03 mm). Un tanque de este espesor no puede ser fabricado en el país, por las limitaciones de la roladora con que se cuenta. Se podría aplicar un diseño de placas superpuestas pero esa tecnología está disponible en Brasil. Ante esta situación, se ha decidido eliminar la alternativa c), por considerar que sus requeri-

mientos no cumplieran la condición de buscar una alternativa más económica para el suministro de aire.

En la Figura 30 se muestran esquemas de las alternativas a considerar para la instalación de la planta.

3.7 SELECCIÓN DE COMPRESORES

Las características que hasta el momento se han especificado para los compresores son:

- Capacidad : 0.0165 Nm³/s (35 cfm)
- Presión de descarga : 60 bar (alternativa a) y 250 bar (alternativa b)
- Número de etapas : depende del compresor, de preferencia 3 para la alternativa a) y cuatro para la alternativa b)

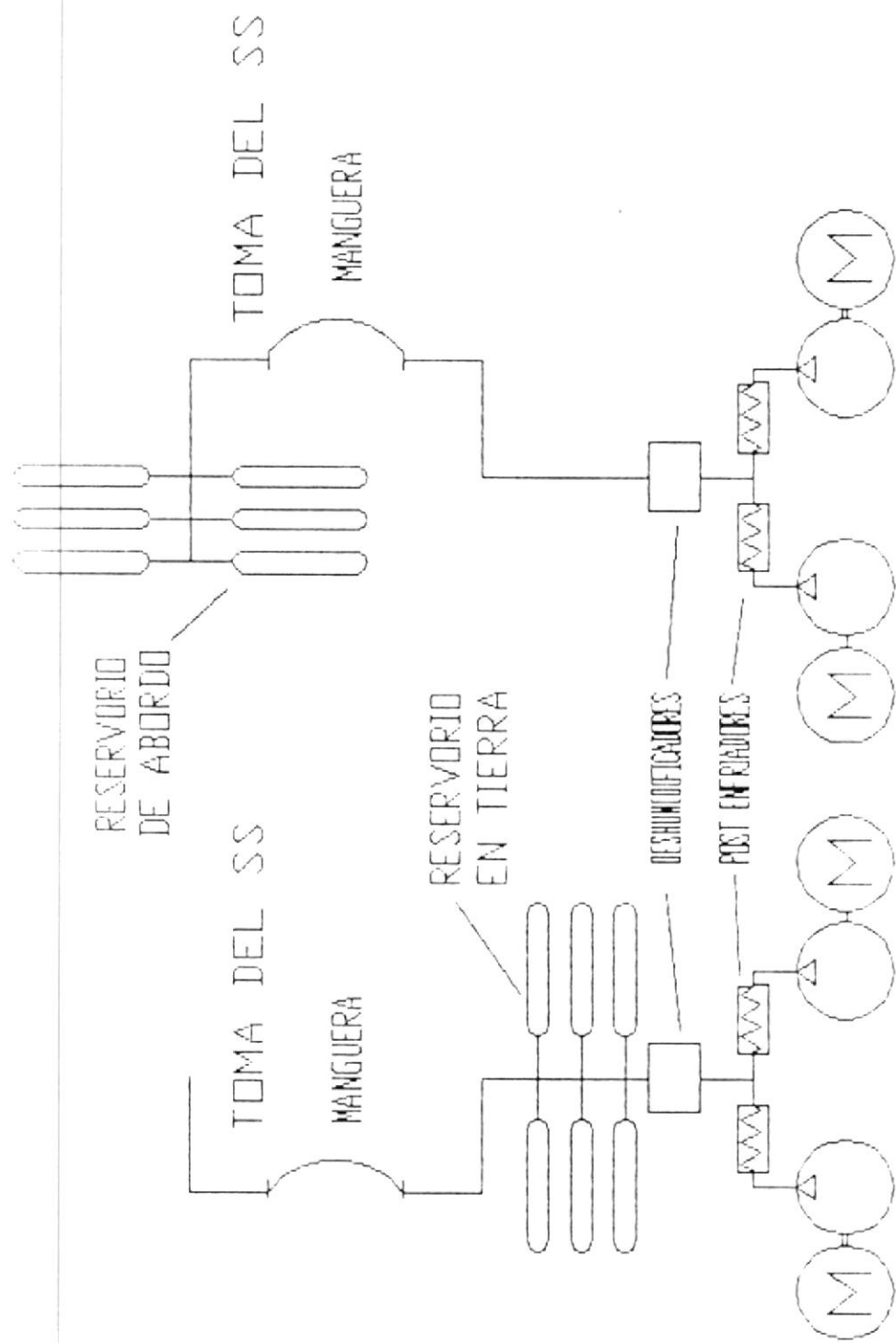
Con estas especificaciones se investigó en el mercado local, concretamente en "La Llave S.A." que presentó, con fecha 25 de Mayo/93 la siguiente oferta:

- 1) Compresor tipo T30 modelo 16SR enfriado por aire:

Capacidad: 36.8 cfm (0.0187 Nm³/s)

Número de etapas : cuatro

Presión de descarga: regulable de 5000 hasta 6000 psig
(408 bar).



ALTERNATIVA A

$p = 60 \text{ bar}$

ALTERNATIVA B

$p = 250 \text{ bar}$

FIGURA 30.-

OPCIONES PARA SELECCION DE PRESION DE TRABAJO

Equipo estándar: Indicador de alta temperatura, indicador de bajo nivel de aceite. Sistema automático de conexión y desconexión. Trampa estándar de descarga de condensado. Motor eléctrico estándar de 65 HP

Costo : USD 21 856 (FOB Miami)

Arrancador eléctrico : Costo USD 462 (FOB Miami).

COSTO TOTAL : USD 22 318 (FOB Miami)

2) Compresor tipo T30, modelo 15T2, enfriado por aire:

Capacidad: 30.8 cfm (0.0145 Nm³/s)

Número de etapas: tres

Presión de descarga: 1000 psig (68 bar)

Equipo estándar: Indicador de alta temperatura, indicador de bajo nivel de aceite. Sistema automático de conexión y desconexión. Trampa estándar de descarga de condensado. Motor eléctrico estándar de 15 HP

Costo : USD 8 542 (FOB Miami)

Arrancador eléctrico : Costo USD 291 (FOB Miami).

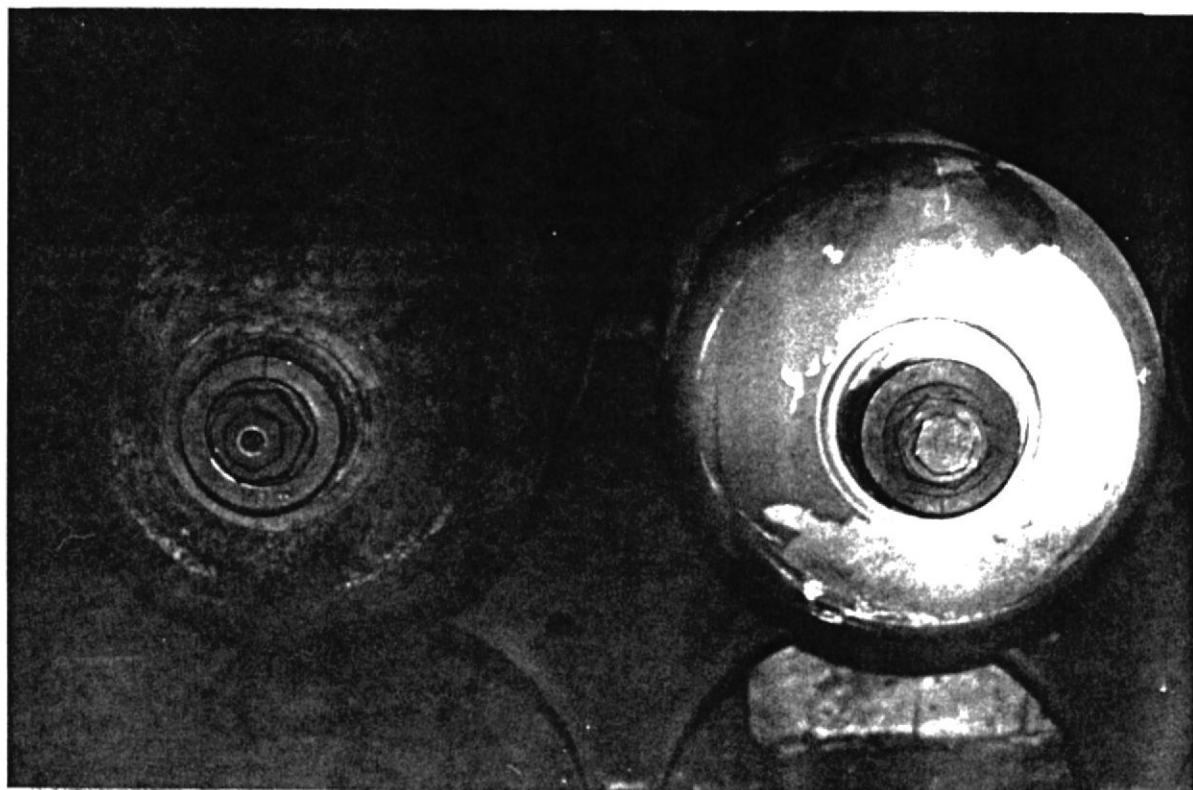
COSTO TOTAL : USD 8 833 (FOB Miami)

Como referencia, el costo de un compresor instalado abordo es de 190 000 DM que equivalen a USD 120 000 a la cotización del 26 de Mayo/93.

De la propuesta presentada, se decide seleccionar la del compresor tipo T30 modelo 15T2 de 1000 psig, por considerarla la más conveniente para el objetivo de esta tesis.

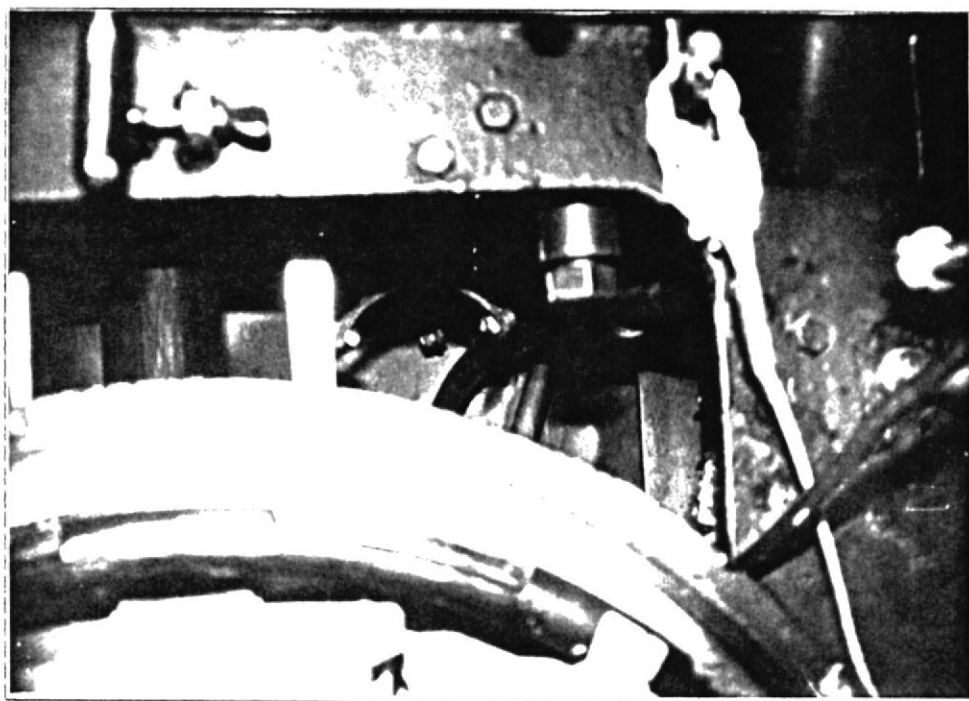
3.8 SELECCIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS

El criterio de selección de tuberías esta dirigido a analizar el efecto del flujo compresible. Concretamente a evitar la posibilidad de que el flujo se estrangule y no pueda satisfacer la demanda del sistema. Como referencia se ha tomado el diámetro de la tubería interior de la toma para carga del exterior instalada en el submarino que es de 16 mm. En el comercio local, es más fácil el adquirir tubería con medida americana, por ello, se ha considerado el uso de tubería de 3/4" cédula 80 que tiene un diámetro interior de 18.85 mm (4), lo que haría necesario la fabricación de acoples para las botellas (ver Fig. 31) y para las mangueras de conexión a la toma exterior (Fig. 32). En éstos se debe poner especial atención al material para evitar posibles pares bimetalicos que favorezcan la corrosión, de preferencia debe usarse el mismo acero del tubo o en su defecto acero inoxidable.



Acople hembra en una de las botellas, en la de la derecha aparece cubierto con un tapón roscado.

- FIGURA 31 -



Toma para carga de aire del exterior ubicada en la vela, detrás de la escotilla del puente

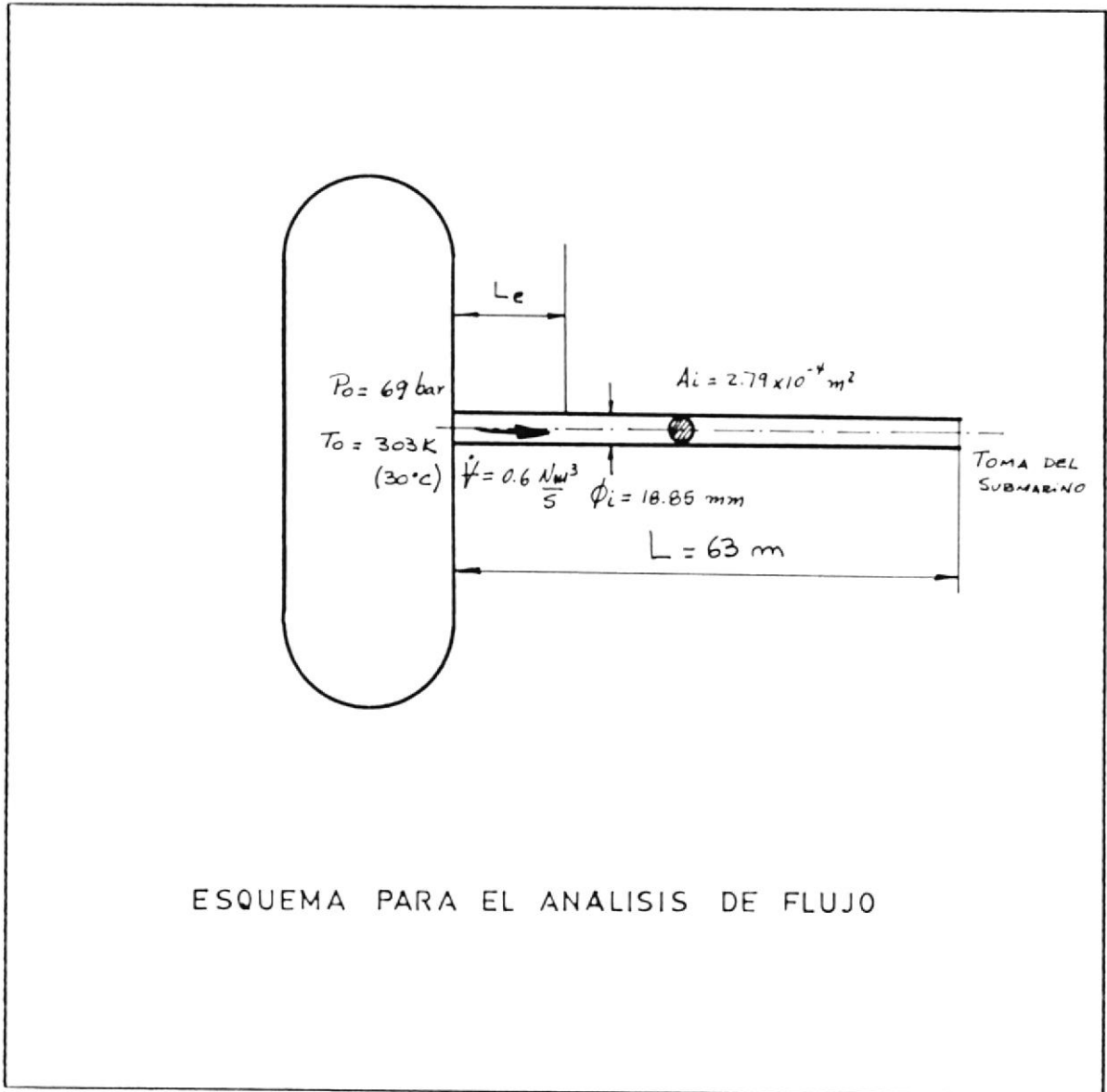
- FIGURA 32 -

3.8.1 ANÁLISIS DEL FLUJO

Para analizar el flujo se ha idealizado el sistema como se muestra en el esquema de flujo de la página 96, las condiciones de estancamiento en las botellas están representadas por $P_0 = 69$ bar absoluto y $T_0 = 30$ °C (303 K), se ha considerado una longitud de tubería igual a la distancia total desde la ubicación seleccionada para la planta y la toma de carga del submarino atracado exteriormente, ésta es una primera aproximación, pues de momento no se ha considerado la longitud equivalente de los accesorios. En la longitud de manguera considerada se ha tomado en cuenta la variación del nivel por efecto de las mareas (Un máximo de 4.8 metros de acuerdo a las tablas de mareas publicadas por INOCAR ref. 7)

El caudal en condiciones estándar se ha transformado a las condiciones de trabajo del recipiente en base a la ecuación general de los gases:

$$\dot{V}_2 = \frac{P_1 \dot{V}_1 T_2}{T_1 P_2}$$



El flujo a 69 bar (1014.7 psia) y 303 K será entonces de $0.0091 \text{ m}^3/\text{s}$, que dividido por el área del tubo de 3/4 da como resultado una velocidad de 32.79 m/s correspondiente a un número de Mach de 0.094 a la temperatura de 30°C . Esta

velocidad se alcanzará una vez que el flujo se desarrolle, por ello, con la velocidad, el diámetro interior y una viscosidad cinemática de $1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ se calcula un número de Reynolds igual a 4.7×10^4 , el que sirve para calcular la longitud de entrada en base a la relación 6.6 de la página 339 de la referencia (14):

$$\frac{L_e}{d} \approx 4.4 Re_d^{\frac{1}{6}}$$

la longitud de entrada resulta igual a 0.50 m, en esta corta distancia las propiedades no se ha alterado mayormente, como lo demuestran las propiedades estáticas obtenidas de las tablas de flujo isentrópico (10) para aire: $p= 68.57 \text{ bar}$, $T=302.45$ y la densidad igual a 80.04 kg/m^3 , lo que hace válida la aproximación inicial de estimar la velocidad y el número de Mach con las condiciones de estancamiento.

Para verificar si el flujo llega a estrangularse, con el valor de Mach de 0.094 se halla el valor del parámetro de fL_{max}/D de las tablas de flujo de Fanno que es igual a 76.87 . Como el valor del coeficiente de fricción f es el de Fanno y es igual

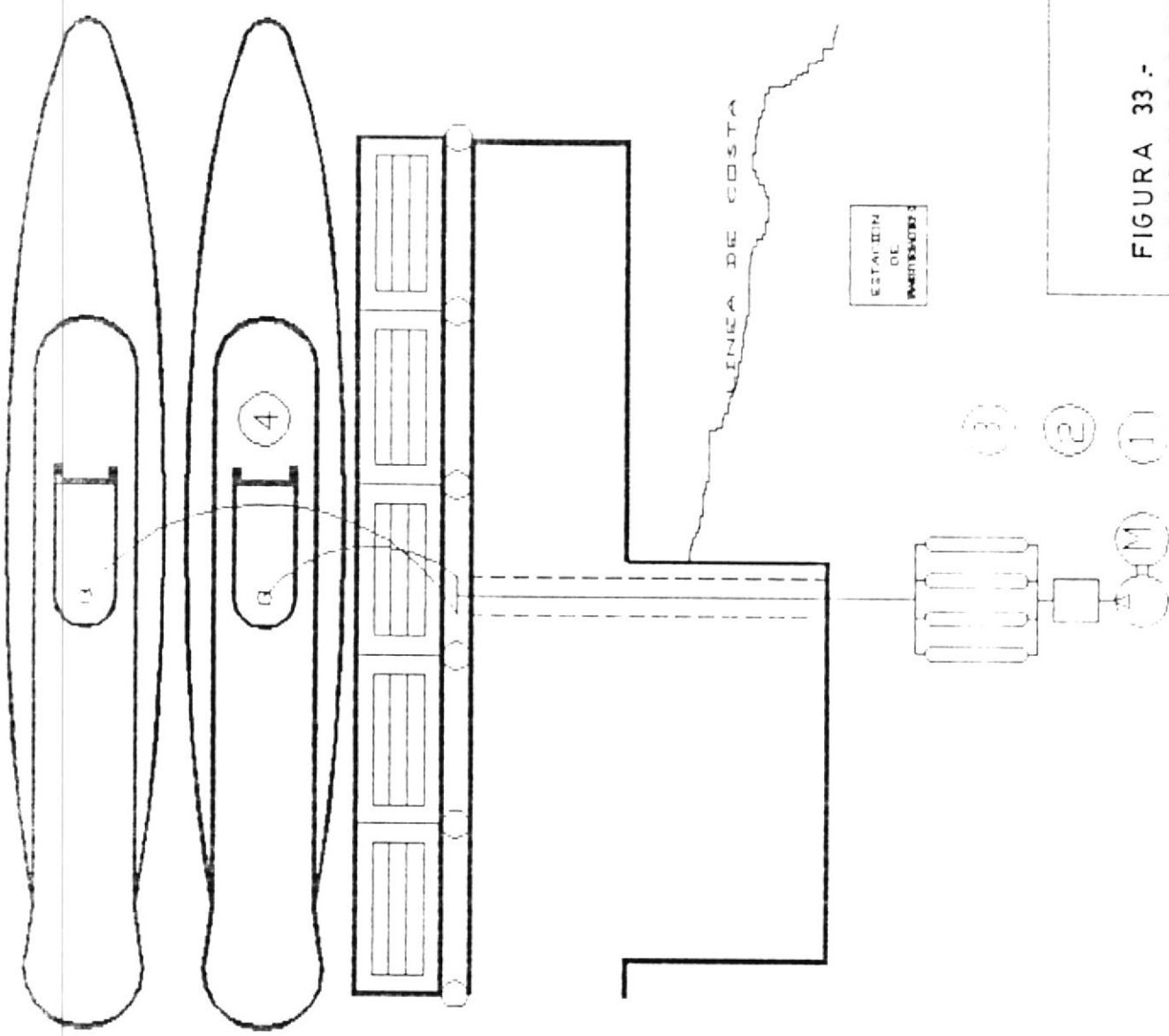
a cuatro veces el coeficiente de fricción de Moody, con Re y una rugosidad relativa de 0.05 mm para el acero comercial, se obtiene del diagrama de Moody un $f_{\text{Moody}}=0.029$ y un $f_{\text{Fanno}}=0.00725$. Con este valor se obtiene una $L_{\text{max}}=200$ metros que indica que el flujo no llegará a estrangularse hasta la toma de carga exterior del submarino, también da un cierto margen para el uso de accesorios, toda vez que se puede disponer de cerca de 135 metros de longitud equivalente.

3.8.2 ACCESORIOS

La pérdida de presión en los accesorios se realizará en base a las longitudes equivalentes del nomograma de la figura 43, página 3-130 de la referencia (8). Las que se listan en el Anexo VI.

La disposición de la planta queda como se muestra en la Figura 33, se usarán, inicialmente, las cuatro botellas cuyos espesores constan en el Anexo III. Para las que se construirán soportes similares a los mostrados en las fotografías de los acoples de las botella, hay que cuidar, si en el futuro se amplía la planta, que al disponer verticalmente las filas de botellas, el peso no sea soportado por las botellas, sino que éste debe ser transmitido hacia los soportes, pues, de otro modo, la botella estará sometida a esfuerzos no

considerados en su diseño, que sumados a la expansión volumétrica que experimenta pueden dañar al recipiente comprometiendo la seguridad de la planta.



1	COMPRESOR
2	DESHUMIDIFICADOR
3	RESERVOIRIO
4	MANGUERAS DE CONEXION

FIGURA 33.-
DISPOSICION FINAL DE LA PLANTA

3.8.3 CALCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN

Considerando los siguientes accesorios: cuatro T, dos codos, tres válvula de globo, una válvula antiretorno (check) más las contracciones al salir de la botella y en la toma del submarino, se tiene una longitud total de 81 metros, para estimar la caída de presión, se utilizará la correlación empírica de Weymouth de la página 3-159 de la referencia (8):

$$\Delta P = \frac{s l Q^2}{1572 p_c d^{16/3}}$$

s = gravedad específica del gas respecto al aire estándar; l = longitud de la tubería (millas); Q = caudal de aire libre (ft³/h), presión de ingreso de la tubería (psia), d = diámetro interior (in)

La caída de presión así calculada da 64.2 bar, que se comprueba con los 56.27 bar que resultan aplicando la fórmula de Darcy. Por lo tanto, y dado que se requiere que lleguen por lo menos 32 bar a la toma del submarino, se hace necesario cambiar el diámetro de la tubería, usando la correlación de Weymouth con una caída de presión de 5 bares, se obtiene un diámetro de 29.62 mm por lo que se selecciona un tubo cédula 80 de 1 1/2 pulgadas norma ANSI B 3610:1970 (4) que tiene un diámetro interior de 38.1 mm, con este diámetro, la velocidad media viene a ser de 7.98 m/s y el número de Mach igual a

0.023 y la longitud máxima para estrangulamiento resulta ser de 7.053 Km y la caída de presión para la nueva longitud total de 130 metros, considerando las longitudes equivalentes de la tabla 11, es de a 33.95 psi (2.3 bar).

La presión a la entrada de la toma del submarino es entonces de 66.7 bar(abs). Considerando esta presión de entrada y la tubería de 16 mm entre la toma para carga del exterior y los manifold del central para distribución del aire en el sistema del submarino, se calcula la caída de presión, los accesorios son: seis codos, una expansión en el manifold, el flujo a considerar será el requerido para soplar los tanques de lastre, ya que con flujos menores, la caída de presión será menor. El flujo considerado es $0.6 \text{ Nm}^3/\text{s}$ y la longitud total de 15 metros, la caída de presión es de 27.6 bar. Es decir, que cuando se soplan los tanques de lastre, la presión máxima disponible será aproximadamente de 40 bar(abs). En el caso de el arranque de los motores diesel, el flujo requerido es mucho menor, por lo tanto, la caída de presión será menor, y llegará con más de 40 bar(abs) al manifold. Como la presión para el arranque es de 32 bar, no se suscitarán problemas en esta condición.

3.8.4 EQUIPOS Y SISTEMAS COMPLEMENTARIOS

El objetivo de esta sección es el de especificar los requerimientos de calidad de aire, específicamente los del secador de aire. La norma de los submarinos de la Armada Americana contempla que el aire comprimido para el servicio en los submarinos debe tener un punto de rocío atmosférico de - 60 °F para los sistemas de alta presión, sobre las 1000 psig, (página 7, referencia 13). Esta exigencia esta relacionada con las bajas temperaturas que deben soportar las botellas de estos buques en los climas árticos, en los que fácilmente alcanzarán temperaturas de - 30 °C a las que la humedad acumulada en tanques y tuberías que se solidifica puede dañar los sistemas. Para el presente caso, que estima una temperatura ambiente de 30 °C, se ha establecido un punto de rocío de -20 °F (-29 °C) atmosférico que asegurará que no se produzcan condensaciones en las botellas del reservorio ni en las tuberías.

De la carta de "Contenido de Agua de Aire Saturado" de la página 8 de la referencia (13), incluida en el Anexo IV, se puede observar que a 30 °C (86 °F) el aire saturado contiene 0.03 libras de agua por libra de aire seco, mientras que a 69 bar absoluto (1014.6 psia) contiene únicamente 0.0008 libras

de agua por libras de aire seco, es decir que considerando la capacidad del compresor de 30.8 cfm ($0.0145 \text{ m}^3/\text{s}$ ó 0.024 kg/s) se condensan 1.15 kg de agua por hora. De modo que, para llegar al punto de saturación establecido de $-29 \text{ }^\circ\text{C}$ atmosférico ($-20 \text{ }^\circ\text{F}$) sería necesario que el secador retire al menos 1.17 kg de agua/h, o en otras palabras, el aire en el reservorio no debe contener más de 0.00015 libras de agua por libra de aire seco. Con esta condición se protegerá adecuadamente al sistema.

3.8.5 JUNTAS Y ELASTOMEROS

De preferencia, deberán usarse uniones soldadas entre los accesorios y la tubería, excepto en las válvulas, para facilitar su mantenimiento. Si por alguna razón, en la construcción de la planta, por ejemplo cuando sea necesario unir dos componentes que pueden desarrollar corrosión, se hace necesario el uso de uniones con bridas, éstas deberán en lo posible usar anillos de caucho (O'rings) (13) para sellar la junta o en su defecto, someterse a la norma ASA E16.5-1961 (8) o equivalente de uniones de brida para ser soldadas a la tubería. Respecto a los elastómeros a usar, el aire, en general, no presenta un comportamiento especialmente agresivo respecto a los materiales usados, sin embargo es recomendable

el uso de Etileno - propileno (E540-80) para los anillos de caucho (ref. 11).

3.9 SÍNTESIS DEL DISEÑO

A continuación se lista los requerimientos finales de la planta diseñada :

Capacidad : 0.6 Nm³/s

Presión de descarga : 69 bar absoluto (1014.7 psia)

Reservorio : 4 botellas x 340 l = 1.36 m³

Compresor : Ingersoll - Rand tipo T30, modelo 15T2, enfriado por aire.

Capacidad: 30.8 cfm (0.0145 Nm³/s)

Número de etapas: tres

Presión de descarga: 1000 psig (68 bar)

Equipo estándar: Indicador de alta temperatura, indicador de bajo nivel de aceite. Sistema automático de conexión y desconexión. Trampa estándar de descarga de condensado. Motor eléctrico estándar de 15 HP

Tubería : ANSIB36.10:1970 DE 1 1/2 " cédula 80 (Aprox 50 metros)

Válvulas : Tipo globo, por su menor caída de presión y por la seguridad al manipular las botellas.

Secador : Con punto de rocío de -20 °F (-29 °C)

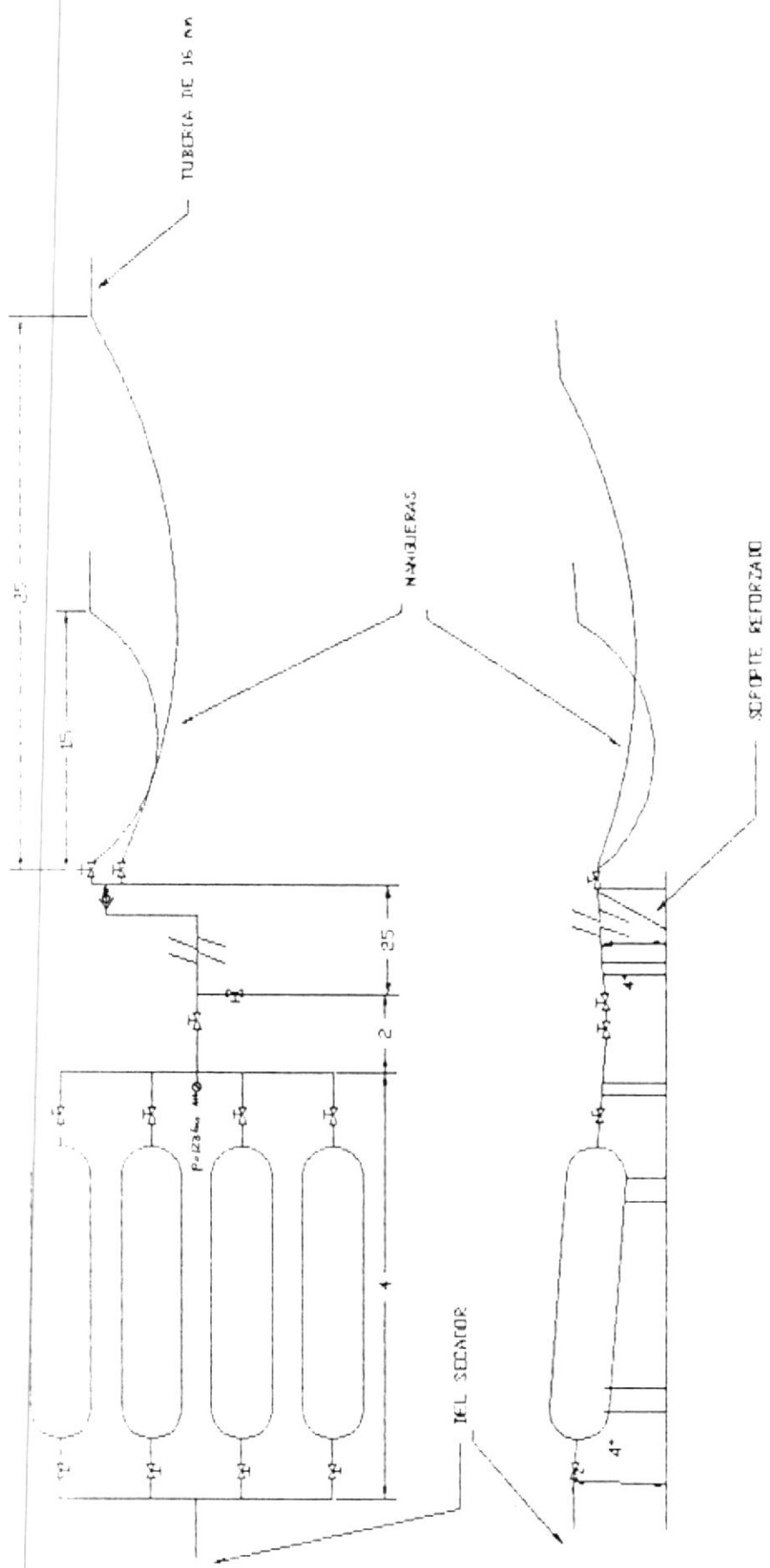
3.9.1 CONSIDERACIONES ADICIONALES

En la instalación de la Planta debe contemplarse una futura expansión, con tomas de aire en el muelle, botellas adicionales en el reservorio y un segundo compresor. Además, según se aprecia en el plano final de la figura 34 se ha concebido la instalación de las botellas con válvulas a la entrada y a la salida que permitirá desmontarlas para inspección o recambio sin paralizar la planta. Se han colocado dos válvulas a la salida de las botellas, la primera para aislarlas y la segunda para poder drenar la tubería y manguera antes de desconectarla del submarino, el drenaje debe contar con un silenciador para amortiguar el ruido por la descarga de la tubería. La válvula antiretorno ubicada antes de las tomas de conexión en el muelle es fundamental para la seguridad de la planta pues impide que por cualquier circunstancia, la presión de servicio del submarino de 250 bar llegue a la planta en el muelle, de igual forma, se han colocado dos válvula de seguridad, una a la salida del compresor y otra a la salida de las botellas para protegerlas de cualquier sobrepresión, la regulación de estas válvulas, será en el caso del compresor, proporcionada por el fabricante y en las botellas no debe exceder los 123

bar que es la presión máxima calculada que resisten con seguridad las botellas.

El rango de conexión y desconexión de los compresores, está determinado por la mínima presión que debe suministrarse al submarino que es de 32 bar para el arranque de los motores diesel. Este rango deberá ser ajustado cuando la planta se construya, pero como referencia, se puede considerar una presión de conexión de 40 bar y una de desconexión de 70 bar, lo que daría un tiempo entre desconexión y conexión de 68 segundos al régimen máximo de descarga de $0.6 \text{ Nm}^3/\text{s}$, y de 47 minutos para volver a conectar, es decir un ciclo de 48 minutos en la condición extrema que se producirá dos veces al día, cada vez que uno de los submarinos sople los tanques de lastre. Una ventaja de contar con botellas disponibles para el reservorio, es que se puede colocar cuantas sean necesarias para obtener el ciclo de trabajo más apropiado para el compresor.

Otra consideración importante es la inclinación de las botellas y del tramo más largo de la tubería a fin de facilitar el drenaje de condensaciones. Además se debe considerar la expansión térmica de la tubería permitiendo un juego en sentido axial en el soporte del acople entre la tubería y la manguera (8).



LA INCLINACION DE LAS BOTELLAS Y TUBERIAS ES PARA FAVORECER EL DRENAJE DE CONDENSACIONES

FIGURA 34.-
PLANO FINAL DE LA PLANTA

CAPITULO IV

4 ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 COSTO DE LA PLANTA

En esta sección se estima un presupuesto total para la construcción de la Planta, en la Tabla XI se listan los items cotizados :

<i>Tabla XI .- Costo de los materiales</i>			
MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO USD	COSTO TOTAL USD
Compresor	01	8 833	8 833
Secador	01	8 000 *	8 000
Tubería de 1 1/2"	50 m.	10.91 /m	545.5
Manguera de 1 1/2"	30 m.	43.59 /m	1 307.7
Codos	15	50 *	750
Uniones T	15	50 *	750
Uniones universales	15	50 *	750
Válvulas	20	239	4 782.1
Otros (Manómetros, acoples, etc.)		122	1 000.0
		TOTAL	26 718.2

Los asteriscos indican valores estimados, las cotizaciones se realizaron en "La Llave S.A." (D. Comin 1115 y la M/442500) y en el caso de las mangueras y acoples en "Chiriboga y Jara" (Quisquis 1012 y G. Moreno/398839).

Para determinar un presupuesto estimado de construcción se incluye un 50% de costo adicional por concepto de mano de obra y un 30% sobre el valor final por imprevistos. El costo total de la Planta se estima entonces en USD 52 084.5

4.2 COMPARACIÓN DE COSTOS

En la comparación de costos se empleará el concepto de Valor Actual (VA) (12) expresado en anualidades para poder comparar la opción planteada y la instalación actual. La relación es la siguiente :

$$C = \frac{VA \cdot r}{1 - \frac{1}{(1+r)^t}}$$

C= anualidad; VA= valor actual; r = costo del capital; t= número de años

Dentro de los materiales cotizados, se debe diferenciar la vida útil estimada de la instalación que está proyectado para 10 años

y el la del compresor que se estima en 5 años, considerando la experiencia de los compresores de abordó. Bajo este enfoque, el valor actual de la instalación y el de los compresores se han anualizado por separado. En la Tabla XII se resumen las anualidades calculadas, con un costo de oportunidad del capital del 10% :

<i>Tabla XII .- Comparación de Costos anualizados (USD)</i>			
ITEM	VALOR ACTUAL	PERÍODO DE VIDA	ANUALIDAD
Instalación de la Planta Propuesta	43 251.5	10 años	7 038.98
Compresor para la Planta propuesta	8 833	5 Años	2 330.12
TOTAL PARA LA PLANTA PROPUESTA :			9 369.10
Renovación de 1 de los 4 compresores para la instalación de abordó	120 000	5 Años	31 680.00

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

5.1.1 El objetivo de la tesis se ha cumplido, se ha presentado una alternativa más económica para el suministro de aire a los submarinos, sin comprometer la operación de los equipos de abordaje que se usan normalmente en puerto.

5.1.2 El ahorro, considerando los resultados de la tabla XII, resulta ser de alrededor del 300 %, pero solamente considerando la renovación de uno de los cuatro compresores (dos por cada submarino) que en la práctica si se renuevan, aproximadamente cada cinco años. En este caso, el ahorro es aún mayor (1200 %)



5.2 RECOMENDACIONES

5.2.1 Se ponga a consideración de las Autoridades Navales el presente trabajo a fin de que se lo examine y, de ser el caso, se permita la construcción del sistema propuesto.

5.2.2 La construcción y operación de la planta deben considerar las recomendaciones que a lo largo del presente trabajo se han establecido, entre las más importantes se mencionan :

5.2.2.1 Mantener los diámetros establecidos en mangueras y tuberías.

5.2.2.2 Se debe diseñar los soportes de las botellas en consideración a futuras expansiones en la capacidad de la planta (ver sección 3.6.2 p 98).

5.2.2.3 Se debe evitar pares metálicos que favorezcan la corrosión galvánica. El plan de pinturas par las botellas debe ser el mismo que se ha mantenido para los grupos de aire 2 y 3 de los submarinos.

- 5.2.2.4 Antes de la conexión y desconexión de las mangueras a la toma del submarino se debe verificar que toda la tubería esté drenada (sin presión). Además, durante los primeros 60 segundos, después de la conexión, se debe dejar escapar el aire de la planta de tierra por los drenos del manifold de 250 para purgar las condensaciones en la tubería y manguera.
- 5.2.2.5 Al adquirir la tubería, accesorios, mangueras y en general, todos los equipos, se debe exigir garantía al vendedor de que dichos materiales soportan las presiones de trabajo y cumplen con las normas establecidas en este trabajo o sus equivalentes.

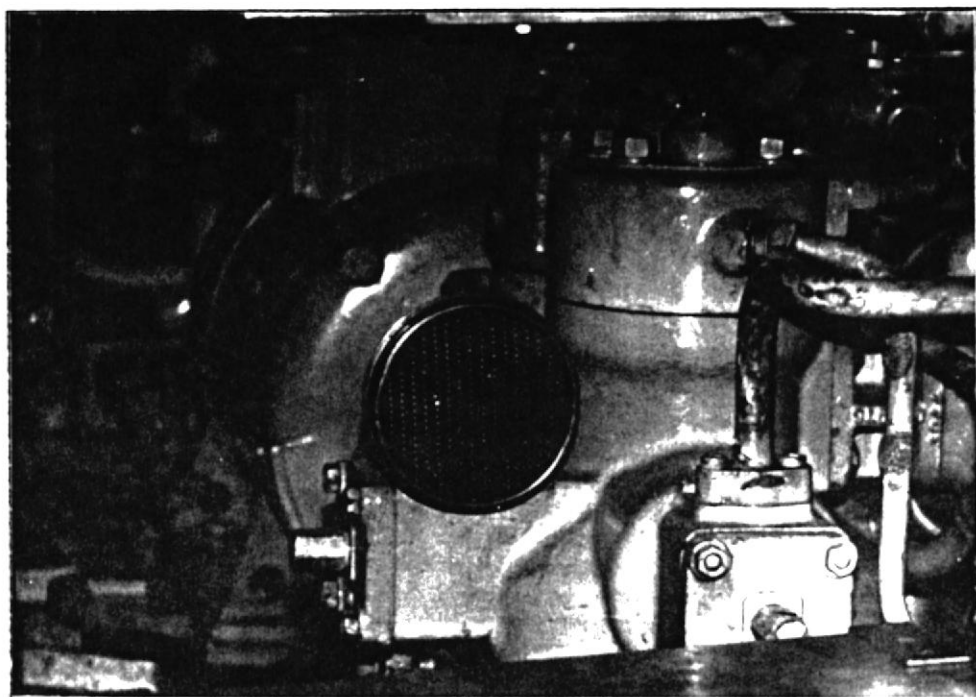
ANEXOS

ANEXO I .- CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SUBMARINO U - 209

- * Eslora total: 59.32 m
- * Eslora entre perpendiculares : 58.167 m
- * Manga máxima : 6.246 m
- * Calado medio : 5.2 m
- * Altura total desde el borde inferior de la quilla hasta el borde superior de la vela : 11.246 m
- * Eslora del casco resistente : 45.16 m
- * Diámetro del casco resistente : 6.20 m
- * Espesor de las planchas del casco resistente : 23 mm
- * Separación entre cuadernas del casco resistente : 430 mm
- * Desplazamiento estándar : Aprox. 1100 T
- * Desplazamiento en superficie (listo para inmersión) : 1265 Toneladas
- * Desplazamiento en inmersión : 1396 T
- * Altura metacéntrica en superficie mínima : 300 m
- * Altura metacéntrica en inmersión, referida al desplazamiento en superficie, mínima : 350 mm

ANEXO II .- CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

COMPRESOR DE AIRE:



Compresor instalado abordo

Características de la Máquina :

- * Marca: J.P. Sauer u. Sohn, Kiel.
- * Modelo: WP 4253
- * Serie: 80151
- * Potencia requerida: 39 HP
- * Número de cilindros: 2

- * Numero de etapas: 4
- * Carrera de pistones: 90 mm.
- * RPM: 750
- * Presión de trabajo: 250 Kg/cm²
- * Capacidad de succión: 80 m³/h
- * Operación: a través de correas trapezoidales
- * Longitud total: 1030 mm.
- * Altura total: 1260 mm.
- * Ancho total: 715 mm.
- * Enfriadores después de cada etapa: Intercambiadores de calor en contra-corriente.

Motor Eléctrico :

- * Marca: Siemens - Schuckert Werke
- * Modelo: 1GA 9175
- * Serie: G-12924
- * Corriente: CD
- * Voltaje: 200/290 VDC.
- * Potencia: 24.5/34.4 Kw.
- * RPM: 1660/2200
- * Forma de construcción y clase de protección: B 3/P 22 Caja de bornes P44
- * Envuelta: Insensible a la inundación

* Relación entre las correas trapezoidales: 1 : 2.54

Presiones : 1a. etapa: 2.5 Kg/cm²

2a. etapa: 10 Kg/cm²

3a. etapa: 50 Kg/cm²

4a. etapa: 250 Kg/cm²

Temperaturas : Agua de refrigeración: Máx 40 °C

BOTELLAS DE LOS GRUPOS DE AIRE

- * Capacidad : 340 litros
- * Longitud : 3100 ± 50 mm
- * Diámetro : 419 mm
- * Presión de trabajo : 250 bar
- * Presión de prueba: 375 bar
- * Material : 34CrMo4
- * Peso por botella: 480 Kg

ANEXO III .- MEDICIONES DE ESPESOR EN LAS BOTELLAS REMOVIDAS DE LOS GRUPOS DE ABORDO

MEDICION DE ESPESORES EN LAS BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO DEL SUBMARINO HUANCABILCA

BOTELLA #1 SERIE 76/49630 - Espesores en mm - Espesor minimo: 14.08 mm

21.00	23.46	22.38	22.08	23.10	23.30	24.50	25.70	26.10	24.76	24.95	26.29	23.28
18.31	18.22	17.88	18.30	18.90	20.40	19.30	21.20	21.30	20.51	20.79	20.38	18.88
16.23	16.07	15.65	15.92	16.20	16.20	15.40	16.60	17.10	17.40	18.30	18.06	17.20
16.05	15.90	15.12	15.72	15.46	14.98	15.24	15.81	17.32	17.38	17.72	16.70	16.71
15.67	15.41	15.49	15.20	15.90	15.15	16.00	15.52	16.16	17.63	17.79	16.40	16.41
15.85	15.12	15.33	15.61	15.56	15.48	15.30	15.22	16.20	17.68	17.36	16.36	16.11
16.14	15.37	15.75	15.30	15.18	15.43	15.94	15.08	16.35	17.34	16.92	17.00	16.73
16.32	15.44	15.92	15.20	14.82	15.51	15.40	15.20	16.18	17.09	16.94	17.17	16.76
16.07	15.80	15.72	15.36	14.72	15.56	15.22	15.64	16.49	16.15	17.36	17.47	16.61
16.20	15.93	15.29	15.38	15.28	16.08	15.31	16.00	16.10	16.52	17.69	17.78	16.22
16.13	15.88	15.36	15.34	15.15	14.86	15.50	16.34	16.25	16.34	17.42	16.86	16.54
16.50	16.40	15.67	15.86	14.79	14.82	15.88	15.51	16.45	16.46	17.32	16.59	16.73
16.46	15.59	16.07	15.30	15.19	14.45	15.52	15.64	16.89	16.71	17.10	16.81	17.20
16.55	15.58	16.08	15.79	15.51	14.40	15.82	16.00	16.91	16.80	16.77	16.81	17.21
16.67	15.56	16.08	15.08	15.17	14.68	15.43	16.20	16.54	16.67	16.15	17.26	17.15
16.84	15.77	15.93	15.45	15.21	14.63	15.52	15.95	16.41	16.57	16.41	17.13	16.57
16.40	16.00	16.20	15.61	15.58	14.38	15.19	15.54	16.98	16.63	16.30	17.16	16.49
17.43	15.91	15.74	15.97	15.40	14.28	14.30	15.74	15.75	17.09	16.77	17.22	16.86
17.63	16.32	15.42	15.58	15.12	14.08	14.35	15.60	15.76	17.42	17.10	17.63	16.92
17.28	16.39	15.35	15.56	14.57	14.45	14.51	15.84	16.19	17.50	17.00	16.90	17.66
17.40	16.29	15.45	15.66	14.35	14.38	15.04	15.12	16.13	17.74	16.86	16.77	17.36
16.45	16.62	15.72	15.76	15.06	15.23	14.52	15.16	16.12	17.40	16.52	16.86	17.03
16.50	16.83	15.95	15.90	15.33	14.64	14.36	15.17	16.00	17.24	16.63	16.44	17.49
16.80	16.96	15.64	15.67	14.52	14.83	14.24	15.58	15.14	16.45	17.25	17.26	17.53
16.74	17.30	15.75	15.50	14.49	15.21	14.13	14.33	15.46	16.54	17.53	17.35	17.52
17.21	17.00	15.70	15.62	14.57	14.56	14.33	15.25	15.41	16.73	17.14	17.00	17.45
17.35	16.93	15.53	16.11	15.10	14.42	14.49	14.31	15.83	17.35	17.22	16.70	17.36
16.83	16.40	16.18	15.82	15.60	14.77	14.25	15.25	15.35	16.39	17.39	16.71	17.80
18.42	17.26	16.47	15.56	16.32	16.10	15.32	15.13	15.50	17.36	18.11	18.20	18.36
22.05	20.89	20.94	19.08	19.83	19.01	18.97	18.75	18.74	19.70	20.70	20.79	21.23
27.92	25.96	26.70	25.48	26.10	23.11	21.94	24.59	25.24	25.70	26.77	26.43	27.20

MEDICION DE ESPESORES EN LAS BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO DEL SUBMARINO HUANCABILCA

BOTELLA #2 SERIE 76/49621 - Espesores en mm - Espesor minimo : 13.48 mm

22.82	22.11	22.00	22.11	23.50	22.13	22.35	23.00	23.06	23.25	22.80	22.53	22.00
17.56	18.20	18.03	19.35	17.60	18.73	17.47	19.82	18.45	18.97	18.80	18.67	17.53
15.05	14.84	14.25	14.85	15.14	15.23	15.35	15.88	15.20	15.84	15.18	15.48	14.62
14.00	14.05	14.17	14.17	14.29	14.38	15.35	15.33	15.18	15.52	15.54	14.30	14.58
14.00	14.44	14.18	14.03	14.30	15.36	14.77	14.96	15.16	15.15	15.04	15.03	15.31
14.13	14.36	14.00	13.48	14.64	14.80	14.75	14.93	14.90	15.00	15.01	15.05	14.60
14.34	14.50	14.42	13.60	14.50	14.63	15.00	14.78	15.04	14.67	15.08	14.97	14.05
14.64	15.08	14.45	13.75	14.64	14.40	15.13	15.32	15.04	14.76	15.70	15.15	14.03
14.52	14.72	14.04	13.74	14.37	14.45	15.00	15.17	14.94	15.06	15.08	15.20	14.24
14.73	14.27	14.10	13.89	14.03	14.49	15.21	14.72	14.50	14.93	15.00	15.20	14.50
14.33	14.10	14.26	15.00	14.27	14.47	15.53	14.75	14.54	15.30	14.62	15.18	15.18
14.23	14.26	14.27	14.54	14.30	14.61	15.50	14.33	14.87	14.82	15.17	15.05	15.20
14.30	14.34	14.32	14.01	14.14	14.21	14.15	14.30	15.14	14.30	15.09	14.60	15.11
14.51	14.65	14.45	13.74	14.42	14.57	14.53	14.96	15.91	14.30	14.75	14.80	14.43
15.13	15.25	14.30	14.10	15.67	14.45	14.70	15.29	15.10	14.60	14.80	15.07	14.37
14.82	14.07	13.84	14.17	14.42	14.65	14.85	15.16	14.88	14.83	14.81	15.09	14.30
15.12	14.56	14.10	14.30	14.25	15.80	14.73	15.45	14.72	15.01	14.34	15.03	14.60
14.34	14.27	14.02	14.47	14.13	15.52	15.10	14.97	14.81	15.60	14.37	15.00	14.87
14.31	14.70	14.57	14.55	14.10	14.87	14.32	14.96	15.17	15.65	14.83	14.63	14.90
14.26	14.35	14.00	14.30	14.46	15.28	14.58	15.02	15.17	14.88	14.85	14.74	14.70
14.41	14.90	14.34	14.06	15.01	14.97	14.90	15.01	15.25	14.54	15.25	15.19	14.34
15.33	15.16	14.57	14.37	15.77	15.05	15.34	15.21	14.80	14.40	15.00	14.01	14.30
14.50	14.52	15.15	14.64	15.20	14.65	15.25	14.52	14.94	14.73	14.91	14.04	14.09
15.07	14.53	15.02	15.69	15.01	14.93	15.91	14.25	15.06	14.73	14.79	14.38	14.52
14.51	14.42	15.09	15.37	14.61	15.67	15.82	15.11	14.82	14.80	14.27	14.85	15.15
14.13	14.76	14.94	15.28	15.32	15.47	15.27	15.45	15.16	14.48	14.18	14.83	15.05
14.22	14.80	15.50	15.17	15.12	15.87	15.34	15.87	15.57	14.50	14.16	15.03	15.15
14.50	15.03	15.02	15.02	15.35	15.43	15.14	15.44	15.02	14.41	14.57	15.58	14.94
15.25	15.80	15.24	15.18	15.11	15.25	15.70	15.79	15.46	14.71	15.40	15.63	15.60
*****	18.36	18.65	18.60	18.79	17.37	18.80	18.20	17.93	17.51	18.03	18.36	18.35
22.83	22.22	23.58	24.39	23.93	23.13	23.50	23.40	22.45	23.64	23.28	22.40	23.57

MEDICION DE ESPESORES EN LAS BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO DEL SUBMARINO HUANCABILCA

BOTELLA #3 SERIE 76/49619 - Espesores en mm - Espesor mínimo 12.30 mm

24.73	25.46	23.90	21.95	19.88	22.15	23.45	25.43	24.46	25.65	25.67	25.25	24.67
21.51	19.90	17.76	17.13	16.70	18.29	19.04	20.30	20.10	20.15	20.50	20.99	20.26
17.36	163.47	15.20	15.74	15.09	15.74	16.06	17.60	16.93	17.70	16.79	17.71	16.84
16.77	16.34	14.90	14.49	13.65	13.87	14.52	15.97	15.43	16.45	16.32	17.04	16.72
17.02	16.80	15.93	14.20	13.61	13.24	14.18	15.84	16.50	16.96	16.80	17.48	16.85
16.75	16.57	15.13	14.40	13.15	13.64	12.30	15.63	16.06	17.30	16.86	17.68	16.57
16.65	16.29	15.22	14.76	13.58	13.99	13.95	15.90	16.30	17.17	16.79	17.81	16.72
16.68	16.15	14.31	14.60	13.69	14.09	13.28	16.38	15.82	16.76	17.09	17.56	16.70
16.54	16.57	14.47	14.57	13.67	13.66	12.86	15.22	15.33	16.63	16.28	16.88	16.98
16.64	16.77	15.10	14.15	13.47	13.65	14.18	15.45	15.58	16.72	16.47	16.74	17.36
16.40	16.67	15.25	15.10	13.06	13.51	12.90	15.48	16.03	16.74	16.65	17.39	17.10
16.30	16.71	15.21	14.93	13.16	13.59	13.69	15.24	16.00	16.68	16.70	17.81	16.89
16.18	16.42	14.43	14.34	13.38	13.53	14.05	15.73	15.90	17.00	17.53	17.41	17.17
16.35	16.55	14.57	14.21	13.36	13.51	13.88	15.18	15.54	16.23	16.91	16.85	17.10
16.67	16.77	15.18	14.72	13.44	13.40	14.18	15.03	15.40	16.20	16.42	16.65	17.45
16.64	16.92	15.32	15.11	13.00	13.54	13.86	14.38	15.44	16.46	16.44	16.84	17.18
16.24	16.76	15.32	15.01	13.00	13.50	12.35	13.92	15.53	16.50	16.90	17.30	17.64
16.40	17.10	15.36	14.75	13.45	13.27	13.82	15.96	15.44	16.10	17.62	17.30	17.70
16.51	16.88	15.05	14.32	13.68	13.61	12.78	15.50	15.53	15.84	17.17	16.71	17.51
16.54	16.82	15.33	15.37	13.66	13.45	14.16	15.21	15.35	15.55	16.62	16.43	17.45
16.60	16.90	15.76	16.09	13.66	13.46	14.19	14.11	15.27	16.02	16.98	16.49	17.45
16.64	16.85	15.70	15.03	13.65	13.05	13.79	13.51	15.85	15.70	17.07	16.88	17.76
16.48	17.00	15.44	14.33	14.06	13.35	12.94	14.27	15.53	15.93	17.06	17.27	17.61
16.36	16.26	15.24	14.10	13.90	13.00	14.01	14.15	15.65	15.84	17.20	16.82	17.25
16.71	16.38	15.80	14.40	14.35	13.32	12.53	14.40	15.67	15.32	17.14	16.62	17.36
16.64	16.36	16.12	14.71	14.03	13.34	14.26	14.19	15.76	15.11	16.74	16.90	17.25
16.96	16.20	16.40	14.81	14.76	13.22	13.10	13.91	15.08	15.70	16.89	17.06	17.83
16.82	15.63	16.24	14.52	13.82	12.69	13.59	14.16	15.83	15.72	16.30	17.53	17.33
17.86	16.55	16.82	15.30	14.19	14.11	14.13	14.51	16.79	16.42	16.88	18.11	17.60
20.83	21.43	21.60	18.46	17.27	16.34	16.32	17.47	19.63	20.42	19.95	22.09	20.61
24.81	27.13	25.49	23.99	24.05	23.42	20.28	22.11	22.68	25.16	24.93	28.11	27.59

MEDICION DE ESPESORES EN LAS BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO DEL SUBMARINO HUANCABILCA

BOTELLA #4 SERIE 76/49622 - Espesores en mm - Espesor mínimo: 12.85 mm

13.45	19.33	20.14	21.98	21.93	22.80	24.47	21.53	21.03	21.04	20.05	19.54	18.17
15.14	16.05	16.32	17.00	17.80	18.28	17.14	17.36	16.69	16.25	16.28	16.22	15.87
13.88	14.12	14.69	15.18	15.16	16.59	15.73	15.50	15.30	14.18	14.07	14.13	14.44
13.70	13.81	13.91	14.58	14.48	16.69	15.36	15.62	14.01	13.56	13.89	14.23	14.02
13.76	13.64	13.97	14.46	14.53	16.10	15.40	15.55	15.07	15.67	13.71	14.15	13.85
14.05	14.04	14.02	14.68	15.01	16.24	15.46	15.17	14.91	13.67	14.01	14.00	13.87
14.03	14.03	14.16	14.52	14.60	16.16	15.26	15.08	14.15	13.74	13.40	13.86	13.77
14.10	13.94	14.24	14.25	14.56	16.31	15.40	15.46	14.23	13.77	13.58	14.11	14.05
13.98	14.40	13.88	14.41	15.20	16.51	17.14	16.06	15.32	13.62	13.77	13.87	13.76
14.15	13.88	13.87	14.16	14.50	16.23	16.21	15.47	15.10	13.75	13.55	13.85	14.29
14.90	14.14	14.02	14.35	14.56	16.25	15.61	15.28	14.48	13.60	13.21	13.43	13.90
14.06	13.95	15.07	14.04	14.56	16.12	16.13	15.36	16.35	13.70	13.70	13.88	14.20
13.92	13.80	13.86	14.02	14.10	16.00	15.83	15.38	14.86	13.80	13.83	14.00	14.03
14.01	13.42	13.56	13.92	14.81	16.25	15.80	15.76	15.31	13.53	13.76	13.95	14.03
13.54	12.85	13.60	14.06	14.75	16.18	16.00	15.51	14.85	13.50	13.76	14.23	13.95
13.74	13.61	13.92	14.15	14.38	16.31	15.95	15.45	14.13	13.80	13.66	13.44	14.21
13.80	13.63	13.69	14.15	14.86	16.42	15.95	15.20	14.16	13.71	15.59	13.62	14.00
13.88	13.62	13.69	13.50	14.83	16.36	15.68	15.84	15.02	13.61	13.74	13.81	13.82
13.50	13.49	13.56	13.95	14.75	16.24	15.62	15.35	14.27	13.70	14.01	13.66	13.86
14.00	13.66	14.02	14.24	14.18	16.22	15.14	15.22	14.23	13.22	13.18	13.63	13.62
13.73	13.62	13.95	14.10	14.69	16.13	15.29	14.80	14.27	14.03	13.69	13.83	13.62
14.19	13.71	13.77	14.24	14.12	15.90	15.60	15.29	14.36	14.18	13.93	14.29	13.61
14.21	13.70	13.76	14.05	14.01	15.70	15.30	15.02	14.50	14.10	13.83	14.17	13.52
14.15	13.80	14.20	14.20	14.12	15.10	15.59	14.56	14.02	14.38	13.84	14.04	13.53
14.37	13.90	13.75	14.15	15.01	16.51	15.02	15.10	14.09	14.35	14.21	14.48	13.44
14.29	13.94	13.85	14.20	14.14	15.66	15.37	14.95	14.18	14.32	14.37	14.36	13.53
14.33	13.93	14.35	14.27	14.28	15.32	15.15	14.91	14.26	14.35	13.89	14.39	13.62
13.92	13.96	14.03	14.06	14.28	15.47	15.16	14.87	14.01	14.56	14.45	14.36	13.44
14.83	14.38	14.67	15.30	15.18	15.61	16.13	16.20	14.50	14.45	14.48	15.42	14.47
18.21	17.33	17.25	18.19	18.96	18.94	18.16	17.72			17.32	18.45	17.27
24.06	22.88	22.50	26.38	23.20	25.00	24.61	24.68			23.87	22.43	24.06

MEDICION DE ESPESORES EN LAS BOTELLAS DE AIRE COMPRIMIDO DEL SUBMARINO HUANCABILCA

BOTELLA #5 SERIE 3675/1/3/92 - Espesores en mm (Botella Nueva)

Espeor minimo: 16.23 mm

29.28	30.21	29.18
22.60	22.73	23.37
17.36	17.89	18.03
16.23	17.90	16.87
16.95	17.29	16.91
16.60	17.71	16.93
16.96	17.31	16.70
16.69	16.87	16.73
16.65	16.87	16.73
16.45	16.92	16.55
16.75	17.96	16.58
17.17	17.03	16.63
17.40	17.36	16.89
17.18	17.25	16.78
16.97	17.23	16.98
16.48	17.19	17.26
16.51	17.29	17.14
16.43	16.76	16.31
16.31	16.83	17.21
16.54	16.83	17.32
16.42	16.60	17.39
16.68	17.10	17.34
16.90	16.45	17.24
16.71	17.09	17.26
16.51	16.84	17.31
16.92	16.97	17.07
16.76	16.64	17.12
17.04	17.01	16.96
17.77	18.09	17.12
22.35	21.35	22.24
28.22	30.01	26.20

ANEXO IV .- CONTENIDO DE AGUA POR LIBRA DE AIRE SATURADO

(Based On Vapor Pressures Over Ice Below 32°F.)

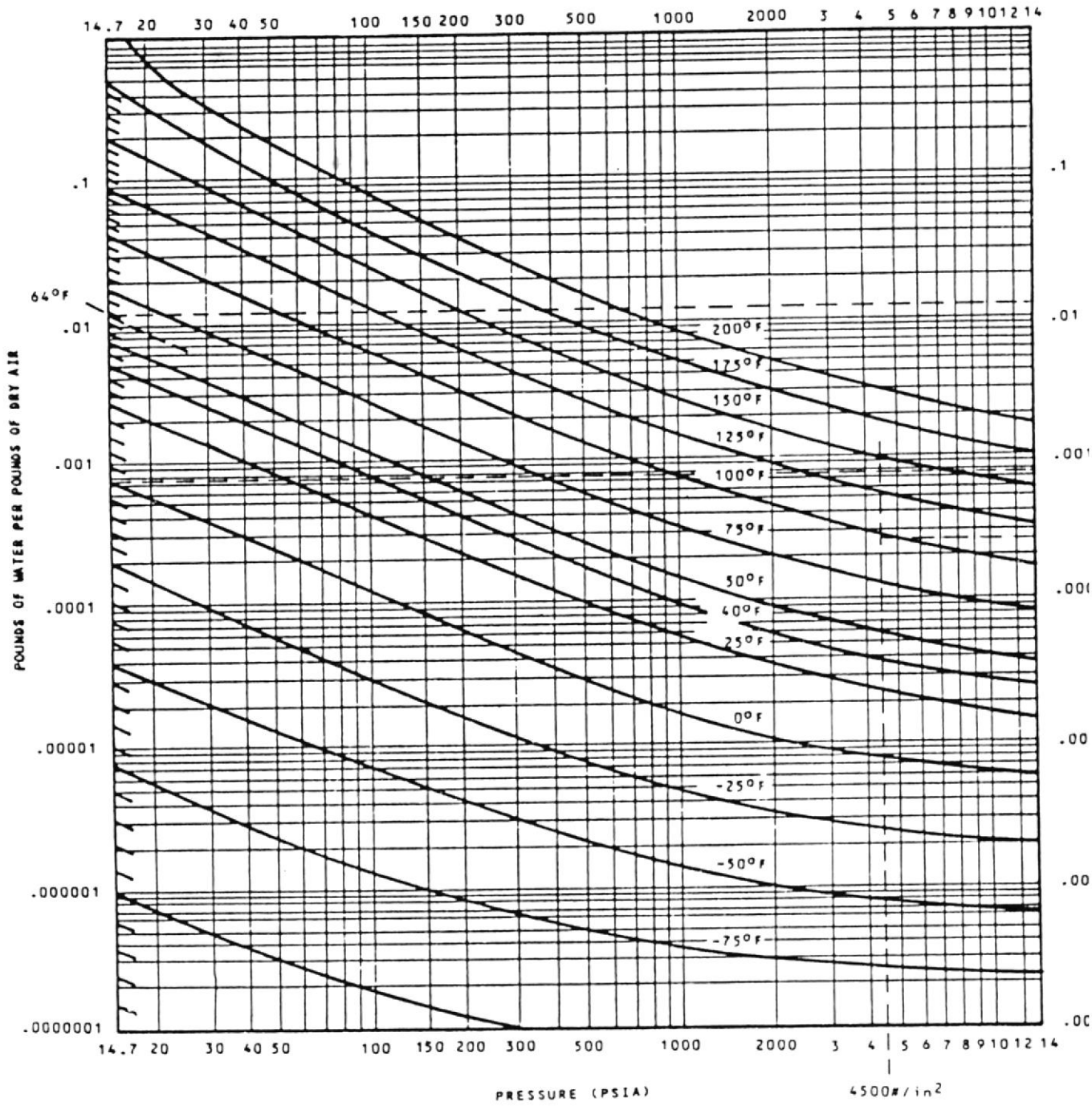


Figure 551-1. Water Content of Saturated Air.

ANEXO V .- PLANO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DEL SUBMARINO

ANEXO VI .- LONGITUDES EQUIVALENTES DE ACCESORIOS

<i>Longitudes equivalentes en metros para tubería de 3/4 y 1 1/2 cédula 80</i>			
ACCESORIO	CONDICIÓN	LONGITUD EQUIVALENTE	
		3/4	1 1/2
Válvula de Com- puerta	3/4 cerrada	15.24	30.5
	1/2 cerrada	3.96	7.62
	abierta	0.12	0.28
Válvula de Globo	abierta	3.05	12.2
T estándar	cualquier sentido de flujo	1.22	2.74
Codo estándar		0.61	1.22
Entrada con borde	por tubo	0.52	1.22
Contracción súbita	d/D = 1/4	0.24	0.61
	d/D = 1/2	0.21	0.46
	d/D = 3/4	0.09	0.29
Expansión súbita	d/D = 3/4	0.61	1.37

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, Rules for Building and Classing Steel Vessels, Port City Press Inc., Baltimore, Maryland, USA, 1990.
2. ASME, Boiler and Pressure Vessel Code an American National Standar, ANSI/ASME BPV-VIII-I, N.Y., USA, 1977 Ed.p. 27. varias
3. ATLAS COPCO, Manual, 4a. Ed., Madrid, 1984.p. 92
4. CRANE, Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, MacGraw-Hill, México, 1989.p. 21 y siguientes
5. FAIRES VIRGIL M., Thermodynamics, 6th. Ed, Macmillan Publishing Co. N.Y., USA, 1978.p. 402
6. INGERSOLL RAND, Compressed Air and Gas Data, 3rd. Ed., N.J., USA, 1980.p. 3-21
7. INOCAR, Tabla de Mareas y Datos del Sol y de la Luna, 1992. p 48 - 52.
8. KING RENO C., Piping Handbook, 5th. Ed., McGraw-Hill, USA, 1973. p. 3-130 y otras
9. LARBURU N, Máquinas Prontuario Técnicas Máquinas Herramientas, Paraninfo S.A., Madrid, 1989. p 32
10. LASCANO R., Folleto de Dinámica de Gases, ESPOL, 1992. p 110.
11. LYONS JERRY L., Lyons' Valve Designers' Handbook, Van Nostrand Reinhold Company, N.Y., USA, 1982. p. 430
12. TACLE MOISES, Evaluación Financiera de Proyectos, Folleto ESPOL, 1992, p. 52
13. U.S. NAVY, Naval Ship's Technical Manual S9086-SY-STM010, Chapter 551 Compressed Air Plants and Systems, Naval Sea Systems Command, 1987. p 8.
14. WHITE F., Mecánica de Fluidos, McGraw-Hill, México, 1988.p.339