



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica

**"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO
DE AIREACION"**

INFORME TECNICO

Previa a la Obtención del Título de

INGENIERO EN MECANICA

Presentado por:

LEANDRO CARLOS ANDRADE MARQUEZ

Guayaquil

Ecuador

AÑO

1993

AGRADECIMIENTO

A LA ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LPTORAL.

AL ING. ERNESTO MARTINEZ,
DIRECTOR DE INFORME POR SU
VALIOSA AYUDA.

A TODAS LAS PERSONAS QUE DE
UNA U OTRA MANERA COLABORARON
CON EL PRESENTE INFORME.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MI HIJO

A MIS HERMANOS

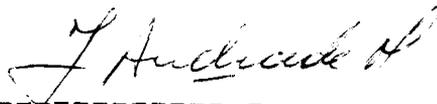
A MIS TIOS

DECLARACION EXPRESA

Declaro que:

"Este Informe Técnico corresponde a la resolucibn de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la ingeriieria mecánica".

(Reglamento de graduación mediante la elaboración de informe técnico)



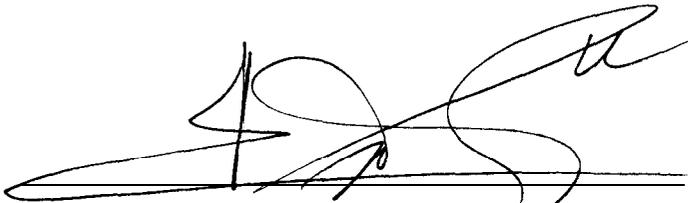
LEANDRO CARLOS ANDRADE MARQUEZ



Dr. Alfredo Barriga
DECANO FIM



Ing. Ernesto Martínez
DIRECTOR INF. TEC.



Ing. Eduardo Donoso
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

RESUMEN

En este trabajo se encuentra el análisis del crecimiento camaronero en el Ecuador, el cual ante la imposibilidad de seguir expandiéndose debido a la creciente demanda en el mercado internacional, se vió obligado a buscar la mejor forma de incrementar la productividad por hectárea. Una de estas formas es la aireacion a través de los equipos circular-aire. Por esto la empresa "SALANGOSTI S.A." en el mes de Junio de 1.989 me solicitó que diseñara y construyera un equipo de aireacion del tipo circular-aire.

Defino lo que es la aireacion y detallo la cantidad de hectáreas que están dedicadas al cultivo de camarón y en base a esto determino la demanda de equipos de aireacion y los porcentajes que serán cubiertos tanto por equipos importados como por los equipos construidos por la empresa.

Presento un estudio de los diferentes métodos de aireacion que existen para incrementar el nivel de oxígeno en las piscinas, y hago el análisis de las ventajas y desventajas de cada uno de ellos y el por qué es más conveniente el equipo circular aire.

Diseño y selecciono las partes del aireador

circular-aire, hago el modelaje teórico de este equipo, y construyo el primer equipo. Presento el costo de construcción de este equipo, así como las respectivas conclusiones y recomendaciones.

DISEÑO Y COSTRUCION DE UN EQUIPO DE AIREACION

Resumen

Indice General.

Indice de Figuras

Indice de Tablas

Antecedente.

1 Aireacibn

1.1 Definición de Aireación.

1.2 Determinación de la demanda de equipos de aireación

1.3 Análisis teórico del proceso de aireación.

2 Tipos de Aireadores.

2.1 Descripcibn de los tipos de aireadores.

2.2 Aireadores de circular-aire.- Ventajas.

3 Diseño del aireador.

3.1 Selección del aireador circular aire.

3.2 Selección del motor.

3.3 Diseño del propulsor.

3.4 Selección del tipo de rodamiento.

3.5 Selección del tipo de acople.

3.6 Diseño y modelaje teórico del aireadcr.

4 Cost0 y Construcci&n.

Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografia

Anexos

INDICE DE FIGURAS

- # 1 Sistema de bombeo.
- # 2 Areas de sembríos de camarón en el Ecuador.
- # 3 Factor de transferencia de óxígeno para una unidad de aireación de tubos dispersadores.
- # 4 Sistema de aire difundido.
- # 5 Sistema de salpicado superficial.
- # 6 Sistema circular-aire.
- # 7 Equipo de aireacion.
- # 8 Coeficiente de la velocidad de la estela.
- # 9 Curvas características de la hélice de Taylor, de tres aspas.
- # 10 Bocin marino.
- # 11 Acoplamiento Oldham.
- # 12 Acoplamiento Fast.
- # 13 Acoplamiento Waldron.
- # 14 Acoplamiento de cadena.
- # 15 Acoplamiento Steelflex.
- # 16 Acoplamiento de hule.
- # 17 Acoplamiento de hule tipo compresión.
- # 18 Junta universal.
- # 19 Manera en la que funciona el equipo circular-aire.
- # 20 Diagrama del cortante y el momento flexor.
- # 21 Eje propulsor.

INDICE DE TABLAS

1 Selección del motor.

2 Selección del acople.

3 Determinación del diámetro exterior del eje.

ANTECEDENTE

A finales de 1.968 en la provincia de El Oro como un experimento comienza el cultivo de camarones en cautiverio. En la década de los setenta y principios de los ochenta esta actividad alcanza su máximo desarrollo en relación a hectareas cultivadas, pero no el mismo desarrollo en productividad. Debido a la creciente demanda de este producto, el sector camaronero del país eleva su producción, aumentando el número de hectareas cultivadas, teniendo un rendimiento promedio de 600 Kg/Ht/año.

Pero en 1.985, el gobierno prohíbe que el sector camaronero y en general para todos los demás sectores productivos del país, la tala indiscriminada del manglar, por lo cual el sector camaronero no puede seguir creciendo para elevar la producción, lo que obligó éste sector productivo del país a buscar formas de aumentar su productividad.

Ante esta creciente necesidad de tecnificarse para obtener un mejor rendimiento por hectárea en las piscinas camaroneras, han surgido varios métodos de aireación para aumentar el nivel de oxígeno de estas aguas estancadas, mejorar el habitat de las piscinas y por lo tanto

aumentar la productividad. Gracias a la aireación se ha logrado obtener un rendimiento promedio de 2000 Kg/Ht/año.

La empresa "SALANGOSTI S.A." en su afán de buscar la forma más eficiente para airear las piscinas camaroneras, me solicitó en el mes de junio de 1.989 que diseñara y construyera un equipo de aireación del tipo circular aire.

1 AIREACION

Las aguas estancadas como las de las piscinas de especies en cautiverio, de tratamiento de agua, lagunas, etc., siempre se encuentran con un nivel muy bajo de oxígeno, lo que produce una putrefacción de éstas, convirtiéndolas por tanto en contaminantes del medio ambiente.

El cultivo de especies en cautiverio ha buscado siempre la manera de poder mejorar el nivel de oxigenación de sus piscinas para lo cual usan la renovación de agua a través de su sistema de bombeo, figura # 1; pero esta forma de incrementar el nivel de oxígeno, a parte de ser muy caro tiene muchas pérdidas, debido a la forma en que se manejan las compuertas de cada una de las piscinas, por esto han buscados la implementación de otros métodos de aireacion de las aguas.

1.1 Definición de Aireación

La aireacion consiste en mezclar el agua con el aire, lo que a través de la difusión hace que el oxígeno del aire pase al agua de las piscinas, aumentando por consiguiente su nivel y mejorando el estandar de vida submarina en las mismas.

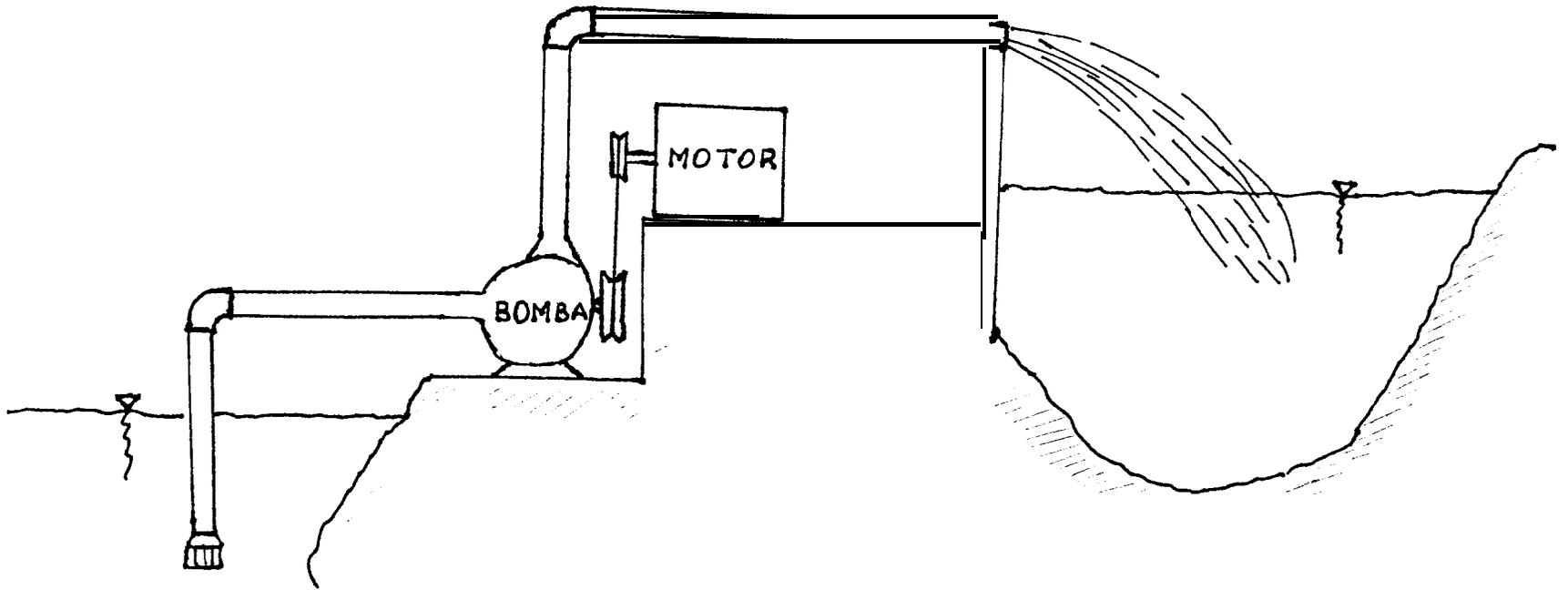


Figura # 1 Sistema de Bombeo.

1.2 Determinación de la demanda de equipos de aireación.

Para determinar la demanda de equipos para acuicultura y en especial los cultivos en cautiverio del camarón de la especie **PENAEUS VANNAMEI**, se detalla las áreas de sembríos que actualmente existen en el Ecuador(figura # 2):

| | |
|-------------------------|-------------------|
| PROVINCIA DE EL ORO | 27.000 Hectareas. |
| PROVINCIA DEL GUAYAS | 80.000 Hectareas. |
| PROVINCIA DE MANABI | 12.000 Hectareas. |
| PROVINCIA DE ESMERALDAS | 5.000 Hectareas. |

Lo cual da un área total de 124.000 Hectareas.

Para el cultivo del camarón se requieren por cada 1000 kilogramos de biomasa, al momento de pesca 1hp de potencia del equipo de aireación. Teniendo como rendimiento promedio de 1000 Kilogramos por hectarea, se requerirían 124.000hp de potencia. El mercado total a cubrirse sería alrededor de 41.300 aparatos de 3hp de potencia cada uno. Estos datos fueron obtenidos a partir de los equipos Aire 0-2 importados que existen en el mercado. Los equipos importados anualmente son 1.200 lo que proyectado para 10 años

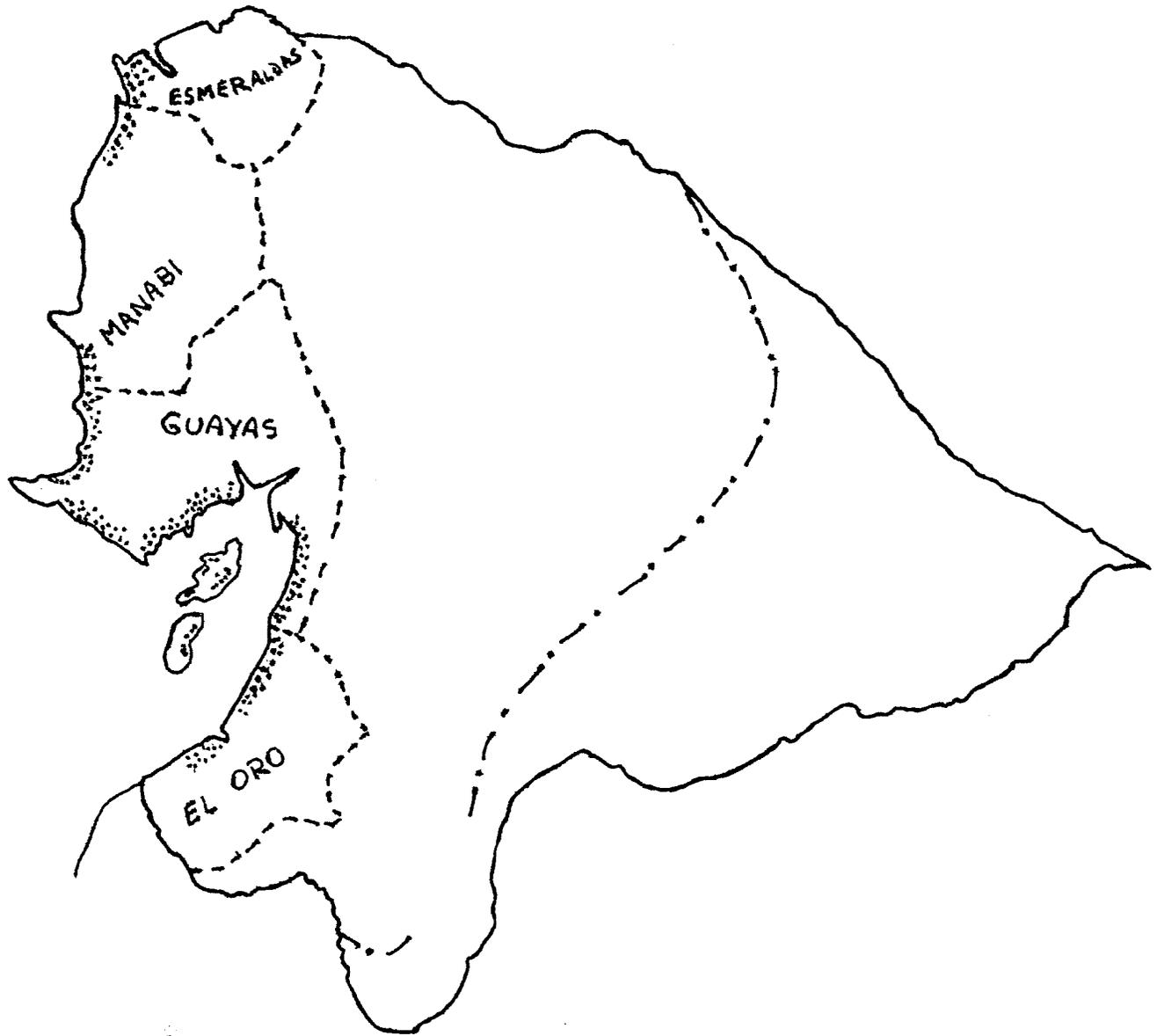


Figura # 2 Areas de sembrios de Camarón en el Ecuador.

cubrirá el 29% del mercado. La empresa "SALANGOSTI S.A." produciría 1.000 aireadores de 3hp de potencia con capacidad de expansión hasta 1.500 equipos de 3hp al año, esperando cubrir el 51% del 71% de la demanda restante, es decir cubrir el 36% del mercado; y el 35% restante sería cubierto por otros sistemas de aireación.

1.3 Análisis teórico del proceso de aireación.

La aireación se produce debido a la transportación de un elemento de una solución fluída, de una region de más alta concentración a una region de más baja concentración. En este caso el elemento a transportar es el oxígeno y lo tomamos de una solución fluída (aire) de concentración de oxígeno alto y la llevamos a otra solución fluída (agua estancada) de concentración de oxígeno bajo. En el tratamiento de aguas estancadas o residuales, gases indeseables son frecuentemente desalojados o desasorbidos del agua y el oxígeno es absorbido al interior de ésta, cuando burbujas de aire son depositadas en el fondo del tanque o laguna de aireación. La introducción de aire al interior de la laguna o tanque, por medio de pequeños orificios dispersadores, tales como, tubos perforados, tubos rociadores y placas porosas, produce pequeñas

burbujas de aire, las cuales se levantan a través del líquido.

Como las burbujas se levantan, el soluto puede ser transferido desde el aire al líquido o desde el líquido al aire dependiendo de la fuerza impulsadora de la concentración. Como los gases involucrados son normalmente poco solubles en líquidos, la transferencia de masa es calculada usando el coeficiente de transferencia de masa líquido total

$$N_A = K_L A (c_A^* - c_{A,L}) \quad (1)$$

La razón de soluto adherido al líquido contenido dentro del tanque o laguna es

$$W_A = K_L A (c_A^* - c_{A,L}) \quad (2)$$

donde A es el área de contacto interfacial total entre las burbujas de gas y la solución líquida. Esta ecuación puede ser expresada en forma diferencial como

$$\frac{d(\text{moles de A})}{dt} = K_L A (c_A^* - c_{A,L}) \quad (3)$$

En una piscina o tanque de volumen constante, esta expresión puede ser dada en términos de la concentración de soluto

$$\frac{dc_A}{dt} = \frac{K_L A (c_A^* - c_{A,L})}{V} \quad (4)$$

Como en el levantamiento de las burbujas, la concentración de equilibrio, c_A^* , permanece constante; las variables pueden ser separadas

$$\frac{dc_A}{(c_A^* - c_{A,L})} = \frac{K_L A}{V} dt \quad (5)$$

integrando entre los límites de tiempo $t=0$ y $t=t$ y entre los límites de la concentración $c_{A,Lo}$ y $c_{A,Lt}$ se obtiene

$$\ln \frac{(c_A^* - c_{A,Lo})}{(c_A^* - c_{A,Lt})} = \frac{K_L A t}{V} \quad (6)$$

c_A^* = Concentración real obtenida.

$c_{A,Lo}$ = Concentración inicial.

$c_{A,Lt}$ = Concentración en el tiempo t .

t = Tiempo de transferencia.

La razón A/V , representa el área interfacial total

de las burbujas de gas por unidad de volumen de la solución en el tanque o laguna. Comn pequeñas burbujas producen una gran area interfacial por volumen de gas alimentado al dispersador, aumentando la magnitud de esta razón, grandes burbujas incrementan la mezcla dentro del tanque, aumentando la magnitud del coeficiente de transferencia de masa total, K_L ; el gas dispersado debe estar diseñado para optimizar el factor de transferencia combinado $K_L A/V$.

Eckenfelder ha desarrollado una correlación general para la transferencia de oxigeno desde burbujas de aire subiendo por columnas de aguas tranquilas.

$$\frac{K_L A t}{V} = \frac{\phi_g Q_g^{1+n} h^{0.78}}{V} \quad (7)$$

donde ϕ_g , es una constante que depende del tipo de dispensor, Q_g es la razón de flujo de gas en estándar pies cúbicos por minuto (SCFM), n es una constante que depende del tamaño del orificio en el dispensor y h es la profundidad a la que el gas es introducido en la laguna o tanque. Datos tipicos para unidades de aireación dei tipo de tubo dispersores, correlacionados de acuerdo a la ecuación (7) son presentados en la figura # 3.

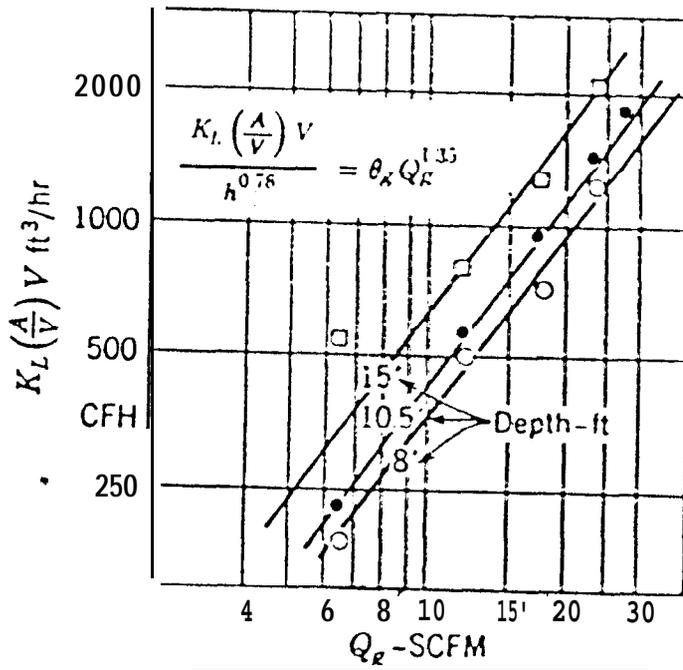


Figura #3: Factor de transferencia de oxígeno para una unidad de aireación de tubo dispersadores en un tanque. Tornado de Fundamentals of momentum heat and mass transfer.

En el siguiente ejemplo, los datos de **Eckenfelder** serán usados para determinar el tiempo requerido para incrementar el nivel de oxígeno en una laguna de aireación.

Ejemplo: Una laguna de aireación de 20.000 pies" es aireada a través de 15 tubos rociadores, cada uno usa un compresor de aire, con una razón de 15 pies³/min. Los tubos rociadores están localizados 15 pies por debajo de la superficie de la laguna de

la Ley de Henry. A 20 C., esta Ley estipula para el oxígeno

$$P_{O_2} = (4,01 \cdot 10^4 \text{ atm./mol}) X_{O_2}$$

$$X_{O_2} = \frac{0,256}{4,01 \cdot 10^4} = 6,38 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

Para un litro de solución de agua pura, la concentración de equilibrio en mg./lt. puede ser calculada como sigue:

$$\text{mol de agua} = \frac{(1.000 \text{ c.c. de agua}) (1 \text{ g./c.c. de agua})}{18 \text{ g de agua/mol}}$$

$$\text{mol de agua} = 55,6 \text{ mol}$$

$$\begin{array}{l} \text{mol de oxígeno en} \\ \text{un litro de agua} \end{array} = X_{O_2} \text{ (moles solución)}$$

$$= 6,38 \cdot 10^{-6} (55,6) = 3,55 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\begin{array}{l} \text{gramos de oxígeno/lt} \\ \\ \end{array} = (3,55 \cdot 10^{-4} \text{ mol}) (32 \text{ g/mol}) \\ = 1,135 \cdot 10^{-2} \text{ g./lt.}$$

$$C_A^* = 11,35 \text{ mg./lt.}$$

Usando la ecuación # 6 podemos calcular el tiempo

$$t = \ln \frac{(c_A^* - c_{A,Lo})}{(c_A^* - c_{A,Lt})} * \frac{1}{(KL(A/V))}$$

$$t = \ln \frac{(11.35 - 2)}{(11.35 - 5)} * \frac{1}{0.90/\text{hr}}$$

$$t = 0.43 \text{ hora}$$

$$t = 25.8 \text{ minutos}$$

2 TIPOS DE AIREADORES

2.1 Descripción de los tipos de aireadores.

Existen algunos tipos de sistemas de aireación, que son:

- i) Por cascada.
- ii) Aire difundido.
- iii) Por renovación del agua.
- iv) Salpicador superficial.
- v) Sistema de circular-aire.

Por cascada. - Este metodo consiste en hacer que el agua, renovada en las piscinas, llegue a las mismas por un declive que simule una cascada, lo cual hará que el agua que cae en forma de cascada y un poco turbulenta, tome moléculas de aire y la introduzca en el interior de la piscina.

Este metodo requiere de un consumo elevado de energia lo que lo convierte en muy costoso, además de que la aireación de la piscina alcanza sólo la superficie y no llega hacia el fondo que es el habitat de las especies bioacuáticas.

Aire difundido.- Este metodo utiliza aire comprimido

y lo introduce en las piscinas a través de tuberías que pasan por su fondo, figura # 4. Este método tiene una mala transferencia de oxígeno en profundidades pequeñas (menos de 2 metros). Además de que con el tiempo, por la sedimentación, se obstruye, lo que reduce aún más su eficacia, aumentando los requisitos de mantenimiento y convirtiéndolo en un método caro.

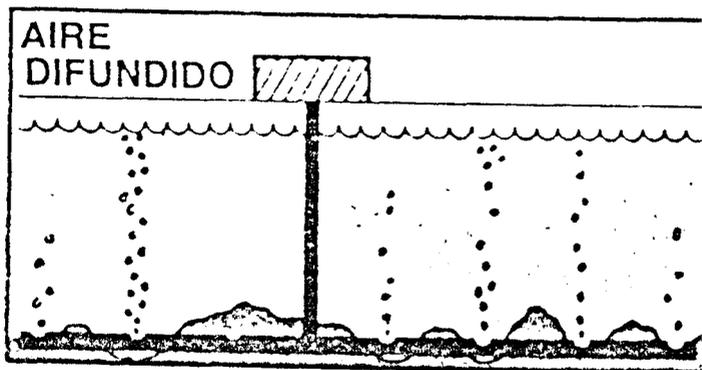


Figura #4 Sistema de aire difundido

Por renovación del agua.- Este método es el de cambiar con mayor frecuencia el agua de las piscinas. Al igual que el método por cascada, es muy costoso por la cantidad de energía que consume, además de que aumenta la frecuencia de mantenimiento de los equipos de bombeo.

Salpicador superficial.- Es un método que fuerza al agua a saltar al aire y consume gran cantidad de energía. Se construyeron equipos que empleaban energía eólica para abaratar el consumo de la misma, figura # 5; pero al igual que el de por cascada la aireación es solo superficial.

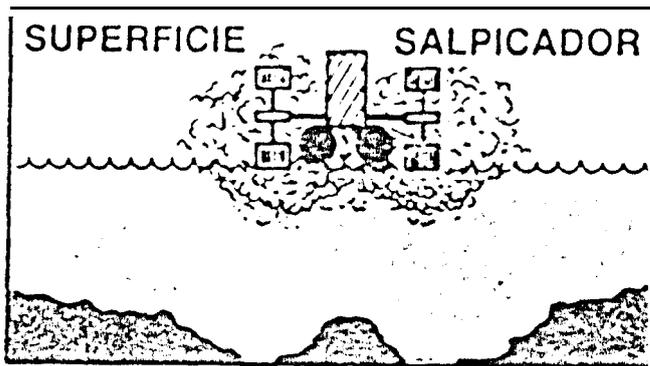


Figura #5 Sistema de salpicado superficial

Sistema circular-aire.- Este sistema inyecta aire al interior de la piscina a través de un eje hueco que tiene montada una hélice en su extremo sumergido, ésta mueve el agua a grandes velocidades, y el movimiento del agua produce una presión negativa en el extremo del eje, figura # 6. El vacío parcial causa que el aire por encima de la superficie sea aspirado por las tomas de aire, bajando por el interior del eje impulsor hueco, el mismo que se

dispersa en el agua y por la turbulencia causada por la helice se genera una mayor tranferencia de oxigeno al agua y a su vez una mejor aireación de la piscina que con cualquier otro metodo.

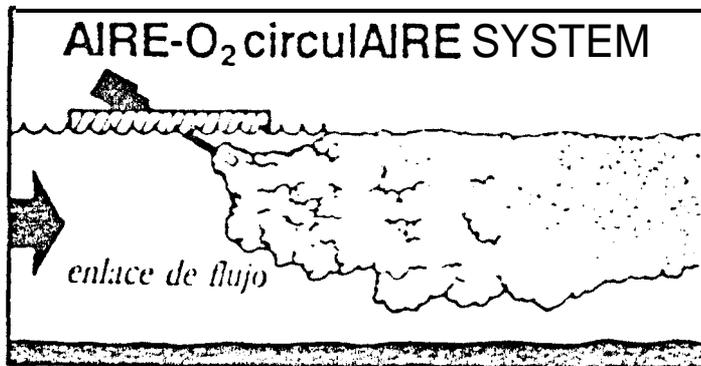


Figura #6 Sistema circular-aire

2.2 Aireadores circular-aire.- Ventajas y Desventajas.

El equipo circular-aire consta de un motor, un eje, un encamisado, una helice y un dispositivo de flotación. Ver figura # 7.

Ventajas.- La inyección de aire en el agua proporciona altos niveles de oxigeno disuelto. La fuerza de la circulación horizontal mueve el agua rica en oxigeno a través de toda la piscina. Esto elimina los puntos muertos, proporciona mayores densidades de

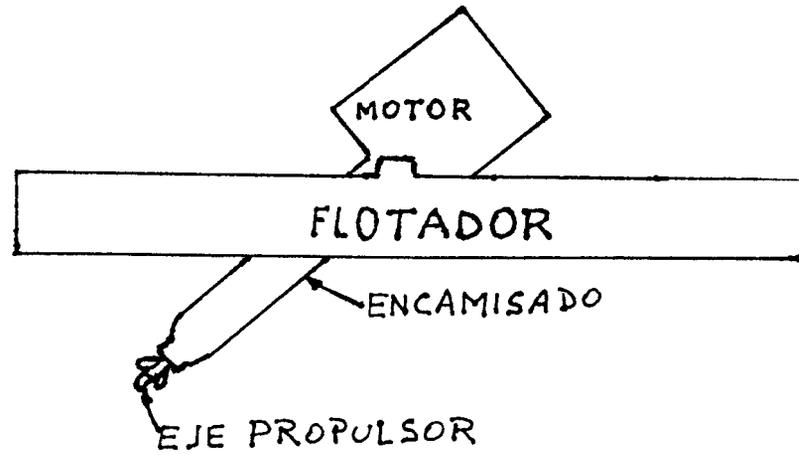


Figura # 7 Equipo de Aireación.



la población del agua y distribuye el oxígeno en todo su volumen. Este sistema funciona en piscinas con profundidades desde 0.7m. hasta 10m.; en áreas de pequeñas superficies y en piscinas de varias hectáreas. El diseño asegura una larga vida en cualquier ambiente. Se puede llegar a tener un ahorro en energía de hasta un 50%, ya que reduce el intercambio del agua de las piscinas. El mantenimiento de estos equipos es sencillo y fácil. Es portátil y liviano y se cambian de lugar con rapidez y facilidad.

Desventajas. -La principal desventaja de estos equipos está en la instalación de los mismos, ya que requieren que exista red de fluido eléctrico en sitio y en el caso que no hubiere se tendrá que, analizar cualesquiera de las siguientes alternativas:

- a) Extender la red de fluido eléctrico hasta el lugar.
- b) Colocar un generador con su respectiva red.

Lo que hace que el costo de instalación sea elevado.

3 **Diseño del aireador.**

3.1 **Selección del aireador circular aire.**

Para nuestro objetivo, se considera los siguientes parámetros para la selección del sistema de aireación más adecuado:

- a) Facilidad de instalación.
- b) Facilidad de operación.
- c) Facilidad de mantenimiento.
- ci) Facilidad de movilización..
- e) Bajo costo.
- f) Que proporcione el mayor nivel de oxígeno disuelto.

En lo referente al primer parámetro, el sistema circular-aire es mucho más fácil de instalar con relación a los otros sistemas.

La operación de los diferentes sistemas de aireación es parecida en lo referente a encendido ó apagado del sistema; pero en lo referente a los costos, se encuentra que el sistema circular-aire es un 10% más barato que el sistema de aire difundido y un 50% más barato que cualesquiera de los otros sistemas de acuerdo a datos obtenidos de los importados.

En cuestión de mantenimiento el sistema circular-aire es el único que presta grandes facilidades para esto, debido a que es portátil. En lo referente a los costos de mantenimiento el sistema circular-aire tiene el más bajo costo en relación con cualesquiera de los otros sistemas de aireación.

El único sistema que presta facilidades para ser movlizado a otra piscina es el sistema circular-aire.

En lo referente al costo, el sistema circular-aire es el más económico hasta en un 40% que cualesquiera de los otros métodos de aireación.

El parámetro más importante para la selección de? equipo de aireación es el que el equipo seleccionado nos proporcione el más alto nivel de oxígeno disuelto y como se observó en el capítulo 2, el sistema circular-aire es el único que asegura una buena transferencia de oxígeno del aire hacia el agua de las piscinas.

Por lo expuesto anteriormente, se concluye que el equipo a seleccionar es el del sistema circular aire.

3.2 Selección del motor.

Como se mencionó en el capítulo 1, el equipo circular-aire será de 3hp. Por lo tanto se necesita seleccionar un motor de 3hp, que deberá tener los siguientes requisitos:

- a) 3450 rpm.
- b) 60 Hz.
- c) Totalmente cerrado y enfriado por aire (TEFC).
- d) Embridado.
- e) Monofásico o Trifásico.

Buscando en el mercado local se encontró cuatro diferentes marcas de motores que cumplían estos requisitos y que se detallan a continuación: Baldor, ASEA, Leroy Somer y Marathon.

En la tabla #1 se muestra el cuadro de selección mediante el cual se determinó que motor es el más conveniente para este diseño. La escala de selección es:

- 5 Excelente (tiene y es muy buena, barato)
- 4 Muy buena (tiene y es buena)
- 3 Buena (tiene y es regular, costo medio)
- 2 Regular (tiene y es mala)

1 Mala (no tiene, caro)

De estos, se selecciona el motor ASEA por ser el más económico (S/.150.000,00), por la garantía (1 año) y además por la facilidad de conseguir repuestos.

| | BALDOR | ASEA | L.Somer | Marathon |
|----------|--------|------|---------|----------|
| BRIDADO | 5 | 5 | 5 | 5 |
| TEFC | 5 | 5 | 5 | 5 |
| GARANTIA | 1 | 5 | 1 | 1 |
| REPUESTO | 3 | 5 | 1 | 1 |
| COSTO | 1 | 5 | 1 | 3 |
| TOTAL | 15 | 25 | 13 | 15 |

Tabla #1 Selección de motor

3.3 Diseño del propulsor.

El diseño de una hélice marina se efectúa por uno de los dos métodos siguientes. El primero se basa en el empleo de cartas experiment-ales con los resultados de pruebas en agua de una serie de modelos de hélices. Esto cubre las variaciones en un número de parámetros

de proyecto, como relación de paso, área del aspa, número de aspas y formas de las secciones. Una hélice que corresponda a las características de una serie particular cualquiera, puede diseñarse rápidamente y calcularse para que cumpla con las condiciones requeridas de servicio.

El Segundo metodo se usa en el caso que la hélice esté muy cargada y pueda existir cavitación o cuando tiene que trabajar en un patron de olas muy irregular. Está basado en cálculos teóricos puros. Básicamente, consiste en encontrar el espesor de la cuerda, la forma de la sección, el paso y el redimiento para diferentes radios, ajustándose a los valores de la estela en la circunferencia media, hasta obtener el rendimiento óptimo y evitar la cavitación. Integrando los resultados de empuje y par aplicado sobre las aspas, se obtiene el empuje, par aplicado y rendimiento de la hélice completa.

Para nuestro diseño, en el cual la hélice no está muy cargada ni hay un patron de ola muy irregular utilizamos el primer metodo. Con una hélice tipo Taylor y con coeficientes de avances B_p y δ , un diseño práctico conveniente consiste en hacer una estimación inicial del tamaño por medio de:

$$B_P = \frac{n (P_D)^{0.5}}{(V_A)^{2.5}} \quad (8)$$

$$\delta = \frac{n D}{V_A} \quad (9)$$

$$n_0 = \frac{T V_A}{325.7 P_D n_R} \quad (10)$$

donde:

B_P = coeficiente de la hélice de Taylor

δ = coeficiente de avance de Taylor

n = RPM

P_D = potencia desarrollada, dhp

P_S = potencia al freno, shp

V_A = velocidad de avance, nudos

D = diámetro de la hélice, pies

T = empuje, libras

η_0 = rendimiento de la hélice en agua abierta

n_R = rendimiento de la rotación relativa

$0.95 < n_R < 1.0$, para dos hélices

$1.0 < n_R < 1.05$, para una sola hélice

n_R es un factor que corrige el valor de n_0 para ajustarlo a las condiciones reales del flujo bajo el air-eador.

Suponiendo un valor razonable de n y utilizando

los valores conocidos de P_D y V_A (una aproximación útil es $P_D=0.98 P_S$; y $V_A=(1 - w) V$) el valor de w se lo obtiene de la figura # 8 con el valor de el coeficiente del conjunto CB (puede estimarse $C_B= 0.52$) y puede calcularse BP. con este valor se entra en un juego de cartas de hélices Taylor, figura # 9, para determinar δ , no y P/D . Las cartas y los parámetros pueden cambiar y los resultados se deben graficar para obtener las hélices más adecuadas.

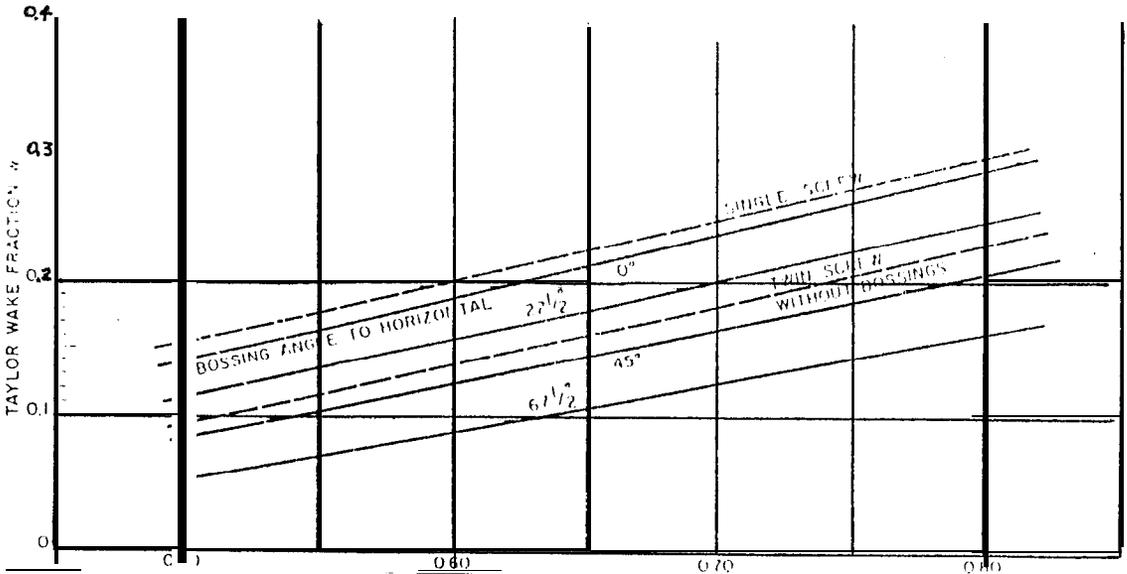


Figura # 8 coeficiente de la velocidad de la estela

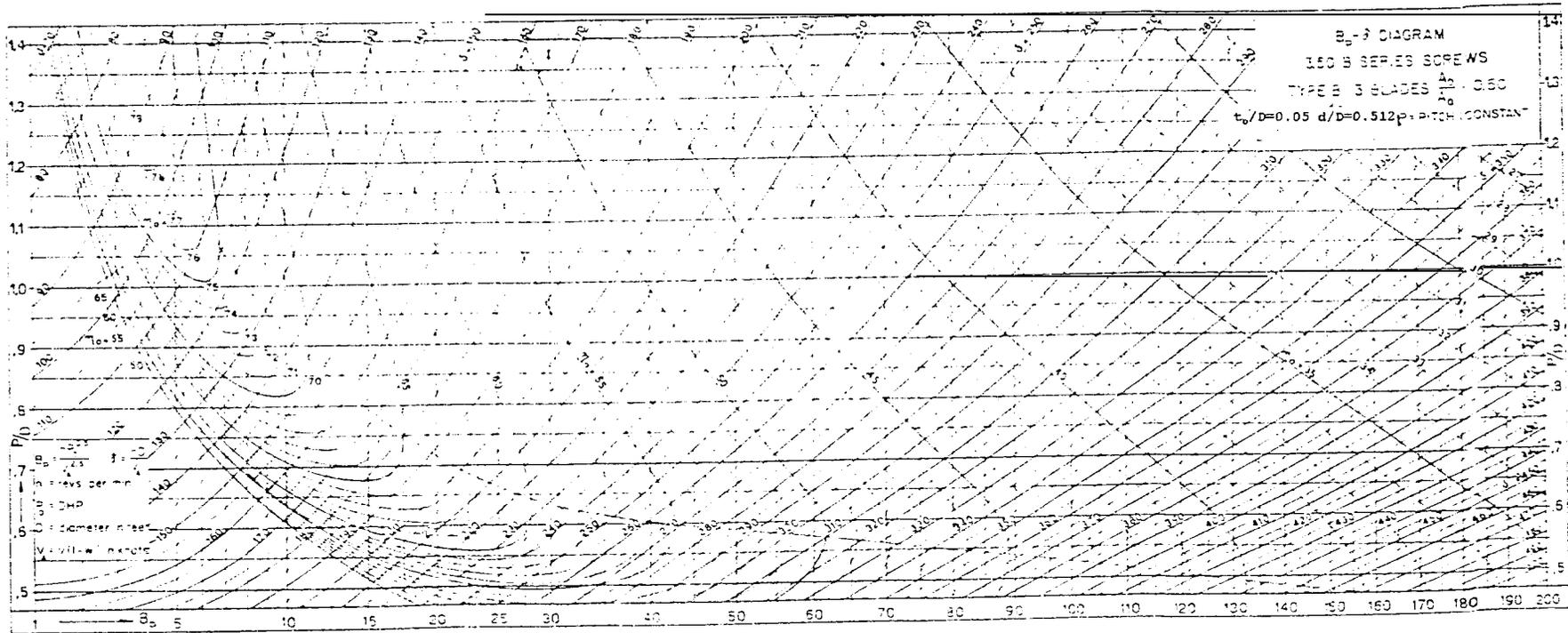


Figura # 9 Curvas características de la Hélice de Taylor, de 3 aspas con una $A_1/A_0 = 0.5$

Cuando la cavitación en la hélice es severa, puede producir un marcado incremento en las RPM, el deslizamiento y la potencia en la flecha, sin un incremento notable en las velocidad del aireador ni en la potencia efectiva. Al presentarse la cavitación, se generan ruidos, vibraciones y erosión en las aspas de la hélice, los montantes y los timones. La cavitación puede presentarse tanto en la cara como en el dorso de la hélice, aunque en la cara tiene un efecto menor sobre el empuje y el par aplicado, pero la que se presenta en el dorso puede afectar al empuje y en general, obliga a aumentar el ángulo de las aspas o a disminuir las RPM. La erosión en el dorso se provoca por el choque de burbujas de cavitación que se mueven de las regiones de alta presión hacia el borde de salida.

Un requisito importante en la selección y diseño de hélices es evitar la cavitación. El **Netherlands Ship Model Basin** sugiere el siguiente criterio para establecer el área mínima de las aspas para evitar la cavitación

$$A_p^2 = \frac{T^2}{1360 (p_o - p_v)^{1.5} V_A} \quad (11)$$

donde:

A_p = área proyectada de las aspas, pies²

T = empuje, libras

P_o = presión en la línea central de la hélice, debida a la columna de agua y a la atmósfera, lbs/pulg²

P_v = presión del vapor del agua, lbs/pulg²

V_A = velocidad de avance, nudos

$$P_o - P_v = 14.45 + 0.45 h$$

donde h = la columna del agua en la línea central de la hélice, pies.

Para el diseño de el propulsor se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- i) Deberá ser un propulsor para, $P_s = 3hp$
- ii) Deberá girar a $n = 3450 \text{ rpm}$.
- iii) Su diámetro no deberá ser mayor a 100mm. ni menor a 50mm.
- iv) Una velocidad, $V = 30 \text{ nudos}$ (15.45 m/seg.).
- v) un coeficiente del conjunto, $C_B = 0.52$

con el valor de $C_B = 0.52$ vamos a la figura # 8 y se obtiene el valor de $w=0.16$ y haciendo los cálculos se tiene:

$$V_A = 25.2 \text{ nudos} \quad \text{y} \quad P_D = 2.94 \text{hp}$$

con estos valores y las fórmulas #8 y #10 se obtiene:

$$B_p = 1.856 \quad n_o = 0.8$$

con este valor vamos a la figura # 9 y se tiene:

$$P/D = 1.78 \quad \delta = 35$$

con estos datos de la fórmula # 9 se calcula el diámetro de la hélice y luego se obtiene el paso

$$D = 3.068 \text{ pulgadas} \quad P = 0.455 \text{ pies}$$

de la misma figura # 9 se obtiene las relaciones

$$t_o / D = 0.05 \quad \text{y} \quad d/D = 0.512$$

por lo tanto $t_o = 0.1534$ pulgadas y $d = 1.5708$ pulgadas es decir:

$$t_o = 3.9 \text{ mm} \quad D = 78 \text{ mm} \quad d = 40 \text{ mm}$$
$$P = 138 \text{ mm}$$

con estos valores podemos dibujar la hélice tal como se muestra en el anexo # 2.

3.4 Selección del tipo de rodamiento.

Se tiene dos tipos clásicos de rodamientos:
Rodamiento rígido de bolas y Rodamiento marino.

El rodamiento rígido de bolas presenta un gran inconveniente en lo referente al material con que están fabricados y al medio donde van a funcionar. Como sabemos el rodamiento deberá estar en contacto con agua salada y estará muy cerca del propulsor, lo que ocasionará que se corroa muy rapidamente debido a la turbulencia, lo que hace imposible su uso.

El rodamiento marino consiste en un bocín marino (bocín de bronce con caucho) ver figura # 10 y un bocín de acero inoxidable el cual rodará en el interior del bocín marino. Este tipo de rodamiento no presenta mayores problemas de corrosión. Por lo cual se selecciona el rodamiento marino.

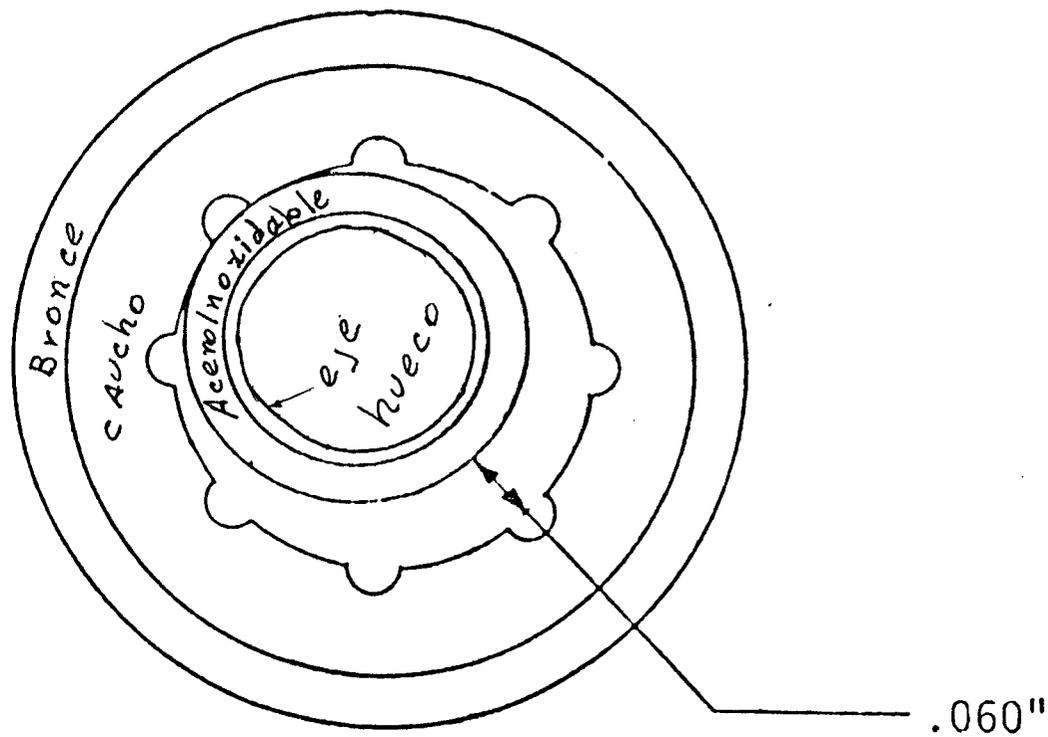


Figura # 10. Bocin marino

3.5 Selección del tipo de acople.

Los acoplamientos se fabrican para hacer conexiones semipermanentes entre dos ejes o árboles. Existen tres tipos de acoples que son: Acople rígido, Acople flexible y acople hidráulico.

Los acoples rígidos sólo pueden utilizarse con ejes que estén perfectamente alineados. Para nuestro caso, los ejes no están alineados, el acople rígido nos produce mucha vibración a causa de las altas

acoplar árboles que solo están desalineados transversalmente.

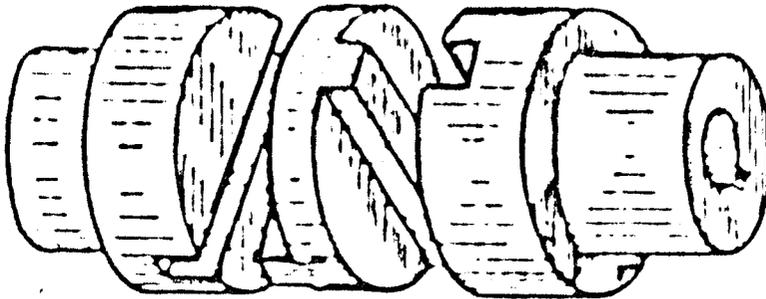


Figura # 11 Acoplamiento Oldham

b.- El acoplamiento flexible **Fast** figura # 12 consta de dos cubos unidos por chavetas a sus árboles respectivos. Cada uno tiene indentaciones o ranuras amortajadas a la máxima distancia posible del extremo del árbol. Rodeando a los cubos hay una cubierta o manguito que está dividida transversalmente y con los rebordes sobresalientes de cada mitad unidos con pernos; cada una de estas mitades tiene ranuras talladas en su agujero central en la parte opuesta al reborde. Estas ranuras internas permiten un error definido de alineamiento transversal entre los dos árboles.

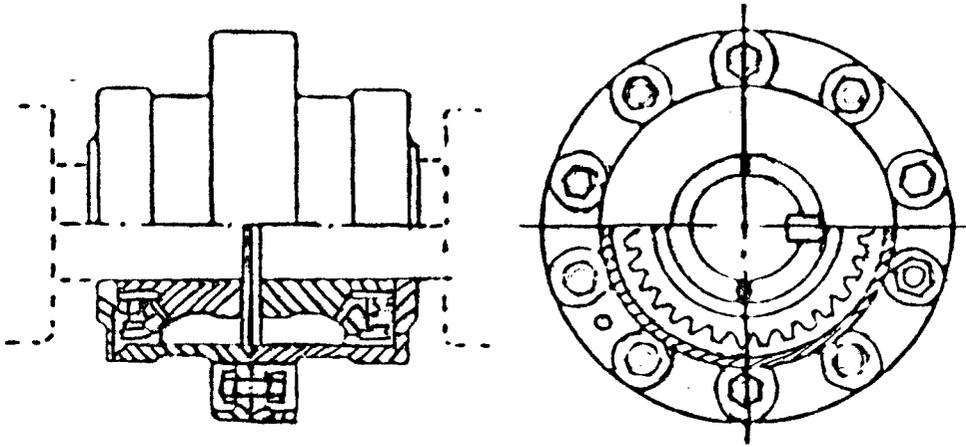


Figura # 12 Acoplamiento Fast

c.- El acoplamiento **Waldron** figura # 13 permite un error definido de alineamiento entre los dos ejes.

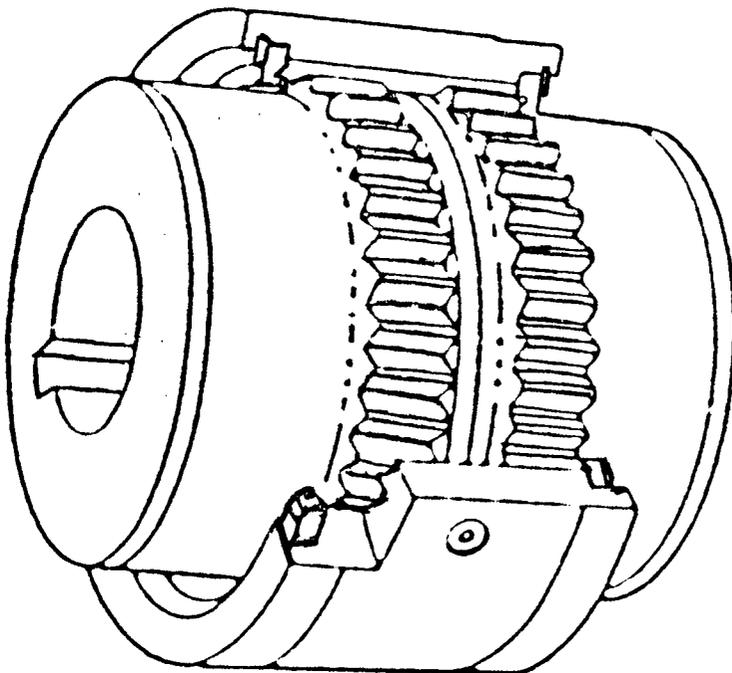


Figura #13 Acoplamiento Waldron

d.- Acoplamiento de **cadena** figura # 14 utiliza cadena silenciosa, pero puede usarse la cadena de rodillos normal con las ruedas dentadas apropiadas. También permite un desalineamiento definido entre los dos ejes.

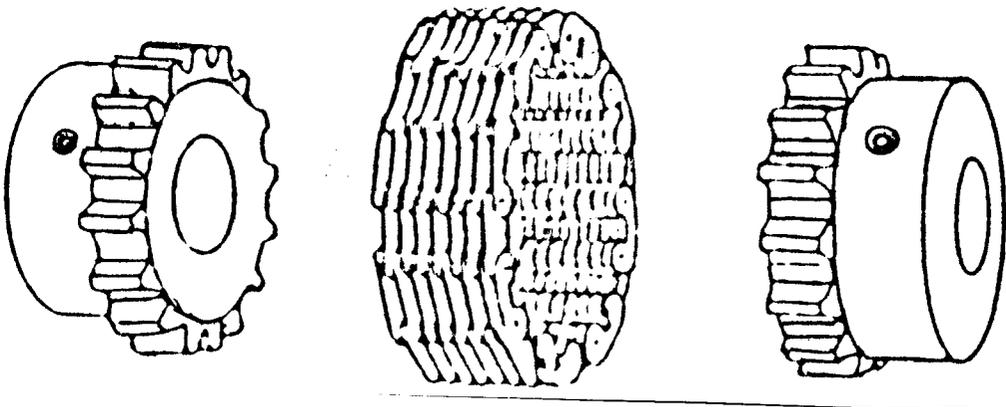


Figura # 14 Acoplamiento de cadena

e.- Acoplamiento **Steelflex** figura # 15 está formada por dos cubos de acero ranurados sujetos con cuñas a sus ejes respectivos. La conexión entre las dos mitades está asegurada por un miembro de aleación de acero especialmente templado llamado rejilla, esto nos permite tener un error definido en la alineación

transversal de los ejes.

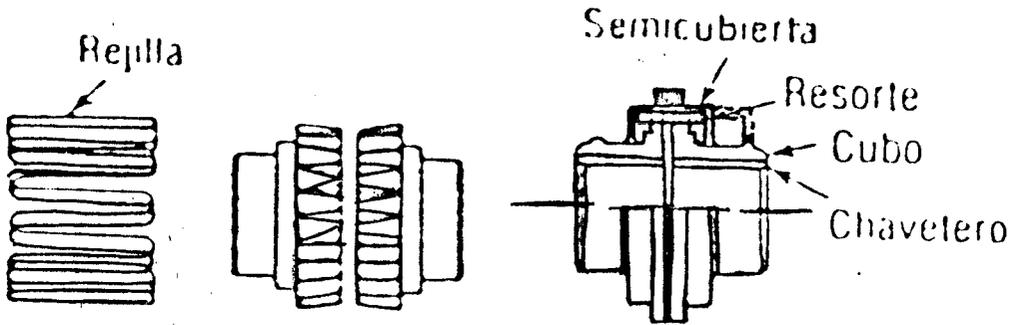


Figura # 15 Acoplamiento steelflex

f.- Acoplamiento flexible de **hule** figura # 16 el par se transmite a través de una sección de hule relativamente suave que actua al corte, permite un razonable desalineamiento del eje y se recomienda sólo para cargas ligeras.

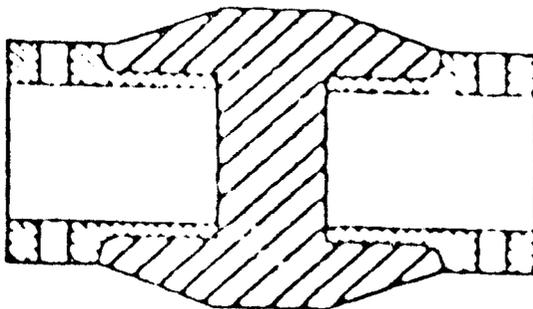


Figura # 16 Acoplamiento de hule

g.- Acoplamiento flexible de **hule tipo compresión** figura # 17 usa un miembro intermedio de hule que soporta cargas a compresión, permite un desalineamiento razonable de los ejes y se recomienda para cargas ligeras.

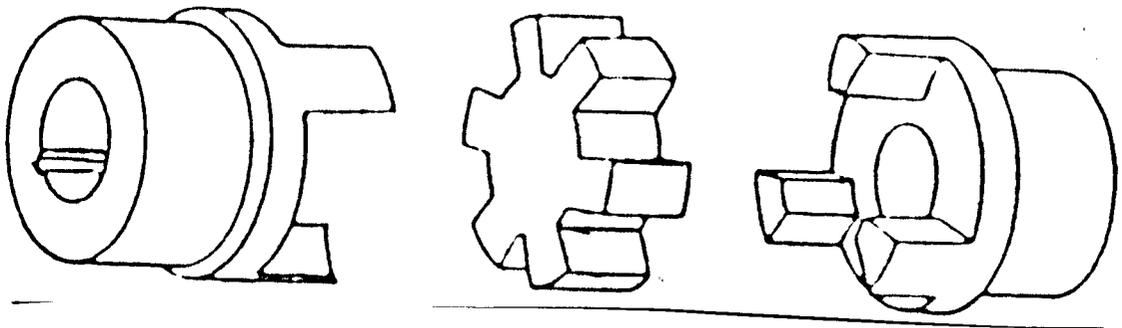


Figura # 17 Acoplamiento de hule tipo compresión

h.- Acople **Juntas Universales** figura # 18 se emplea para acoplar ejes con desalineaciones angulares mucho mayores que las toleradas en otra clase de acoplamientos flexibles. Pueden emplearse con ejes que formen ángulos hasta de 30 grados.

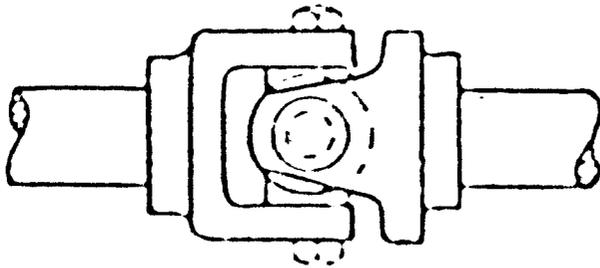


Figura # 18 Junta universal

Por lo anteriormente expuesto y considerando que entre los dos ejes habrá una desalineación angular y transversal y además deberá existir una forma de agarre entre los dos ejes para evitar que el eje conducido se caiga o resbale; se seleccionan tres tipos de acoples flexibles que son: Acople fast, Acople flexible de hule y acople junta universal. Cada uno de estos acoples fue probado de manera continua por 72 horas, teniendo los siguientes resultados:

El acople **FAST** aproximadamente cada 10 horas de

trabajo sufría la rotura de sus pernos, provocando que se resbale el eje propulsado hasta el fondo del tanque de prueba. Además cuando se revisó los rodamientos del motor se encontró que habían sufrido un desgaste excesivo.

El acople flexible de **HULE** durante toda la prueba presentó ruidos y vibraciones altas, esto era producto del rozamiento entre el eje propulsado y el housing (encamizado del equipo), esto a su vez provocaba un excesivo calentamiento del motor lo que hacía que se dispare el protector térmico. Una vez cumplida la prueba y revisado el motor, se encontró que el rodamiento del motor estaba completamente dañado.

El acople **junta universal** no presentó problemas durante las 72 horas de prueba. Revisado los rodamientos del motor, no se encontró desgaste.

El motivo por el cual se escogió estos tres tipos de acople para hacer las pruebas fué el costo de cada uno de estos en el mercado. El FAST costaba diez mil sucres, el de HULE costaba cinco mil sucres y la junta universal costaba veinticinco mil sucres; los otros eran sumamente más caros. De las pruebas realizadas se escogió el de más alto costo, es decir, el acople

junta universal. En la tabla #2 encontraremos el análisis que se hizo para la selección del acople. Siendo la escala la siguiente:

- 5 Excelente (muy resistente a la fatiga, no hace ruido, no desgasta los rodamientos, no hay otros daños ó sea barato)
- 4 Muy buena (resistente a la fatiga, poco ruido, poco desgaste de rodamientos, pequeños indicios de otros daños ó de costo bajo)
- 3 Buena (regular resistencia a fatiga, mediano ruido, mediano desgaste de los rodamientos, otros daños medianos ó de costo mediano)
- 2 Regular (poca resistencia a fatiga, bastante ruido, desgaste de los rodamientos, otros daños ó de costo alto)
- 1 Mala (no resiste a la fatiga, excesivo ruido, prematuro desgaste de los rodamientos, otros daños excesivos ó es muy caro)

| | FAST | HULE | J. UNIVERSAL |
|------------|------|------|--------------|
| FATIGA | 1 | 2 | 5 |
| RUIDO | 3 | 1 | 5 |
| RODAMIENTO | 2 | 1 | 5 |
| OTRO DAÑO | 1 | 1 | 5 |
| COSTO | 4 | 5 | 2 |
| TOTAL | 11 | 10 | 22 |

Tabla#2 Selección de acople

3.6 Diseño y modelaje teórico del aireador.

Como el aireador estará en contacto con un medio altamente corrosivo y abrasivo como lo es el agua de mar del anexo # 1 seleccionamos el tipo de material del que estará fabricado el aireador. Para agua de mar se tiene una gama de aceros inoxidable que podemos usar, pero en relación a costo y facilidad de encontrarlo en el mercado selecciono el ASTM A296 Gr. CF-8M, AISI 316.

Para el modelaje teórico, a partir de la ecuación #10 podemos calcular el empuje:

$$T = 325.7 n_o n_R P_D/V_A$$

$$T = 30.4 \text{ libras}$$

con este valor de empuje T y con el área proyectada A_p se calcula la presión de arrastre p_2

$$p_2 = \frac{T}{A_p} = \frac{30,4}{0.02117}$$

$$p_2 = 1436 \text{ lbs/pie}^2$$

$$p_2 = 9.97 \text{ lbs/pulg}^2$$

como podemos apreciar de la figura # 19 para calcular el caudal de aire que es introducido a la piscina se tiene que utilizar la ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + (Z_1 - Z_2) = 0 \quad (12)$$

conociendo que:

$p_1 = 14.7 \text{ lbs/pulg}^2$, $V_1 = 0$, $Z_1 = 1 \text{ pie}$, $Z_2 = -1 \text{ pie}$
y que $\gamma = 0.071 \text{ lbs/pie}^3$ para aire a 30 centigrados

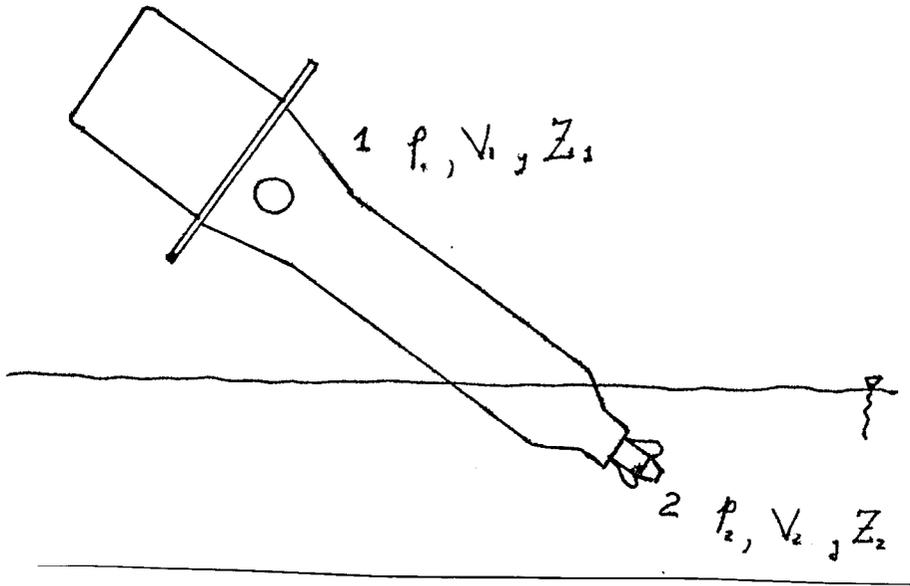


Figura # 19 Manera en la que funciona el equipo circular-aire

con estos valores de la ecuación #12 se calcula V_2

$$V_2 = 785.9 \text{ pies/seg.}$$

es decir $V_2 = 47154 \text{ pies/min.}$

sabiendo que el tubo por el cual es inyectado el aire tiene un diámetro interior de 1 pulgada se calcula el área transversal A_t del tubo

$$A_t = 0.006944 \text{ pies}^2$$

por lo tanto el caudal Q_g de aire introducido a la piscina es

$$Q_g = V_2 A_t \quad \text{por lo tanto} \quad Q_g = 328 \text{ pie}^3/\text{min.}$$

$$Q_g = 328 \text{ SCFM}$$

Conociendo el caudal se calcula el tiempo que será necesario tener en funcionamiento los equipos de aireación para elevar el nivel de oxígeno en la piscina de 2 mg/lt a 5 mg/lt. Para esto seleccionamos una piscina que tiene las siguientes dimensiones: 100m. X 50m. X 1.2m., en la cual el nivel máximo de agua era de 0.8m. En esta piscina se instalaron seis equipos de aireación perfectamente distribuidos.

Con el valor de Q_g y Z_2 voy a la figura # 3 e interpolando se obtiene el valor de $K_L(A/V)V$

$$K_L(A/V)V = 12500 \text{ pie}^3/\text{hr}$$

donde V es el volumen de agua de la piscina

$$V = 4000\text{m}^3 = 141150.21 \text{ pies}^3$$

con este valor se calcula $K_L(A/V)$ para los seis equipos

$$K_L(A/V) = (12500 * 6) / 141150.21$$

$$K_L(A/V) = 0.531/\text{hr}$$

La presión hidrostática del aire inyectado a través de los tubos es igual a la media aritmética de

la presión en el fondo y en la superficie de la laguna.

$$P_{\text{fondo}} = 1 \text{ atm.} + 2,63 \text{ pies H}_2\text{O} (0,0295 \text{ atm./pie H}_2\text{O}) = 1,0774 \text{ atm.}$$

$$P_{\text{media}} = \frac{1 + 1,0774}{2} = 1,039 \text{ atm.}$$

Como la fracción molar del oxígeno en el aire es de 0,21 , la presión parcial del oxígeno a la salida de los tubos rociadores debe ser de:

$$p_{\text{O}_2} (\text{atm.}) = 0,21 (1,039) = 0,2182 \text{ atm.}$$

La concentración de equilibrio de un gas poco soluble está relacionada con las presiones parciales de la Ley de Henry. A 20 C., esta Ley estipula para el oxígeno

$$p_{\text{O}_2} = (4,01 \cdot 10^4 \text{ atm./mol}) X_{\text{O}_2}$$

$$X_{\text{O}_2} = \frac{0,2182}{4,01 \cdot 10^4} = 5,44 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$$

Para un litro de solución de agua pura, la concentración de equilibrio en mg./lt. puede ser calculada como sigue:

$$\text{mol de agua} = \frac{(1.000 \text{ c.c. de agua}) (1 \text{ g./c.c. de agua})}{18 \text{ g de agua/mol}}$$

$$\text{mol de agua} = 55,6 \text{ mol}$$

$$\begin{array}{l} \text{mol de oxígeno en} \\ \text{un litro de agua} \end{array} = X_{\text{O}_2} (\text{moles solución})$$

$$= 5,44 \cdot 10^{-6} (55,6) = 3,0246 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{gramos de oxígeno/lt} &= (3,0246 \cdot 10^{-4} \text{ mol}) (32\text{g/mol}) \\ &= 9,68 \cdot 10^{-3} \text{ g./lt.} \end{aligned}$$

$$c_A^* = 9,68\text{mg./lt.}$$

Usando la ecuación # 6 podemos calcular el tiempo

$$t = \ln \frac{(c_A^* - c_{A,Lo})}{(c_A^* - c_{A,Lt})} \cdot \frac{1}{(K_L(A/V))}$$

$$t = \ln \frac{(9,68 - 2)}{(9,68 - 5)} \cdot \frac{1}{0,531/\text{hr}}$$

$$t = 0.93 \text{ horas}$$

$$t = 56 \text{ minutos}$$

esto indica que se necesitan 56 minutos para elevar el nivel de oxígeno de la piscina. Conociendo que las horas críticas en que las piscinas registran su más bajo nivel de oxígeno son el mediodía y la medianoche, los equipos deberán ser prendidos dos veces al día, a las 11H30 y a las 23H30 .

Para determinar el espesor del eje propulsor, se tomó en consideración los siguientes aspectos:

- a) El diámetro interior debería tener como mínimo 1 pulgada.
- b) Deberá tener el espesor necesario para hacerle la rosca en la que estará la hélice y la contratuerca.
- c) Deberá tener un factor de seguridad mínimo de 10 para asegurar una larga vida, debido al medio en el que trabajará.
- d) Facilidad para encontrarlo en el mercado.
- e) El costo.

El eje es hueco y está sometido a un momento torsor T , por consiguiente se tendrá que usar las siguientes ecuaciones:

$$\tau_{\max} = \sqrt{(\sigma_x/2)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (13)$$

$$\sigma_x = \frac{M}{Z}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T r}{J}$$

siendo:

T: Momento de torsión.

M: Momento flexor.

Z: Módulo de la sección, $Z = \pi(d^4 - d_i^4)/32d$.

J: Momento polar de inercia, $J = \pi(d^4 - d_i^4)/32$.

r: Radic exterior.

d: Diámetro exterior.

d_i : Diámetro interior.

se tiene

$$\sigma_x = \frac{32 d M}{\pi (d^4 - d_i^4)} \quad (14)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 d T}{\pi (d^4 - d_i^4)} \quad (15)$$

reemplazando las ecuaciones (14) y (15) en (13) se obtiene

$$\tau_{\max} = \frac{16 d}{\pi (d^4 - d_i^4)} \sqrt{M^2 + T^2} \quad (16)$$

si

$$\tau_{\max} = \frac{S_{se}}{n} \quad (17)$$

siendo

S_{se} : Límite de fatiga al corte.

n : Factor de seguridad.

donde:

$$S_{se} = 0.5 S_e$$

y

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

S_e : Límite a la fatiga

k_a : Factor de superficie.

k_b : Factor de tamaño.

k_c : Factor de confiabilidad.

k_d : Factor de temperatura.

k_e : Factor de modificación por concentración del esfuerzo.

k_f : Factor de efectos diversos.

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

S_{ut} : Esfuerzo máximo permisible.

para este caso:

$$k_a = k_b = k_d = k_e = k_f = 1$$

$$k_c = 0.62 \text{ (confiabilidad del 99.9999\%)}$$

por lo tanto:

$$S_{se} = 0.155 S_{ut}$$

para tuberías de ASTM A296 Gr. CF-8M se tiene que

$$S_{ut} = 16900 \text{ lbs/pulg}^2$$

entonces:

$$S_{se} = 2619.5 \text{ lbs/pulg}^2$$

conociendo que la potencia es de 3hp y gira a 3450 rpm se calcula el momento de torsión,

$$T = \frac{63000 * \text{hp}}{\text{rpm}}$$

$$T = 54.78 \text{ Lbs-pulg.}$$

para obtener el valor del momento flexor hacemos los diagramas del cortante V y de los momentos M, como se muestra en la figura # 20, donde:

$$M_1 = \frac{T a}{1} = 7.4 \text{ lbs-pulg.}$$

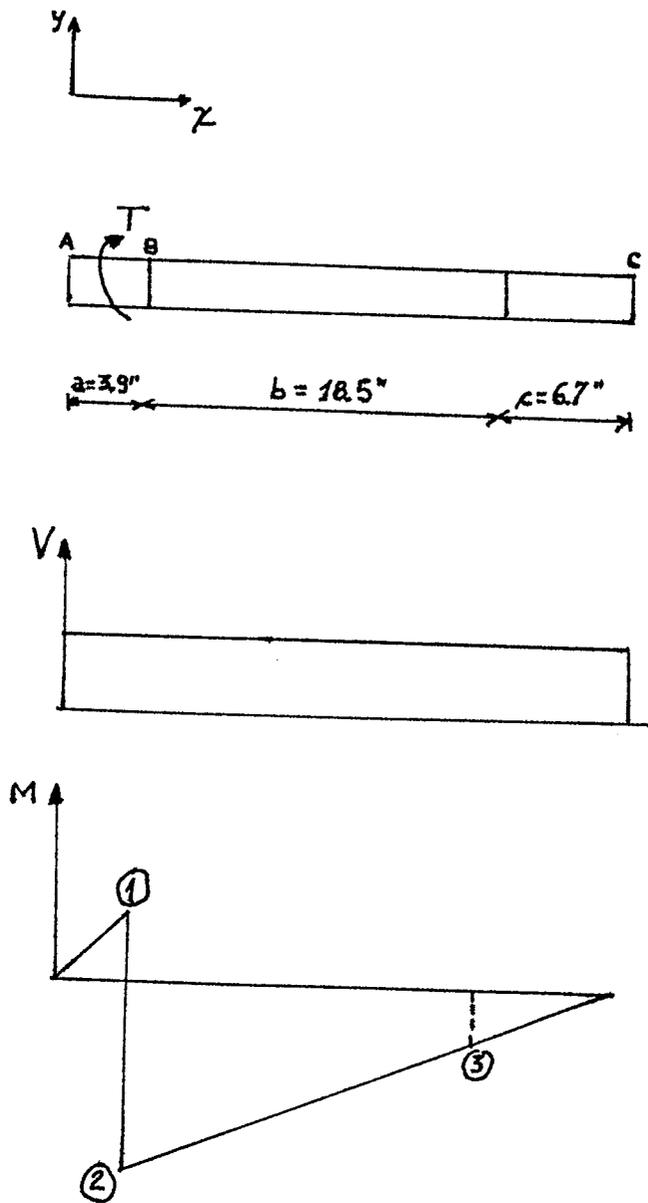


Figura # 20 Diagrama del cortante y del momento flexor

$$M_2 = \frac{T (a - l)}{l} = - 47.4 \text{ lbs-pulg.}$$

$$M_3 = \frac{T (a + b - l)}{l} = - 12.6 \text{ lbs-pulg.}$$

$$V = \frac{T}{l} = 1.88 \text{ lbs.}$$

reemplazando la ecuación (17) en la (16) y, despejando la expresión que contiene a los diámetros, se tiene:

$$\frac{d^4 - d_i^4}{d} = \frac{16 n}{\pi S_{se}} \sqrt{M^2 + T^2} \quad (18)$$

para el punto 3 conociendo que el diámetro interior $d_i=1$ pulg., se calcula el diámetro exterior a partir de la ecuación # 18 y se obtiene

$$\frac{d}{d^4 - d_i^4} = 1.092869579$$

por tanteo se obtiene el diámetro exterior como se muestra en la tabla #3

| d (pulgadas) | d_i (pulgadas) | $(d^4 - d_i^4)/d$ |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| 1.1 | 1 | 0.421909 |
| 1.25 | 1 | 1.153125 |
| 1.24 | 1 | 1.1001723 |
| 1.238 | 1 | 1.08965883 |
| 1.2385 | 1 | 1.0922848 |
| 1.2386 | 1 | 1.092810216 |
| 1.23861 | 1 | 1.09286276 |
| 1.238611 | 1 | 1.092868013 |

Tabla #3 Determinación del diámetro exterior del eje

esto indica que nuestro eje tubular tendrá un diámetro exterior y un diámetro interior de

$d = 1.238611$ pulg. y **$d_i = 1$ pulg.**

$d = 31.46$ mm. y $d_i = 25.4$ mm.

esto da un espesor **$e = 3.03$ mm.**

pero este espesor es muy pequeño para hacer el hilo de

la rosca; esto iba a dar como resultado un eje tubular con un espesor de pared muy grande. Se optó por hacer el eje en dos partes figura # 21. Una en la cual irá colocada la contra tuerca, la hélice y el bocín de acero inoxidable, lo que da una longitud de 170 mm.; la otra en la que irá la junta universal que tiene una longitud de 470 mm.

El tramo de 170 mm de longitud tiene un diámetro interior de 25.4 mm. y, como en este tramo deberá ir la hélice, se selecciona un espesor de pared de 6.6 mm., lo cual da un diámetro exterior de 32 mm., esto da un factor de seguridad

$$n = 11$$

Para el tramo de 470mm. de longitud se consideró el diámetro exterior de la junta universal, el cual es de 48mm. y de la ecuación # 18 con un factor de seguridad $n=10$ por tanteo se calculó el diámetro interior $d_i=45.3\text{mm.}$, lo que da un espesor de pared $e=1.35\text{mm.}$ Como en el mercado sólo hay tuberías con espesores más grandes, se seleccionó la que tiene un espesor de pared de 2.6mm. es decir tendrá un diámetro interior $d_i=42.8\text{mm.}$ lo cual da un factor de seguridad de:

$$n = 17.6$$

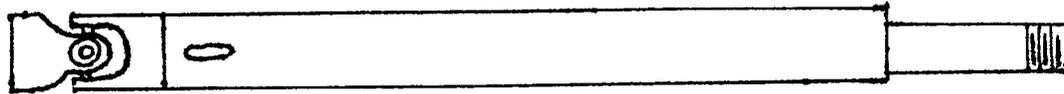


Figura .# 21 Eje propulsor

Para la sección que une la junta universal y el tramo de 470mm., al estar unidas por soldadura, se determina el esfuerzo cortante máximo para soldadura circunferencial por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\tau = \frac{T r}{J} \quad (19)$$

$$\tau'' = \frac{V}{A} \quad (20)$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\tau^2 + \tau''^2} \quad (21)$$

donde:

$A = 1.414 \pi h r$: Area de garganta de soldadura.

$J = 0.707 h J_u$: Momento polar de inercia.

$J_u = 2 \pi r^3$: Momento polar de inercia unitario.

T : Momento de torsión.

V : Fuerza cortante.

h : Espesor de la soldadura.

r : Radio interior del tubo.

sabiendo que

$d_i = 42.8 \text{mm}$ (1.685pulg.) y $e = h = 2.6 \text{mm}$ (0.102362pulg.)

se tiene:

$$\tau = 169.7 \text{ libras/pulg}^2.$$

$$\tau'' = 4.91 \text{ libras/pulg}^2.$$

$$\tau_{\max} = 169.8 \text{ libras/pulg}^2.$$

conociendo que

$$\tau_{\max} = \frac{S_{se}}{n}$$

se obtiene un factor de seguridad de

$$n = 15.4$$

Para la parte del Housing o encamisado se toma en cuenta solamente que no haya rozamiento entre el eje propulsor y el housing, ya que este solamente va a estar sometido al efecto de la corrosión. El housing se lo divide en tres tramos: El primero en el que irá el bocín marino para evitar la vibración del eje propulsor y la cual tiene una longitud de 100 mm. El segundo tramo tiene una longitud de 400 mm. y cumple el objetivo de mantener alineado el tramo que lleva el bocín marino y evitar el rozamiento con el eje propulsor. El tercer tramo está localizado justo donde va la junta universal y tiene una forma cónica para evitar el rozamiento entre la junta universal y el housing, tiene una longitud de 130 mm. En la parte

final del tercer tramo va una brida que es la que mantendrá el housing unido con el motor (ver planos en el anexo # 2).

4. Costo y Construcción.

COSTO PARA FABRICAR UN AEREADOR CIRCULAR-AIRE DE 3HP CON ACERO INOXIDABLE 316

COSTO DE LOS MATERIALES PARA FABRICAR UN AIREADOR

| MATERIALES | CANTIDAD | COSTO EN SUQUES |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Tubería ac.316 Φ 3"sch10 | 400mm. | 23.260 |
| Tubería ac.316 Φ 2 1/4"sch10 | 100mm. | 2.970 |
| Tubería ac.316 Φ 1 1/4"sch40 | 170mm. | 4.680 |
| Tubería ac.316 Φ 1 3/4"sch5 | 470mm. | 14.600 |
| Placa ac.316 de 2 mm. | 300mm. X 150mm. | 25.000 |
| Brida ac.316 Φ i120- Φ e172 | 1 u. | 28.000 |
| Soldura ac.316 | 1750 mm. | 1.000 |
| Hélice acero | 1 u. | 28.000 |
| Rodamiento marino | 1 u. | 50.000 |
| Ajustador de ángulo | 1 u. | 4.000 |
| Pernos | 8 u. | 400 |
| Unión universal | 1 u. | 30.000 |
| Arandelas de presión | 8 u. | 160 |
| Flotador | 1 u. | 100.000 |
| Motor | 1 u. | 150.000 |
| SUBTOTAL | | 462.070 |

COSTO DE LA MANO DE OBRA PARA PRODUCIR UN AIREADOR

| TRABAJADOR | DIAS | COSTO EN SUCRES |
|-----------------|------|-----------------|
| TORNERO | 0,25 | 1.800 |
| FRESADOR | 0,25 | 1.800 |
| TALADRADOR | 0,25 | 1.800 |
| SOLDADOR | 0,25 | 1.800 |
| CORTADOR | 0,25 | 1.800 |
| ENSAMBLADOR | 0,25 | 1.200 |
| AYUDANTES | 0,25 | 2.400 |
| SUBTOTAL | | 12.600 |

COSTOS INDIRECTOS PARA PRODUCIR UN AEREADOR

| | |
|-----------------------------------|----------------|
| GASTOS ADMINISTRATIVO (0,8%) | 3.697 |
| IMPRERVISTOS (2%) | 9.241 |
| COSTOS DE OPERACION (0,8%) | 3.697 |
| SUBTOTAL | 16.635 |
| COSTO TOTAL DE UN AEREADOR | 491.305 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio he determinado que el mejor método para aumentar el nivel de oxígeno en una piscina es el circular-aire y para la construcción de éste se ha seleccionado el material más adecuado para resistir el ataque corrosivo del medio en donde operará éste equipo, así como su disponibilidad en nuestro medio. Se han seleccionado las partes de manera que tengan una gran vida útil y el menor costo posible, por lo que se concluye lo siguiente:

Existen los motores disponibles en el mercado para la fabricación de éste equipo.

Existe la junta universal

Existe las tuberías de acero inoxidable 316

Existe la tecnología para la elaboración de las hélices.

Existen las máquinas-herramientas necesarias para la construcción del equipo.

Existe la mano de obra calificada.

Existe la demanda de los equipos.

En lo referente al precio se tiene que el equipo importado tiene un costo de S/.1'500.000,00 mientras que el fabricado en el Ecuador es de S/.491.305,00 ,

comercializandolo en S/.1'000.000,co dio una rentabilidad del orden del 100%. Esto demuestra que usando la tecnología de nuestro país se pueden fabricar los aireadores a un costo menor que los importados.

Recomiendo por lo tanto usar los materiales especificados y además aplicar las normas indicadas en el plano general, como en los planos de las de partes del equipo, para que éste no tenga problemas de funcionabilidad. Así mismo recomiendo cambiar cada seis meses el bocín de acero inoxidable y lubricar la junta universal cada semana para evitar la corrosión en sus partes. Cada año se deberán cambiar los rodamiento del motor.

BIBLIOGRAFIA:

- * Fundamentals of Momentum Heat and Mass Transfer, Welty - Wilson -Wicks; segunda edición, 1.976; cap.31.2
- * Analysis of Heat and Mass transfer, Eckert - Drake, Jr.; primera edición, 1.972, cap.22
- * GPM Goulds Pump Manual, tercera edición, sección 16B-2(a)
- * Manual del Ingeniero Mecánico, Marks; octava edición(segunda en español), 1989, capítulos 6, 8 y 11
- * Principles of Naval Architecture; SNAME, primera edición, 1967, secciones 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17

ANEXOS

ANEXO # 1

TABLA DE SELECCION DE MATERIALES

Esta tabla tiene la intención de ser una guía de selección de materiales económicos. Debe tenerse en mente que los rangos de corrosión pueden variar ampliamente con la temperatura, concentración y la presencia de trazos de elementos o de sólidos abrasivos. Los espacios en blanco indican la carencia de información precisa de corrosión para esas condiciones específicas.

En general la tabla está limitada para esos materiales que regularmente son suministrados por la GOULDS. La GOULDS inclusive suministra bombas y partes en materiales no metálicos. A continuación se detalla una lista de los materiales con sus designaciones apropiadas:

- C.I.- CAST IRON, ASTM A48 CLASS 25B O 30B
- D.I.- DUCTILE IRON, ASTM A536
- STEEL - CARBON STEEL, ASTM A216-WCA O WCB
- Brz.- ANTI-ACID BRONZE, SIMILAR AL ASTM B143A2
- 316SS - STAINLESS STEEL, ASTM A296, Gr. CF-8M, AISI 316
- GA-20 - CARPENTER STAINLESS No.20, ASTM A296 Gr. CN-7M
- CD4MCu - STAINLESS STEEL, ACI CD-4MCu
- Mon - MONEL GRADE E, ASTM A296 Gr. M-35
- Ni - NICKEL, ASTM A296 Gr. CZ-100
- H-B - HASTELLOY ALLOY-B ASTM A494
- H-C - HASTELLOY ALLOY-C ASTM A494
- Ti - TITANIUM UNALLOYED, ASTM B367 Gr. C-1
- Zi - ZIRCONIUM

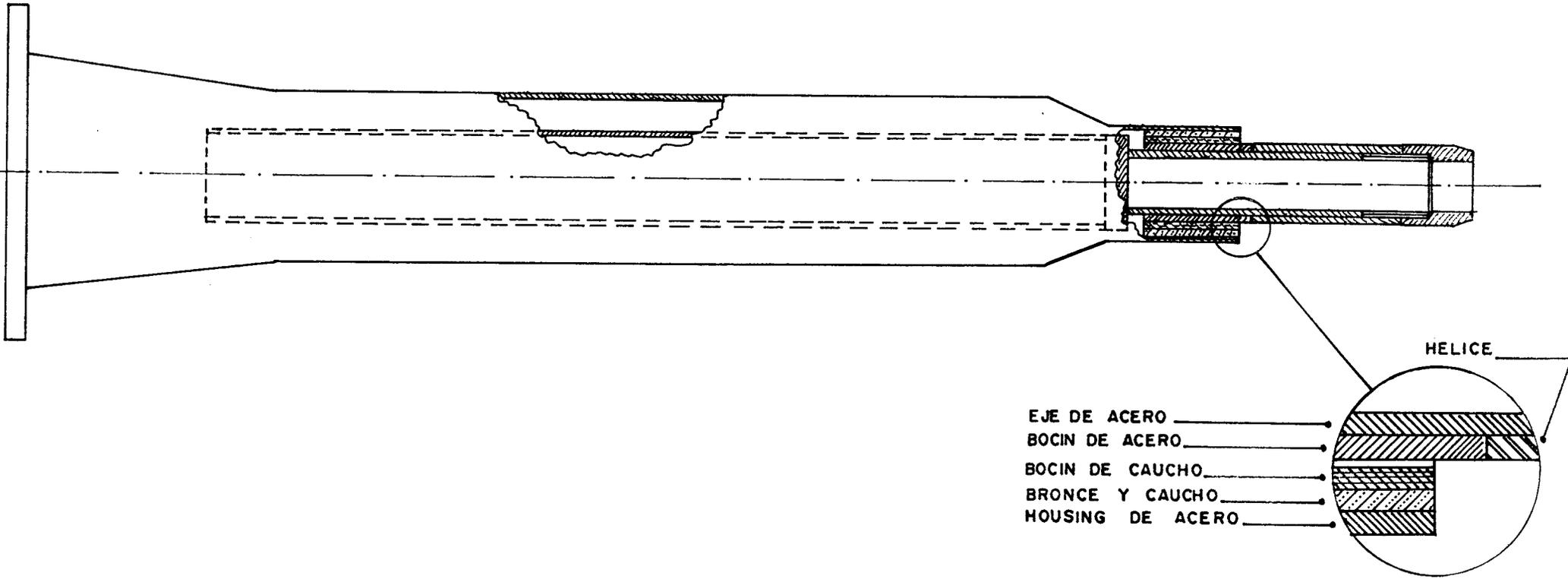
CODIGO

- A - TOTALMENTE SATISFACTORIO
- B - PROVECHOSAMENTE RESISTENTE
- C - USO LIMITADO
- X - INAPROPIADO

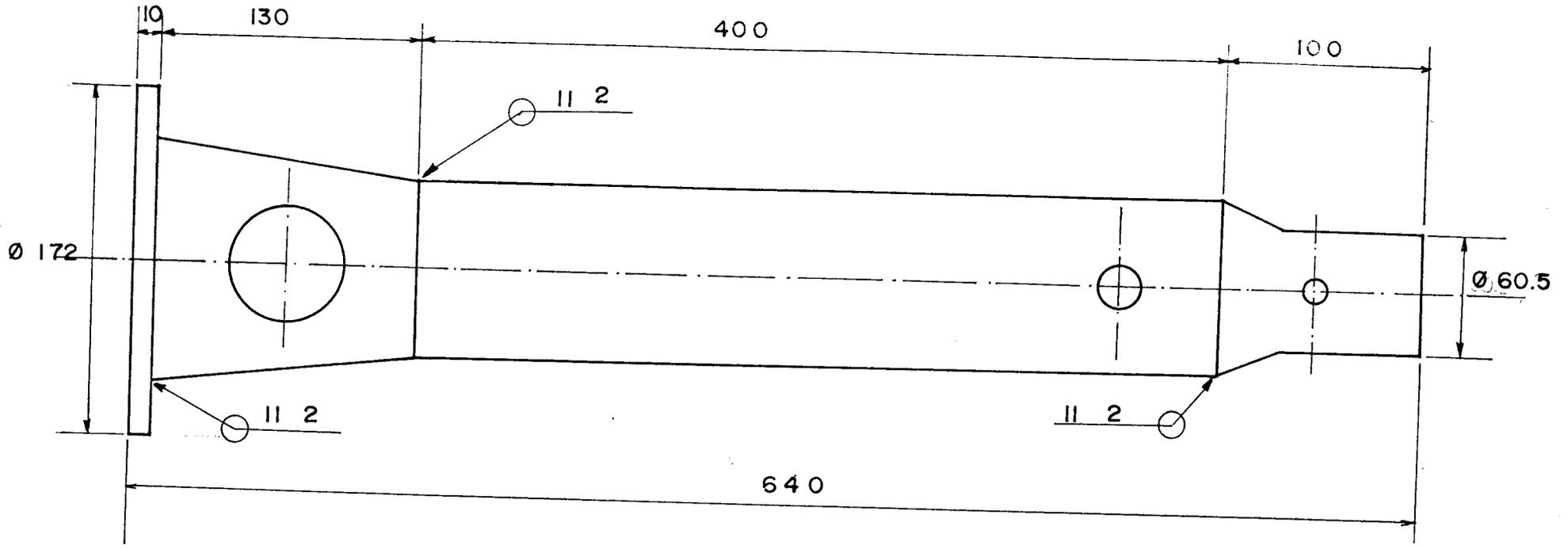
| Corrosive | Stel | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------|------|-------|-------|--------|-----|----|-----|-----|----|----|
| | C.I. D.I. | Brz. | 316SS | GA-20 | DD4MCu | Mon | Ni | H-B | H-C | Ti | Zi |
| Sea Water, 70 F | C | B | B | A | B | A | A | A | A | A | A |
| Sodium Bisulphate | X | C | C | B | C | C | C | B | B | B | A |
| Sodium Bromide | B | C | B | B | B | B | B | B | B | | |
| Sodium Carbonate | B | B | B | A | B | B | B | B | B | A | A |
| Sodium Chloride | C | B | B | B | E | A | A | B | B | A | A |
| Sodium Cyanide | B | X | B | B | B | X | X | | | B | |
| Sodium Dicromate | B | X | B | B | B | | | | | B | |

ANEXOS # 2

Planos



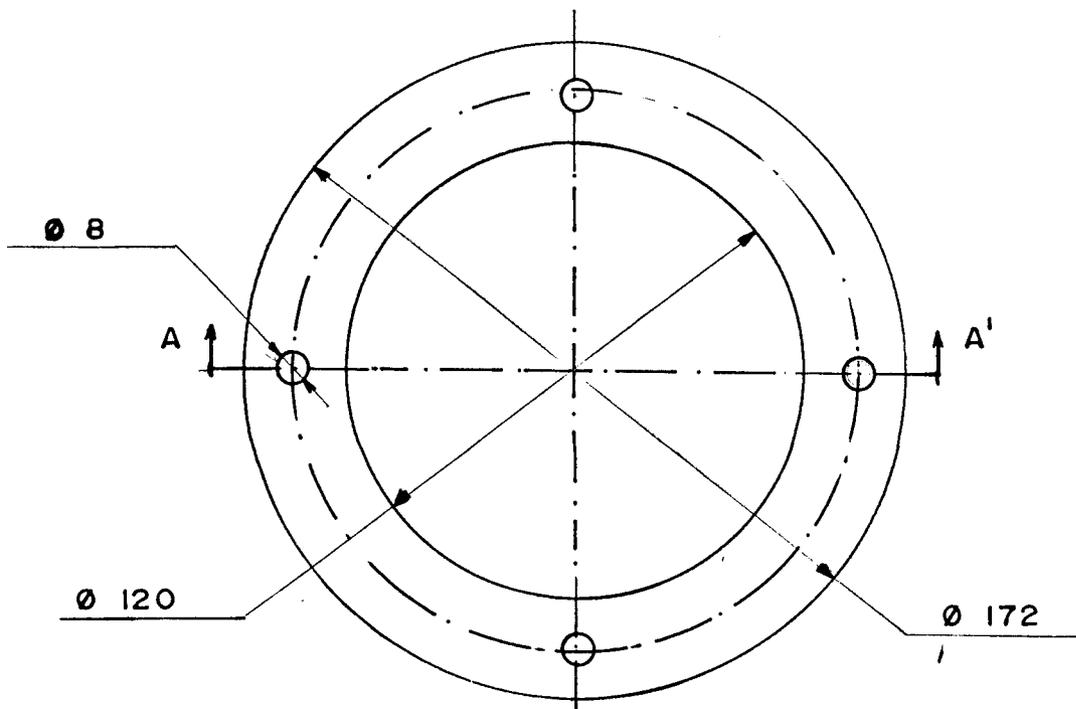
| | | | | |
|--------|-------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| DIBUJO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| APROBO | May. 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | AIREADOR | MATERIAL |
| 1:3 | | | | AISI 316 |
| LAMINA | | | | CANTIDAD |
| 1 | | | | |



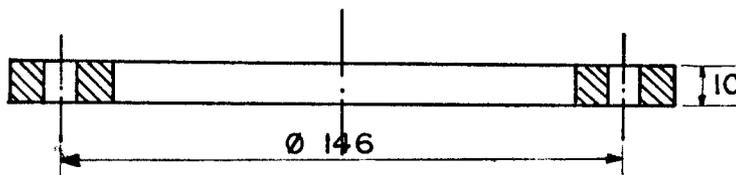
VISTA LATERAL

Nota: Todas las medidas en mm.

| | | | | |
|--------|------------------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov 89 | L. Andrade | | |
| DIBUJO | Nov 89 | L. Andrade | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | | MATERIAL |
| 1:3 | ENSAMBLAJE DEL HOUSING | | | AISI 316 |
| LAMINA | | | | |
| 2 | | | | |



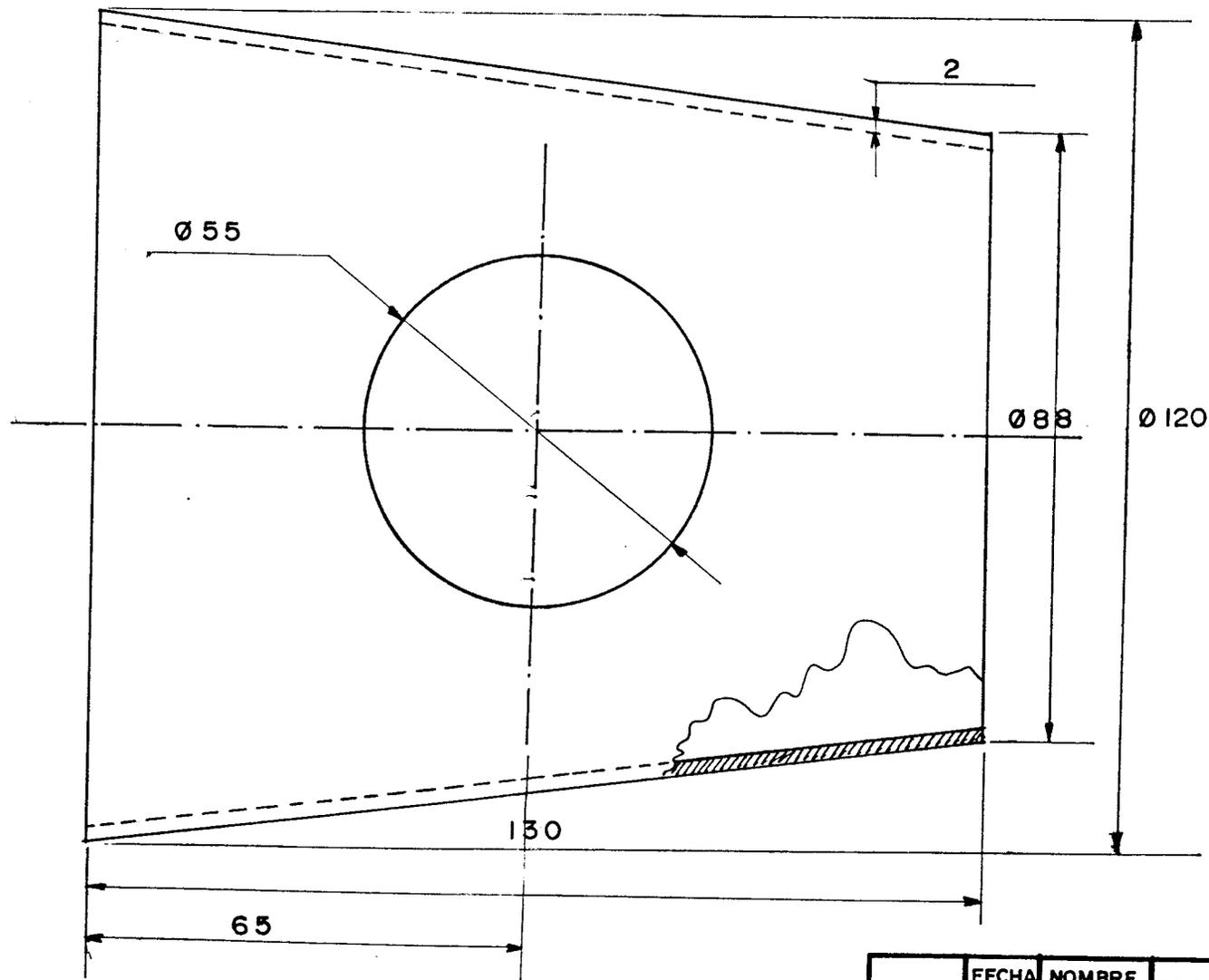
VISTA SUPERIOR



CORTE AA'

Nota Todas las medidas en m.m.

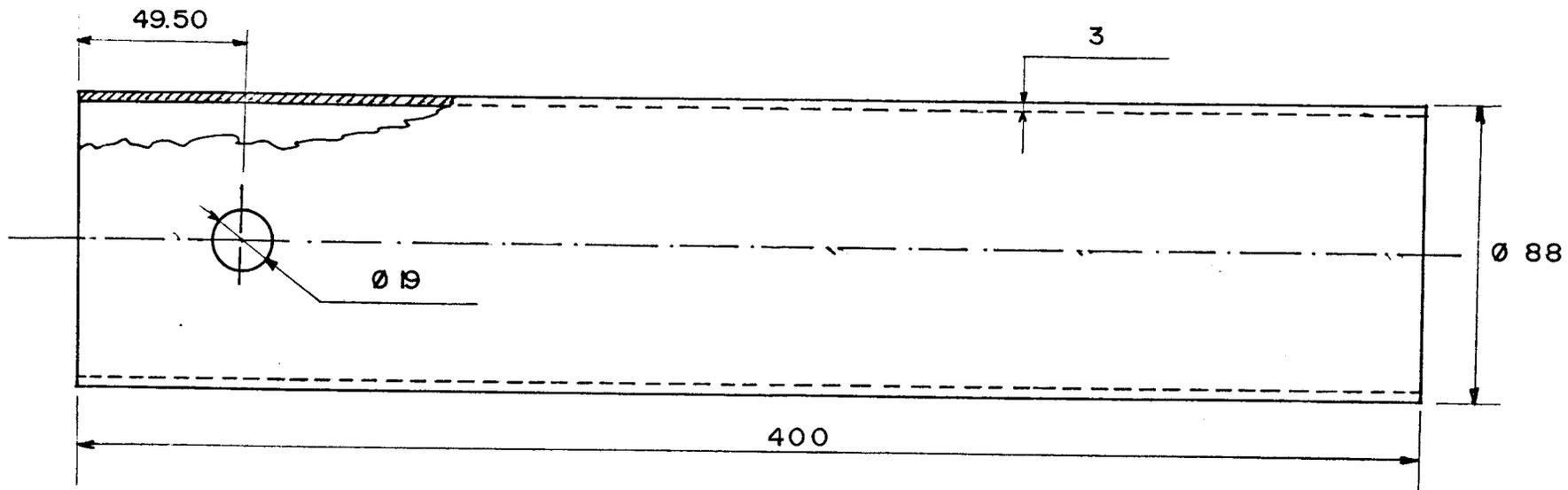
| | | | | |
|--------|-------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| DIBUJO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | BRIDA | MATERIAL |
| 1:2 | | | | AISI 316 |
| LAMINA | | | | |
| 3 | | | | CANTIDAD |



VISTA LATERAL

Notas: Todas las medidas en mm.

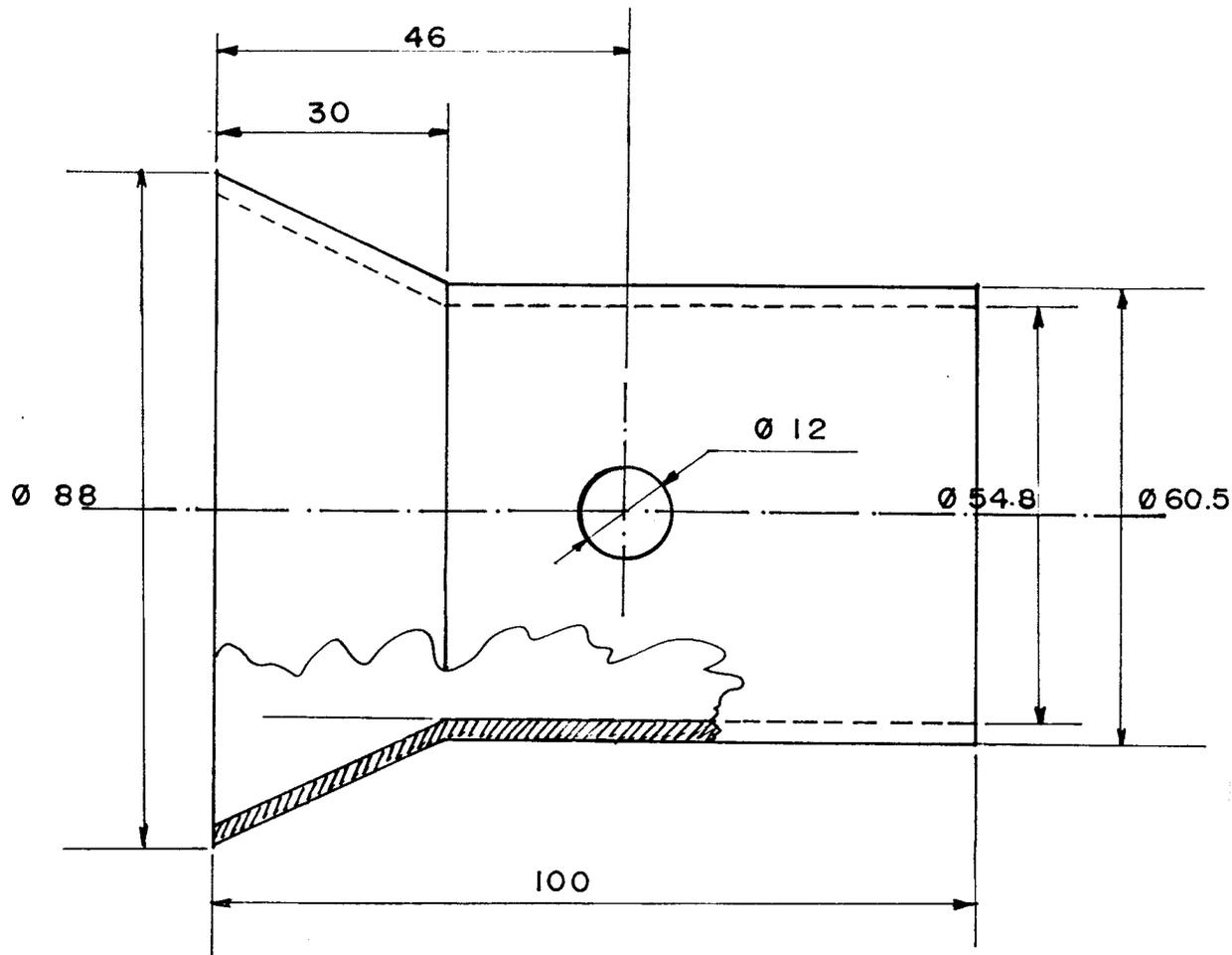
| | | | | |
|--------|-------------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| DIBUJO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | | MATERIAL |
| = | CONO TOMA DE AIRE | | | AISI 316 |
| LAMINA | | | | CANTIDAD |
| 4 | | | | |



VISTA LATERAL

Notas Todas las medidas en mm.

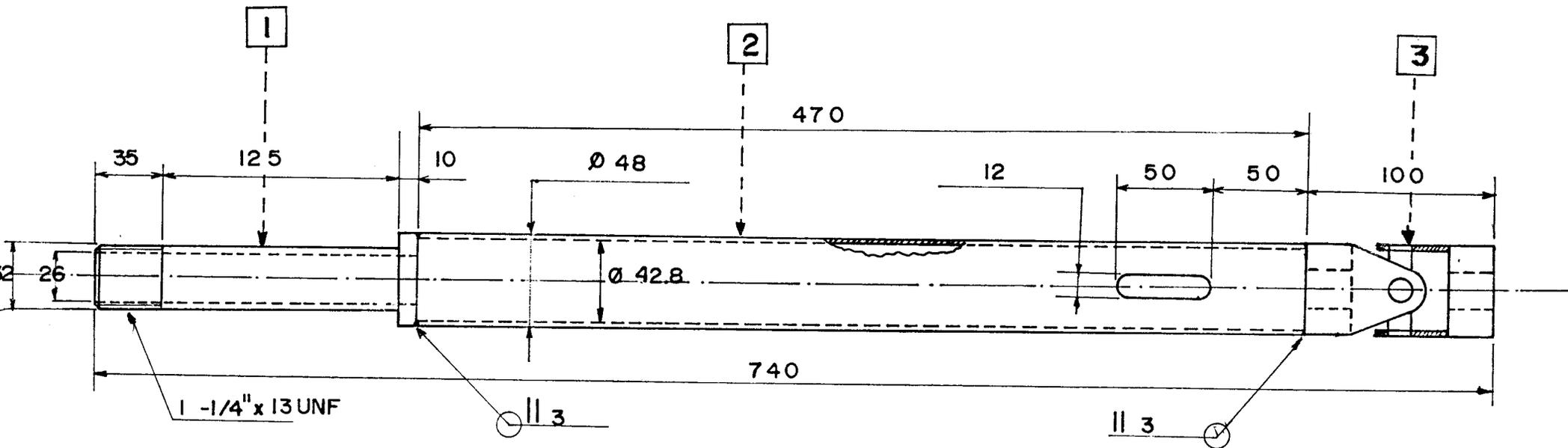
| | | | | |
|--------|--------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov 89 | L. Andrade | | |
| DIBUJO | Nov 89 | L. Andrade | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | | MATERIAL |
| 1:2 | TUBO HOUSING | | | AISI 316 |
| LAMINA | | | | |
| 5 | | | | CANTIDAD |



VISTA LATERAL

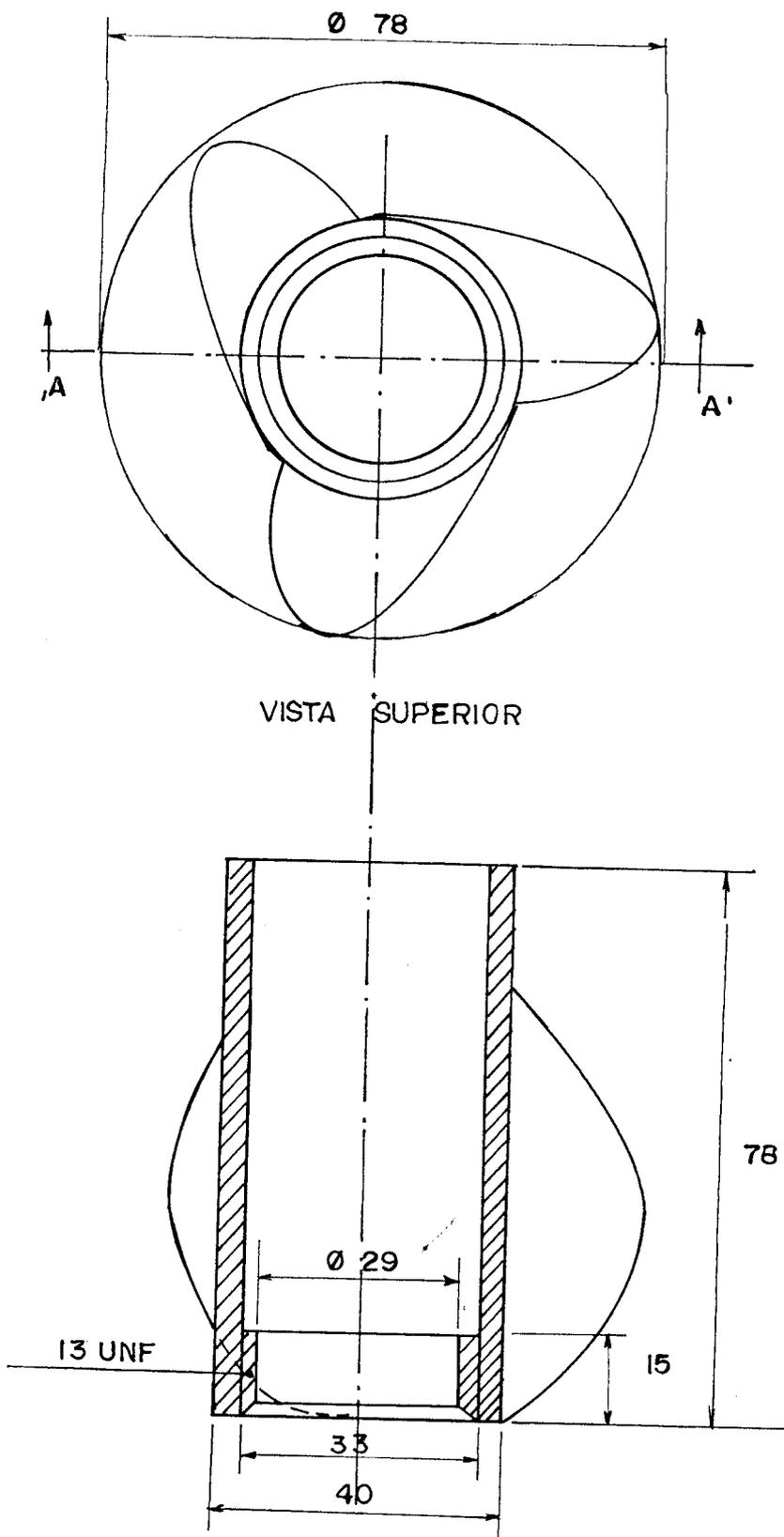
Nota Todas las medidas en mm.

| | | | | |
|--------|-------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov. 89 | L. ANDRAD | | |
| DIBUJO | Nov. 89 | LrAndrade | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | PORTA BOCIN MARINO | MATERIAL |
| 1:1 | | | | AISI 316 |
| LAMINA | | | | CANTIDAD |
| 6 | | | | |



Note Todas las medidas en mm.

| | | | | |
|--------|---------------------|-------------|------------------------------------|----------|
| | FECHA | NOMBRE | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
| DISEÑO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| DIBUJO | Nov. 89 | L. Andrade | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | | MATERIAL |
| 1:3 | EJE PROPULSOR | | | AISI 316 |
| LAMINA | 1.- PORTA HELICE | | | |
| | 2.- TUBO PROPULSOR | | | |
| 7 | 3.- UNION UNIVERSAL | | | |
| | | | | CANTIDAD |



Nota: Todas las medidas en mm

| FECHA | | NOMBRE | | FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA | ESPOL |
|--------|-------------|-------------|--|------------------------------------|----------|
| DISEÑO | Nov 89 | L. Andrade | | | |
| DIBUJO | Nov 89 | L. Andrade | | | |
| APROBO | May 93 | E. Martinez | | | |
| ESCALA | DESCRIPCION | | | | MATERIAL |
| 1:1 | HELICE | | | | |
| LAMINA | | | | | AISI 316 |
| 8 | | | | | |