

T
620.0045
S487

PROYECTO DE UN EQUIPO DE CONTROL DE CALIDAD PARA PALANQUILLAS DE ACEROS POR MEDIO DE PARTICULAS MAGNETICAS



D 3971



TESIS DE GRADO
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

4 FEB. 1971
DONACION
INGRESADO A INVENTARIO CON
ORD. NO. D-3971

PRESENTADO POR
OMAR SERRANO VALAREZO

EGRESADO DE LA
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

PROYECTO DE UN EQUIPO DE CONTROL DE
CALIDAD PARA PALANQUILLAS DE ACEROS
POR MEDIO DE PARTICULAS MAGNETICAS

AUTOR:

OMAR SERRANO VALAREZO

CERTIFICADO POR:

INGENIERO MECANICO
ALFREDO BARRIGA R.
DIRECTOR DE TESIS

ACEPTADA POR:

INGENIERO MECANICO
FREDDY CEVALLOS B.
DIRECTOR DEL DPTO.
DE INGENIERIA MECANICA

DEDICATORIA:

A MIS PADRES Y ESPOSA

EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE ESTA TESIS
PERTENECE A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

DECLARACION EXPRESA:

LA RESPONSABILIDAD DE LOS HECHOS IDEAS
Y DOCTRINAS EXPUESTAS EN ESTA TESIS,
CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE A SU AUTOR.

(ARTICULO SEXTO DEL REGLAMENTO DE
EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES)

OMAR SERRANO VALAREZO

AGRADECIMIENTO:

A LOS PROFESORES DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA MECANICA DE LA ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL POR
HABERME AYUDADO EN UNA U OTRA FORMA
A LA CULMINACION DE MI CARRERA.

UN ESPECIAL AGRADECIMIENTO A LA
DIRECCION DE TESIS.

LISTA DE SIMBOLOS

A	= Area, factor
B	= Inducción magnética
Br	= Magnetismo remanente
C	= Constante, carga dinámica de cojinete, factor de corrosión, pérdidas de flujo en accesorios de tuberías
D	= diámetro
Dp	= Distancia entre ejes en pasos
Dr	= Diámetro para rodillo de cadenas
F	= Fuerza actuante, fuerza magnetizante, ancho de diente
Fp	= Factor de servicio para cadenas
Fr	= Factor de fricción en rodillos de cadenas
Fs	= Factor de velocidad en cadenas
H	= Intensidad de campo magnético, pérdidas en tuberías por fricción
Hc	= Fuerza cohesiva
HP	= Caballaje
I	= Momento de inercia
I/c	= Módulo de sección
J	= Coeficiente dinámico para engranajes
Kc	= Tenacidad a la fractura
Km, Kt	= Factores de servicio al impacto y fatiga para ejes y engranajes
Ks	= Coeficiente de corrección de tamaño para engranajes
Ko	= Coeficiente de corrección de sobrecarga para engranajes
Kv	= Coeficiente dinámico para engranajes
L	= Longitud
Lh	= Vida recomendable en cojinetes
Lp	= Longitud de cadena en pasos
M	= Momento flector máximo
Mw	= Peso de palanquillas por pie de transportación
N	= Número de dientes, normal de una fuerza
P	= Carga (fuerza), pitch
Pm	= Tracción máxima de carga para cadenas
Q	= Caudal de fluido
R	= Radio
Re	= Número de Reynolds
S	= Velocidad lineal
Ssmax	= Tensión máxima de esfuerzos combinados para ejes

T = Momento torsor, capacidad máxima de transportación
V = Volumen, velocidad en fluidos
W = Peso
W_s = Trabajo de eje
W^t = Carga sobre diente de engranajes
Z = Altura

a = Tamaño de fisura
d = Diámetro
f = Factor: de fricción en cojinetes, de deslizamiento de
cadena sobre guías, de fricción en tuberías
f_k = Fuerza de rozamiento
g = Aceleración de la gravedad
h = Altura de cuña, carrera de émbolo
i = Intensidad de corriente eléctrica
k = Rugosidad de tubería
m = Masa
n = Número de dientes
p = Presión, diametral pitch
r = Radio, radio de giro
rpm = Revoluciones por minuto
t = Espesor, tiempo
u = Permeabilidad magnética
u_k = Coeficiente de rozamiento cinético
w = Ancho de cuña
x = Distancia

γ = Peso específico
θ = Angulo de inclinación
ν = Viscosidad cinemática del agua
ρ = Densidad
φ = Flujo magnético
σ = Tensión, esfuerzo, esfuerzo permisible al pandeo
μ = Módulo de Poisson

LISTA DE TABLAS

2.1.- Valores de la Corriente de Magnetización	18
3.1.- Composición Química de los aceros examinados	21
3.2.- Propiedades mecánicas de los aceros examinados	21
3.3.- Propiedades magnéticas de los aceros examinados	22
3.4.- Concentración de partículas fluorescentes en suspensión	28
3.5.- Punto de Curie de algunos metales	33
3.6.- Temperaturas del trabajado mecánico	34
4.1.- Aceros austeníticos	35
4.2.- Composición química de los aceros austeníticos	36
4.3.- Dimensiones del transportador	41
4.4.- Factores de servicio para cadenas	43
4.5.- Características del sistema de reducción	50
4.6.- Valores de velocidad y diámetros para el meca- nismo de magnetización	73
B-1 Rodamientos de rodillos a rótula (Serie 230 C)	
B-2 Tabla de chumaceras	
B-3 Dimensiones de cuñas	
B-4 Rodamientos de rodillos a rótula (Serie 222 C)	
B-5 Dimensiones de Acoplamientos	
B-6 Vigas I	
B-7 Soportes de brida	
B-8 Vigas U	
B-9 Angulos	
B-10 Soportes de pie.	

LISTA DE FIGURAS

1.1.- Relación entre calidad y costos	5
1.2.- Determinación del nivel de calidad	5
1.3.- Líneas de fuerza	8
1.4.- Campo de fuga	9
1.5.- Magnetización circular de una pieza	10
3.1a.-Distribución del campo magnético usando corriente continua	23
3.1b.-Distribución del campo magnético usando corriente alterna	24
3.2a.-Efecto de la orientación de defectos en una barra magnetizada circularmente	24
3.2b.-Efecto de la orientación de defectos en una barra magnetizada longitudinalmente	25
3.3.- Curva de magnetización	30
3.4.- Curva de histéresis de un acero	31
3.5.- Curva de enfriamiento del hierro	32
3.6.- Efecto de la temperatura sobre la permeabilidad del hierro	33
4.1.- Disposición de palanquillas en el sitio de examinación	37
4.2.- Tramo inclinado de cadenas	40
4.3.- Características de cadena	44
4.4.- Diseño de aditamentos	45
4.5.- Dibujo de catalinas	48
4.6.- Fuerza sobre el eje motriz	50
4.7.- Esquema de guías	54
4.8.- Rodillo templador	55
4.8.- Sistema de reducción adicional	55
4.9.- Esquema de rotación	59
4.10.-Características del recipiente	62
4.11.-Sección de recipiente	64
4.12.-Orificios de descarga	66
4.13.-Distribución de pérdidas en tuberías	70
4.14.-Mecanismo de transmisión	73
4.15.-Sistema protegedor del baño	76

4.16.- Empaquetadura	77
4.17.- Esquema de la estructura del transportador	95
4.18.- Pórtico	96
4.19.- Estructura del recipiente	98
4.20.- Estructura para rodillos	100
4.21.- Estructura de la plataforma	102
5.1.- Fotografías de defectos patrones	107

PLANOS:

A-1.- Transportador de palanquillas	
A-2.- Sistema de baño magnético	
A-3.- Diagrama eléctrico	
A-4.- Sistema de elevación	
A-5.- Instalación hidráulica	
A-6.- Plataformas de salida	
A-7.- Sistema de Amolación	
A-8.- Diagrama del Proceso.	

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
DECLARACION	IV
AGRADECIMIENTO	V
LISTA DE SIMBOLOS	VI
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
CONTENIDO	XII
CAPITULO 1.- INTRODUCCION:	
1.1 Motivación	1
1.2 Definición e Importancia de los END	1
1.3 Objetivos de los END	2
1.4 Criterios Económicos de los END	4
1.5 Tipos y Selección de los END	7
1.6 Descripción del Método por Partículas Magnéticas	7
1.7 Técnica Operativa del Equipo del Proyecto.	13
CAPITULO 2.- CONSIDERACIONES PRELIMINARES DEL PROYECTO:	
2.1 Justificación del Proyecto	15
2.2 Capacidad del equipo	17
2.3 Versatilidad del Equipo.	18
CAPITULO 3.- DESCRIPCION DE LAS VARIABLES PRESENTES:	
3.1 Características de las palanquillas de aceros	20
3.2 Intensidad de magnetización y Campo magnético	22
3.3 Concentración y mantenimiento del baño de partículas magnéticas	26
3.4 Desmagnetización.	29

CAPITULO 4.- CALCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO:	
4.1	Cálculo y diseño del sistema de recepción y transporte de palanquillas 36
4.2	Cálculo y diseño del mecanismo de rotación de palanquillas 59
4.3	Cálculo y diseño del mecanismo de baño y magnetización de partículas magnéticas 62
4.4	Selección de los sistemas y equipos eléctricos 78
4.5	Cálculo y diseño del mecanismo de salida de palanquillas 80
4.6	Selección de las unidades motrices 92
4.7	Cálculo y diseño de la estructura metálica del equipo. 94
CAPITULO 5.- CRITERIOS DE ACEPTACION, RECHAZO Y CORRECCION DE PALANQUILLAS:	
5.1	Introducción 104
5.2	Criterios de calificación de palanquillas 106
5.3	Calificación de Inspectores 106
5.4	Señalamiento de palanquillas 107
CAPITULO 6.- CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE CORRECCION:	
6.1	Cálculo y diseño del sistema de movimiento de palanquillas 109
6.2	Cálculo y selección del sistema de amolamiento 112
6.3	Selección de motores para sistema de movimiento. 114
CAPITULO 7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 115	
APENDICE:	Tablas
	Planos
	Bibliografía.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Motivación.-

La importancia cada vez más notable en la tecnología del Control de la Calidad, ha sido el motivo que ha impulsado la elaboración del presente Proyecto. En efecto, como se verá en los párrafos siguientes, la Industria moderna ayudada con la investigación de los materiales, converge hacia una meta bien definida cual es, la garantización de la calidad de cuanto produce.

El presente trabajo para la aplicación del Control de Calidad en palanquillas de aceros, utiliza uno de los métodos más usados de lo que se conoce con el nombre de Ensayos no Destructivos (END), el método por partículas magnéticas. Se hace necesario entonces, antes de describir este método, conocer algo más acerca de los END.

1.2 Definición e Importancia de los END.-

(Tomado extensivamente de Baez, ref.2)

Los END como disciplina tecnológica, comprenden todos los métodos que permiten la inspección o ensayo de materiales, piezas, equipos o productos sin modificar sus condiciones de uso o capacidad de servicio, es decir inspeccionan la calidad del producto sin destruirlo. Esta característica les permite tener una ventaja sobre otros métodos de Control de Calidad en los cuales es preciso obtener una muestra o probeta del producto a inspeccionar lo cual conduce a una parcial destrucción. La meta de asegurar la calidad tecnológica de materiales, piezas o productos está condicionada naturalmente por los factores económicos inherentes a toda actividad industrial y por aquellos que hacen a la seguridad humana. Si bien desde épocas remotas se conocen algunos métodos para ensayar materiales o productos sin modificar sus condiciones de uso, el desarrrollo de los END como disciplina tecnológica es muy reciente, se inicia a principios de siglo con la incorporación de métodos basados en la aplicación elaborada de conocimientos fundamentales de la física. Durante la segunda guerra mundial ante los requerimientos de una producción masiva se aumentan las necesidades de Control de Calidad produciéndose una acentuada elaboración de estos métodos, pero hasta ese entonces son considerados simplemente como un conjunto de técnicas auxiliares de la inspección.

En las dos últimas décadas, con la aceleración del desarrollo tecnológico: automatización industrial, transporte aéreo masivo, industria nuclear y navegación espacial se modifican sensiblemente los conceptos de seguridad, rentabilidad y confiabilidad planteando una infinidad de nuevos problemas en torno a los END transformados entonces en una verdadera disciplina con una filosofía definida que la ubica como el principal elemento para asegurar el control de la calidad tecnológica.

Estos métodos además se constituyen también en elementos auxiliares importantes dentro de la investigación de los materiales, principalmente para la navegación espacial y la industria nuclear las que al plantear nuevos y sofisticados problemas, provocan el desarrollo de nuevas técnicas y métodos. A su vez, la industria convencional recibe el aporte de la experiencia recogida en el desarrollo de aquellos complejos métodos y puede incorporar así dentro de su control de calidad a los END cuyo estudio y desarrollo no podrían financiar por sí sola.

1.3 Objetivos de los Ensayos no Destructivos.-

Desde un punto de vista general, los objetivos perseguidos por los END, se pueden agrupar de la siguiente manera:

1. Asegurar la calidad tecnológica de los productos, materiales y equipos aumentando su confiabilidad.
2. Prevenir accidentes y asegurar vidas humanas.
3. Producir beneficios económicos a sus usuarios.
4. Contribuir a la investigación y desarrollo tecnológico.

La importancia dentro de la tecnología de estos cuatro objetivos es fácilmente comprensible, trataremos de ampliar un poco sobre los puntos descritos por considerarlos de gran interés dentro de nuestro proyecto.

Asegurar calidad tecnológica de Productos.-

En relación directa con el uso que está destinado y con el valor de inversión que presupone a cualquier producto o equipo se le exige una determinada confiabilidad de uso. Dada la complejidad creciente de equipos y accesorios de la vida diaria, una moderada exigencia de confiabilidad en un equipo puede significar una elevada exigencia para sus componentes críticos.

Por ejemplo para asegurar una confiabilidad de falla menor que 1 en 10 en un equipo de 100 componentes críticos, será necesario asegurar en dichos componentes la probabilidad de falla será:

$$\text{Probabilidad de Falla: } 10 \times 100 = 1000$$

Es decir, que debe ser menor que 1 en 1000 por cuanto la confiabilidad del conjunto será el producto de las confiabilidades de cada componente. Toda industria moderna aplica los END para cumplir con el objetivo fundamental de asegurar la calidad tecnológica de lo que compra y produce.

Prevención de Accidentes y Asegurar Vidas Humanos.-

Este objetivo es de mayúscula importancia y en este caso los END cumplen una doble función: primero que deben asegurar que cada pieza crítica del producto examinado tenga la confiabilidad de uso requerida por el diseñador; y segundo que deben permitir la verificación periódica de que dicha confiabilidad no ha variado con el uso, es decir, que la pieza mantiene su *integridad* original. Esto lleva implícita una premisa de orden general para el correcto mantenimiento no solo de equipos y plantas industriales o de uso público, sino también para equipos de uso particular.

Producir Beneficios Económicos a Usuarios.-

Si bien la razón más importante del uso de los END es la seguridad, no es menos cierto que otra causa de su uso reside en la obtención de beneficios económicos. Una industria que hace un buen Control de Calidad, introduce en su producción un valor adicional o de crédito de calidad que su clientela la reconoce. El usuario siempre discrimina entre diferentes niveles de calidad.

Los END aplicados al control de un proceso de fabricación en serie, no solo ahorran dinero evitando el procesamiento de partes defectuosas, sino también aumentando la fabricación al eliminar de la línea aquellas piezas que luego serían rechazadas al final del proceso. Si en una etapa de fabricación se rechazan por ejemplo un 10 % de las piezas por defectos introducidos en la etapa anterior, se concluirá que dicha etapa está trabajando a solo el 90 % de su producción normal. Lógicamente la aplicación de los END en distintas etapas de fabrica

ción, debe tener en cuenta su costo como se verá posteriormente .

Contribución en la Investigación y Desarrollo Tecnológico.-

Por sus características propias los END son un medio ideal para seguir el comportamiento de piezas o especímenes sometidos a las más variadas condiciones de trabajo usadas dentro de la investigación. Dentro del desarrollo tecnológico pueden ser una fuente importante de información para la corrección de procesos de fabricación y para mejoramiento de diseños. Finalmente los END contribuyen cada vez más al estudio y desarrollo de la Ciencia de los Materiales.

Los objetivos expuestos anteriormente se deben relacionar con los propósitos que se persiguen con la examinación de planquillas de aceros; se verá entonces la gran concordancia existente.

1.4 Criterios Económicos de los END.-

Los END como trabajo de planta tienen una sensible influencia sobre el precio del costo del producto que se fabrique. Se limitará este estudio a dos importantes factores: la relación existente entre calidad y costos y los costos propiamente dichos de la aplicación de los END.

Relación entre Calidad y Costos.-

Los costos necesarios para asegurar la calidad varían de un producto a otro, pero oscilan normalmente entre 5 y 20 % de su costo total. Esta incidencia para un mismo producto dependerá de la correcta aplicación del control de la calidad, lo cual significa que se debe lograr un equilibrio entre lo que se gana mediante el control de calidad y el incremento del costo del producto debido a ello. Si se considera la curva de la fig.1.1, se puede observar que la curva de costos totales de manufactura tiene un mínimo que corresponde a un determinado nivel de calidad y que es función de diversas variables: costos de materiales defectuosos, reparaciones, reemplazos, costos de servicio, etc., por una parte y por otra los costos producidos por el control de la calidad. La suma de estas dos partes dará el costo de fabricación del producto.

Finalmente si se analiza el criterio económico para fijar el nivel de calidad óptimo se deberá referir a la relación entre el costo de producción y el valor de venta del producto.

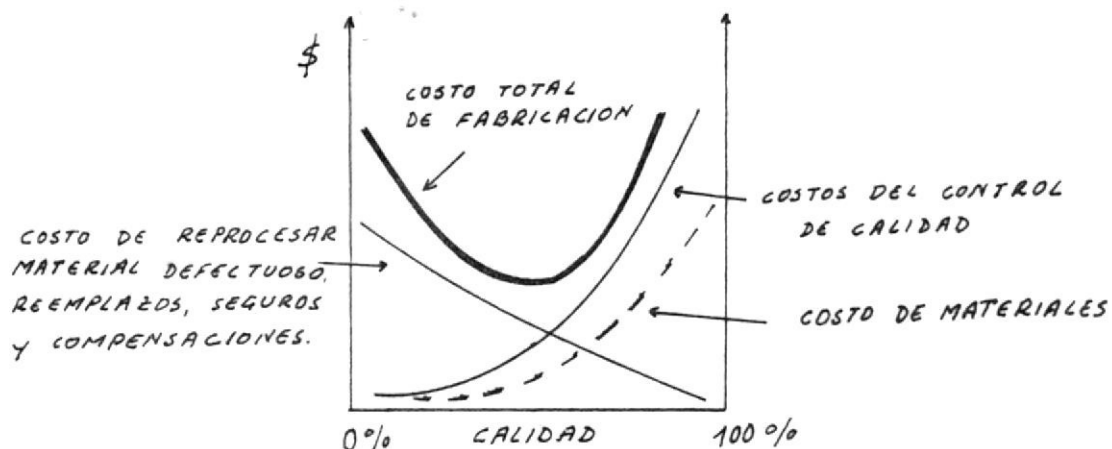


Fig.1.1.- Relación entre Calidad y Costos

Si se toma como referencia una calidad ideal y con tolerancias respecto a la misma, se observa en la fig.1.2 que los costos de producción aumentan en forma exponencial a medida que las tolerancias se hacen menores, mientras que considerando el valor de venta del producto, este tiene un valor cero por debajo de una cierta tolerancia mínima. Al disminuir las tolerancias su valor aumenta rápidamente hasta un cierto límite que está dado por la finalidad de la pieza; si se disminuyen las tolerancias por encima de dicho límite, el valor de la pieza se mantendrá constante y solo podrá cambiar de precio en el mercado por razones subjetivas.

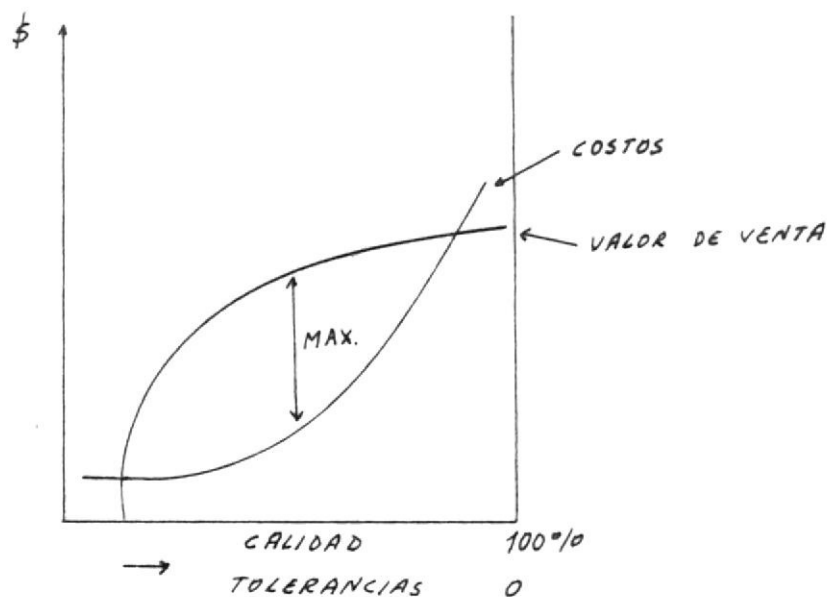


Fig.1.2.- Determinación del Nivel de Calidad

Este valor límite está dado por el diseñador, en cambio el fabricante por razones económicas tiende a trabajar con tolerancias mayores de manera de situarse en el punto donde la diferencia entre costo y valor es máximo. De esta manera el departamento de Control de Calidad junto con el Departamento de Producción tratarán de fijar las tolerancias más óptimas para lograr un buen beneficio económico con una calidad aceptable en la fabricación de un determinado producto.

Costos de los Ensayos No Destructivos.-

Dos principales factores económicos inciden sobre los END: por una parte la disminución de costos de producción y aumento del valor del producto y por otra parte el costo propio de la realización de los ensayos. La rentabilidad económica directa estará dada por el balance de los factores enunciados.

De esta manera general los principales factores de costo de los Ensayos de los END se pueden agrupar:

1. Costos de operarios
2. Costos de materiales (películas radiográficas, partículas magnéticas, tintas etc.)
3. Costos de operación (agua, electricidad, repuestos etc.)
4. Costos fijos (espacio en la fábrica, amortización de equipos, Seguros etc.)

Al hacer el análisis económico de este Proyecto, se verificará la presencia de estos factores de manera preponderante.

La incidencia relativa de estos costos presenta variaciones de acuerdo al método de ensayo no destructivo que se use, de manera general y teniendo en cuenta este Proyecto, se presentan las siguientes variaciones:

1. Cantidad de partes inspeccionadas
2. Movimiento de las partes hasta y desde el equipo
3. Manejo de partes durante el Ensayo
4. Automatización del método
5. Sensibilidad requerida
6. Tolerancias permitidas en los resultados
7. Porcentaje de piezas defectuosas halladas
8. Nivel de personal de operación requerido

1.5 Tipos y Selección de los Ensayos no Destructivos.-

Existe una gran cantidad de métodos de END clasificados de acuerdo a los principios físico-químico involucrados en su técnica operativa, pero su enumeración y descripción escaparía a la finalidad del presente trabajo; sin embargo atendiendo a su uso desde el punto de vista industrial, los métodos más comunes y conocidos son los siguientes:

Líquidos penetrantes
Radiografía industrial
Método de Ultrasonido
Método electromagnético
Partículas magnéticas

Respecto a su selección, surge la interrogante de cual ensayo emplear en la examinación de un producto en que puede ser utilizable cualquier método. La respuesta se obtendrá luego de un estudio minucioso de las variadas condiciones existentes de los equipos frente a la pieza, o sea:

- Aspecto económico
- Sensibilidad requerida
- Nivel de personal requerido y disponible, etc.

Este análisis facilita la selección de los métodos apropiados para el caso en particular, pero solamente un estudio de los fenómenos físico-químicos involucrados en cada caso y el conocimiento profundo de las diferentes técnicas pueden definir la solución conveniente para cada caso.

1.6 Descripción del Método por Partículas Magnéticas.-

(Tomado extensivamente de Galarreta, ref.6)

El método por partículas magnéticas es posiblemente uno de los más simples y de fácil aplicación, ocupa el segundo lugar en cuando a su uso dentro de la tecnología después de las radiografías. Es empleado en la detección de una gran variedad de defectos superficiales y subsuperficiales como: grietas, fisuras, rajaduras, porosidades, defectos de soldadura, etc., en piezas terminadas provenientes de distintos procesos de fabricación tales como laminación, forja, etc., o también en piezas en servicio: cigüeñales, ejes, engranajes etc. Básicamente el ensayo consiste en la magnetización de la pieza a examinar, la aplicación de un medio magnético y la interpretación de lo que resulta de la aplicación de dicho medio.

a) Principios del Método.-

La aplicación de esta técnica se basa en el aprovechamiento de los principios generales del magnetismo. Se recordarán algunos principios básicos.

- Los cuerpos que tienen la propiedad de magnetizarse se llaman ferromagnéticos, lo cual puede ser producido por un imán o por la acción de la corriente eléctrica. Una vez magnetizados se generará en sus extremos dos polos: sur y norte.
- La región en que se producen estos fenómenos se denomina - Campo Magnético y su medida está dada por la intensidad de campo; su acción se describe como ciertas trayectorias llamadas líneas de fuerza o flujo; fig. 1.3.

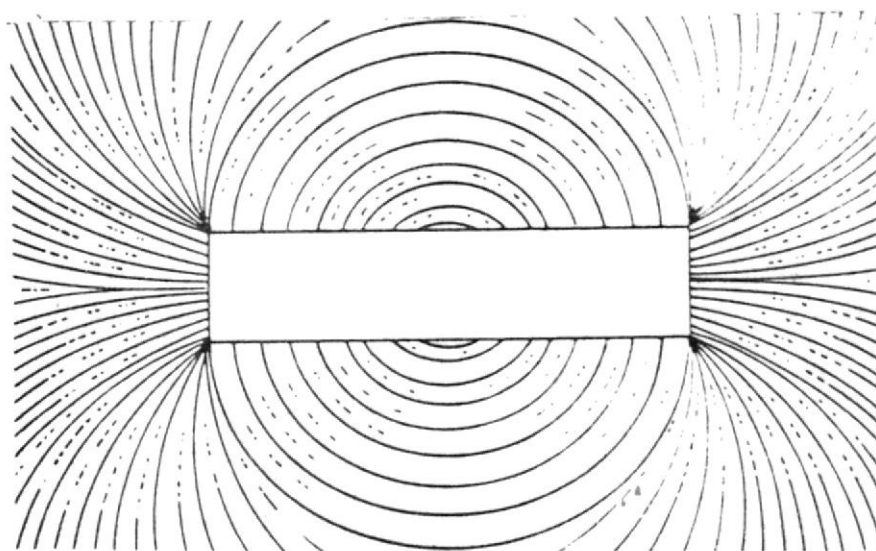


Fig. 1.3.- Líneas de Fuerza

- La propiedad de un cuerpo a ser magnetizado se denomina permeabilidad y la resistencia a ello reluctancia.
- Si una barra magnética es cortada en dos partes se generan en sus extremos los dos polos: sur y norte. Si se trata de unir nuevamente dicha barra, se observa que los polos nuevos que se formaron no desaparecen completamente debido a un escape o distorsión de las líneas de fuerza denominado Campo de Fuga.
- Similarmente si la barra es cortada solo parcialmente aparecerán dos polos opuestos y el campo de fuga existirá en el área de corte.

Podemos observar en la fig.1.4 que el campo de fuga son las líneas magnéticas de fuerza que salen de la barra y pasan a través del aire de un polo a otro de polaridad opuesta.

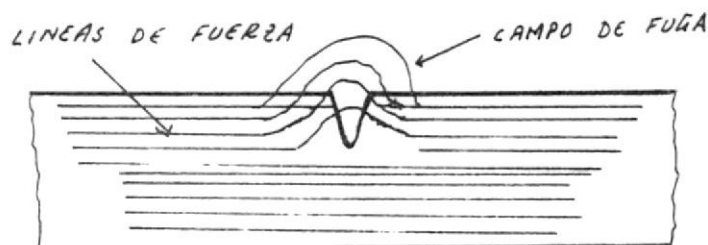


Fig.1.4.- Campo de Fuga

En razón de que dos nuevos polos opuestos se crean por la interrupción del camino de las líneas de fuerza en una pieza magnetizada, se deduce que los cambios en el material como fracturas, grietas, porosidades, inclusiones no metálicas, etc., Es decir, presencia de defectos causarán la creación de dos polos opuestos dando como resultado un campo de fuga.

El ensayo por partículas magnéticas es precisamente el procedimiento usado para detectar campos de fugas y en consecuencia la presencia de defectos en los materiales. Para la creación del campo magnético se usa la corriente eléctrica y para la revelación de los defectos se dispone de una variedad de partículas ferromagnéticas.

b) Factores que intervienen en este Ensayo.-

Dirección e intensidad del campo magnético.-

El uso de la corriente eléctrica para la inducción del campo magnético, aprovecha el principio de que si un conductor es atravesado por ella, a su alrededor se genera un campo magnético. Las líneas de fuerza que lo caracterizan forman círculos concéntricos cerrados alrededor del conductor y mientras más próximas estén a él mayor es su densidad.

La dirección del campo magnético se determina por la Regla de la Mano Derecha: imaginando agarrar el conductor con la mano derecha y señalando con el pulgar la dirección de la corriente los dedos restantes darán la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético.

La intensidad del campo magnético está relacionada en forma directamente proporcional a la intensidad de corriente eléctrica aplicada.

Métodos de Magnetización.-

Existen dos maneras de clasificarlos de acuerdo a que si se mantiene o no la fuerza magnetizante durante la aplicación del medio revelador de defectos, se los denomina método Contínuo y Residual respectivamente. Otra clasificación más importante es atendiendo la forma que adopta el campo magnético en la pieza y se denominan métodos circular y longitudinal.

La magnetización circular se consigue aplicando los contactos eléctricos del equipo de ensayo directamente sobre los extremos de la pieza a examinar. La Fig. 1.5 muestra la magnetización circular de una barra cualquiera, semejante a las palanquillas de acero.

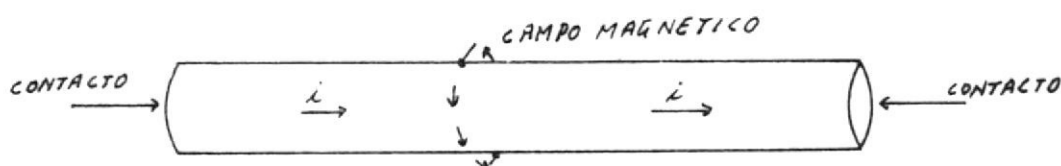


Fig. 1.5.- Magnetización Circular de una pieza

La magnetización longitudinal se consigue envolviendo la pieza a examinar con una bobina o solenoide formada por los contactos eléctricos de los equipos, para lo cual serán unas 3 a 5 vueltas.

En general, para el tipo de magnetización a usarse se tendrán en cuenta algunos factores tales como la geometría de la pieza y sobre todo la posible localización de los defectos, - siendo recomendable que la corriente fluya paralela a ellos, de tal manera que se consiga que el campo magnético inducido sea perpendicular a los defectos (Regla mano derecha).

Un aspecto importante del ensayo por partículas magnéticas es que se puede usar tanto corriente alterna como contínua.

Características de los Defectos.-

Los defectos a determinar por este método se deben analizar tomando en cuenta su tamaño, dirección, posición y forma. La indicación del medio revelador dará aproximadamente el tamaño del defecto presente en longitud y ancho.

Respecto a la dirección de los defectos, cuando ésta sea

sospechada se usara el tipo de magnetización que permita colocar el campo magnético perpendicular a ellos. Cuando no se sospeche su dirección se harán dos inspecciones llevando el flujo de corrientes a 90° uno de otro ensayo a fin de abarcar todo el espacio de inspección en la pieza.

En cuanto a su posición, los defectos pueden estar dentro de una misma pieza en la superficie o al interior de ella. Es método determina hasta defectos subsuperficiales.

Finalmente la forma que adoptan los defectos en una pieza está dada por el proceso metalúrgico de su conformado; grietas y fisuras aparecieran en forma de señales alargadas en el medio revelador; porosidades e inclusiones no metálicas lo harán en forma de "copos".

Tipos de Medios Reveladores.-

Como se había indicado el revelador es el medio encargado de dar a conocer los defectos presentes en una pieza, estos no son más que partículas magnéticas a base de óxido de hierro que tienen la propiedad de magnetizarse en presencia de un campo magnético.

Las partículas se presentan en dos maneras: en polvo y en pasta. Deben tener buena permeabilidad y baja retentividad. Otras características importantes que deben tener son:

- Propiedades geométricas, existen partículas esféricas y alargadas prefiriéndose generalmente las primeras.
- Movilidad, es decir que cuando las partículas sean colocadas bajo la influencia del campo de fuga de una discontinuidad, deban tener libertad para formar las indicaciones.
- Visibilidad, una indicación debe ser lo más visible posible lo cual se logra con una buena luz de observación y por un buen contraste entre el color de la pieza y las partículas. Además de estas propiedades, las partículas magnéticas deberán ser no tóxicas y libres de contaminación.

Respecto a la manera de como usar las partículas magnéticas se tienen dos alternativas:

Técnica Seca, -en la cual las partículas en forma de un polvo seco se aplican sobre la pieza de examen, eliminando el exceso de ellas con una leve corriente de aire para que queden visibles solamente las indicaciones de los verdaderos defectos presentes, cuando la pieza se ha magnetizado.

Técnica Húmeda, en este caso se utiliza una pasta magnética

o también polvo mezclado con un líquido que puede ser aceite, kerosene o agua. La mezcla de líquido y partículas se denomina baño magnético y es muy importante saber su concentración y mantenimiento. Generalmente se lo prepara con partículas fluorescentes para observación con luz negra.

Características de la Pieza a Examinar.-

Se analizará esta parte desde algunos importantes puntos de vista:

- Propiedades magnéticas, es necesario e imprescindible que la pieza a examinarse sea de material ferromagnético. Ejemplos: hierro, níquel, cobalto, aceros y otras aleaciones metálicas.
- Forma de la pieza para calcular la intensidad del campo magnético, el método de magnetización y el tipo de revelador a usarse, es necesario tener en cuenta la geometría de la pieza.
- Finalmente, sobre el estado superficial de la pieza, antes del ensayo es necesario cuidar que esté limpia, seca, libre de arena, aceite y óxido, además que pueda existir un buen contacto eléctrico.

Desmagnetización.-

Una vez finalizado el ensayo por partículas magnéticas, es importante que no queden vestigios del ensayo sobre la pieza examinada, para lo cual es necesario desmagnetizarla. Esta técnica se verá posteriormente.

Equipos Comerciales Usados.-

Se disponen de una variedad de equipos para el ensayo por partículas magnéticas, su elección está sujeta a los factores presentes en las necesidades de cada caso. Se deben tomar en cuenta los siguientes:

- Tipo de magnetización
- Localización y naturaleza del ensayo
- Revelador usado
- Area de la pieza a ser examinada

En la práctica todos estos factores se consiguen en los equipos comerciales presentados en dos grandes tipos: equipos móviles y de líneas de producción.

1.7 Técnica operativa del equipo del proyecto.

El equipo considerado en el presente proyecto es del tipo de línea de producción que puede ser instalado en una planta de fundición de palanquillas rectangulares de aceros de sección cuadrada de 10' cm. de lado y hasta 6 metros de longitud. Cuando se habla de su versatilidad se verá que puede examinar palanquillas de menor longitud y también tubos soldados, ejes, cigüeñales, etc. pero su funcionamiento primordial será para las mencionadas palanquillas y se describirá la técnica operativa en base a ellas.

Las palanquillas provenientes del almacenamiento general Plano A-8, son colocadas mediante un montacargas de horquillas a un transportador de cuatro cadenas de aproximadamente 15 metros de longitud. Las palanquillas son depositadas cada 1,2 metros para lo cual las cadenas tienen una referencia, en estas circunstancias son transportadas lentamente a razón de 2 metros/min conforme a la velocidad de las cadenas y se introducen en un recipiente de acero que contiene un baño de agua con partículas magnéticas fluorescentes.

Cuando llegan a la parte más profunda del recipiente son tomadas por sus extremos por dos cadenas también transportadoras sobre las cuales se les realiza la electrización y magnetización mediante un micro-swicht de rodillo que les envía un pulso de corriente de $\frac{1}{2}$ seg. El paso de corriente les induce un campo magnético circular y las partículas magnéticas fluorescentes se agruparán en torno a los defectos presentes de las palanquillas.

Las palanquillas magnetizadas y con las señales de los defectos se depositan nuevamente al transportador principal de las cuatro cadenas y salen del recipiente de baño dirigiéndose a continuación a un "Cuarto de luz negra" en donde termina el transportador. En este sitio dos inspectores realizan la examinación de los defectos, los que representados por las señales de las partículas fluorescentes en contraste con la luz negra existente en esta sección, son localizados fácilmente y señalados. Estos inspectores de acuerdo a normas establecidas clasificarán las palanquillas en buenas, de rechazo y a ser amoladas. Se dispone de un sistema auxiliar de cadenas para permitir rotar las palanquillas por sus 4 caras y de esta manera examinarlas completamente.

Una vez que han sido clasificadas las palanquillas y se han -

puesto señales distintivas, los inspectores accionan un sistema de tres rodillos transportadores que se elevan hidráulicamente y llevan las palanquillas al exterior del cuarto de luz negra, en donde son depositadas a otro transportador de rodillos inclinados, los que hacen descender a las palanquillas hasta una plataforma de prealmacenamiento. Desde esta plataforma un nuevo montacargas de horquillas es encargado de llevar las palanquillas a dos sitios de almacenamiento final, uno que recibe las palanquillas buenas y malas, y otro que recibe las palanquillas para ser amoladas.

El sistema de amolamiento consiste en dos cadenas separadas - 3.8 metros las que movidas eléctricamente permiten dar vuelta a las palanquillas para amolar sus cuatro caras. Para tal efecto se disponen de dos amoladoras manuales de alta velocidad.

Una vez amoladas las palanquillas, son retiradas de este sitio por el primer montacargas del equipo, el mismo que las vuelve a introducir en el transportador para un nuevo re-exámen cerrándose de esta manera el ciclo de trabajo.

CAPITULO 2

CONSIDERACIONES PRELIMINARES DEL PROYECTO

2.1 Justificación del Proyecto.-

Algunos objetivos de gran importancia para el desarrollo del país han servido de motivo suficiente para emprender este trabajo. Se citan a continuación los más importantes:

- Futuro Metalúrgico del Ecuador
- Futuro Industrial del sector Metal-mecánico
- Estado actual de conocimientos sobre el tema.

Se hará un análisis ampliado de ellos.

Futuro Metalúrgico del Ecuador.-

En los actuales momentos el país no es un productor de aceros, su desarrollo en este sentido no ha estado acorde con el desarrollo de otros países desde hace unas dos décadas. La implantación de dos acerías nacionales ANDEC en Guayaquil y ADELCA en Quito ha sido lo más sobresaliente en ese sentido. Sin embargo las mencionadas Empresas que se dedican a la fabricación mediante el laminado de materiales para la construcción, han debido importar la materia prima o sea las palanquillas de otros países. En el caso de ANDEC lo hace desde Brasil, Chile, Colombia y EE.UU.

Parecen ser dos las causas principales de este fenómeno: la poca certeza de encontrar mineral de hierro en el subsuelo y los escasos recursos económicos de que se dispone. Existen dos alternativas para la fabricación del acero en el país: la primera, de existir en el subsuelo una cantidad justificable de mineral de hierro, hacer la instalación de Altos Hornos para la fabricación del arrabio. En caso contrario quedaría la segunda alternativa de importación de chatarra la que procesada en Hornos Eléctricos daría lugar a la fabricación de aceros. Esta segunda posibilidad es aceptada por muchos países carentes de mineral de hierro y ello implicaría la creación de una gran fuente de trabajo.

Se han hecho estudios ya de la fabricación del acero y el Ecuador para hacer frente a sus compromisos ineludibles con la Industria del petróleo y con el Pacto Andino deberá optar por ello. En este sentido la implantación de un equipo de ensayos no destructivos por partículas magnéticas o por cualquier otro

método, en una acería que fabrique aceros especiales viene a ser justificable para el control de la calidad.

Futuro Industrial del Sector Metal-mecánico.-

Se dijo anteriormente que son dos los compromisos que enfrenta el Ecuador: la industria del petróleo que implica una serie de necesidades inherentes con la siderurgia y sobre todo el Pacto Andino al que se aludirá seguidamente.*

Los países miembros del Pacto Andino mediante el acuerdo de Cartagena se comprometieron a promover el desarrollo de la industria Metal-mecánica, los productos que al Ecuador se ha asignado para que fabrique son:

Maquinaria para la Industria Láctea

Brocas, mechas, escariadores etc.

Prensas hidráulicas

Máquinas alternativas de arranque de virutas

Prensas formadoras para la Industria Plástica

Instrumentos de medida y control

Centrífugas

Aparatos de corte y seccionamiento menores de 1000 Voltios

Sistemas Hidráulicos

Manómetros

La elaboración de tales productos implicará el uso de un control de calidad que puede ser efectuado satisfactoriamente por un equipo de ensayos similar al del presente Proyecto. En este sentido existen dos posibilidades de uso para este equipo:

Examinación de palanquillas que lleguen a una determinada planta para su posterior procesado mecánico, y

Examinación de productos terminados que cumplan las exigencias impuestas por este ensayo, lo cual puede ser efectuado utilizando solamente el sistema eléctrico del equipo, justificando así su versatilidad.

Estado Actual de Conocimientos sobre el Tema.-

En este medio, la utilización del conocimiento de las técnicas de los Ensayos no destructivos y particularmente del ensayo por partículas magnéticas es prácticamente desconocido. Recién en los últimos tiempos se está iniciando el uso o aprendizaje de los mismos. El INEN, Instituto Ecuatoriano de Normalización hace hincapié en la publicación de un trabajo descriptivo de estas técnicas. El presente Proyecto pretende contribuir al conocimiento de algunas de las técnicas de los END y particularmen

* Véase Registro Oficial N° 323 del 8-o-73.

te del Ensayo por partículas magnéticas.

2.2 Capacidad del Equipo.-

Está sujeta a dos factores:

- a) Tiempo que se emplea en examinar una palanquilla de una determinada longitud.
- b) Dimensiones de las palanquillas examinadas.

El tiempo de examinación de una palanquilla está supeditado a la capacidad de observación de los inspectores. Es un punto que no se puede pretender forzarlo sin el riesgo de disminuir la confiabilidad del ensayo. Este tiempo disminuye sensiblemente utilizando la técnica de ensayo por partículas magnéticas fluorescentes examinadas con luz negra. Siendo esta la característica que posee el equipo del presente Proyecto, se ha determinado un tiempo de ensayo de cada palanquilla de 100 segundos, a lo cual hay que añadir un tiempo adicional de 42 segundos empleado para la salida de cada palanquilla y la transportación de la subsiguiente a su examen. Esto se describe detalladamente en el capítulo correspondiente.

Respecto a las dimensiones de las palanquillas, es natural que cuanto mayores sean, se conseguirá una mayor capacidad del equipo. El tiempo a que se ha hecho referencia, ha sido calculado para una palanquilla de 6 Metros de largo y 10 centímetros de lado de sección transversal cuadrada. Las dimensiones de la sección transversal son las más comunes en palanquillas, en cambio la longitud puede variar desde 4 hasta 12 Metros. Este equipo podrá examinar palanquillas hasta de 6 Metros de longitud en vista de que esta es la dimensión más común con que se fabrican.

Siendo el peso de una palanquilla de estas dimensiones 468 Kg. y examinándose 25 palanquillas por hora como se verá posteriormente. Se tiene:

$$\text{Capacidad máxima} = 468 \text{ Kg.} \times 25 = 11.700 \text{ Kg/hora (11.7 ton/h)}$$

Si se trabajan unos 250 días al año con un promedio de 10 a 12 horas diarias, recomendada para esta clase de equipos (Betz, Ref.4) se tendrá la siguiente capacidad máxima:

$$\text{Capacidad máxima} = 11.7 \text{ ton/hora} \times 250 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 12 = 35.100 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Este tonelaje anual estimativo, guarda relación con la capacidad de las acerías nacionales ANDEC y ADELCA, las cuales individualmente poseen esta cifra.

Esta concordancia sirve para dar una idea de que el equipo proyectado puede ser instalado en una acería de las características de ANDEC o ADELCA, lo cual significa que se adapta a la realidad del país y por este motivo se considera adecuada su capacidad estimativa.

2.3 Versatilidad del Equipo.-

A más de las palanquillas de aceros, este equipo puede examinar una serie de piezas de materiales ferromagnéticos, tales como: ejes, tubos soldados, árboles de levas, cigüeñales, bielas, soldaduras, engranajes, etc. La examinación se realizará empleando únicamente el sistema eléctrico del equipo, ya que las partes mecánicas como son el transportador, recipiente de baño, etc. están diseñadas solamente para las palanquillas. En estas condiciones el ensayo se hará aparte en un sitio apropiado ya que el sistema eléctrico es móvil.

Como la variedad de dichas piezas a ensayar ofrece una serie de alternativas respecto a las técnicas a usar, se dispondrán de los medios requeridos para ello: polvos, pastas, lámparas de luz negra, cámara oscura, etc. Teniendo el sistema eléctrico del equipo la capacidad para trabajar con corriente continua y alterna se tendrá una variación más.

Respecto a los valores de la corriente a aplicar para una determinada pieza, se tienen las siguientes variaciones: Betz, ref. 4

- 1) Para magnetización circular se recomienda de 100 a 400 amperios por pulgada de diámetro en superficies cilíndricas. Para superficies planas se tiene la siguiente tabla:

Tabla 2.1.- Valores de la Corriente de Magnetización

Espacio entre Contactos	Grosor de la Pieza	
	< 3/4"	> 3/4"
2 - 4 plg.	200-300 A.	300-400 A.
4 - 6 plg.	300-400 A.	400-600 A.
6 - 8 plg.	400-600 A.	600-800 A.

Siendo la distancia recomendable 6 - 8 pulgadas.

- 2) Para magnetización longitudinal en cambio, se envolverá la pieza con un conductor del sistema eléctrico unas 3 a 5 vueltas con lo cual se consigue formar un solenoide o bobina, siendo para este caso la cantidad de corriente aconsejada 100 a 400 Amperios-vuelta por pulgada de diámetro de bobina.

CAPITULO 3

DESCRIPCION DE LAS VARIABLES PRESENTES

3.1 Características de las Palanquillas de Aceros.-

Se denominan palanquillas a los productos terminados de una fundición de aceros que tienen una forma geométrica definida: ancho y espesor semejantes y una longitud apreciable. En efecto, las palanquillas a ensayarse con este equipo podrán ser de 10 x 10 x 400 hasta 10 x 10 x 600 cm. dada su versatilidad y capacidad. Como condición indispensable para ser examinadas en el equipo deben ser ferromagnéticas, lo cual lo cumplen perfectamente los aceros comerciales al carbono no austeníticos que son usados en la industria automotriz y similares.

Las palanquillas pueden ser obtenidas a partir de un Horno Martin-Siemens básico (al Carbono) y por lo general vienen coladas por el procedimiento de colada continua, el cual consiste en verter la masa líquida de acero en el interior de un gran recipiente que tiene facilidades para enfriar el metal mediante un dispositivo de chaquetas enfriadas que sirven además para dar la forma de la sección transversal a las palanquillas. En estas circunstancias mientras se vierte el metal fundido por la parte superior, las palanquillas salen en estado pastoso por la parte inferior hasta su solidificación total al aire. Para mejorar sus propiedades mecánicas podrán ser tratadas termicamente, siendo el procedimiento más usado el laminado en caliente, el mismo que le da sus dimensiones finales. Su longitud final está dada por las cortadoras.

Las palanquillas a ensayarse son de aceros comerciales de contenido medio de Carbono, las mismas que son propicias para su posterior uso en la industria automotriz o de maquinaria. El contenido de Carbono varía entre 0.30 a 0.53 %. Los tipos comerciales de aceros utilizados con estos fines vienen dados en la tabla 3.1. Avner, ref.1.

También puede ser probado en el equipo un acero muy usado en la construcción de elementos mecánicos en motores de aviación, el acero Cr-Ni no austenítico de la siguiente composición:

AISI N°	% C	% Mn	% Ni	% Cr
3140	038-043	070-090	110-140	055-075

Tabla 3.1.- Composición Química de los Aceros Examinados

AISI Nº	% C	% Mn	% P	% S
C 1030	0.28-0.34	0.60-0.90	.0.04	0.05
C 1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.05
C 1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.05

Propiedades Físicas de las Palanquillas.-

Las propiedades físicas que interesan en este trabajo son el peso específico y el punto de fusión. Tomando los valores del hierro se tiene:

Peso específico: 7.80 Kg/dm³

Punto de fusión: 1.537°C

Propiedades Mecánicas.-

Las propiedades mecánicas para estos tipos de aceros laminados en caliente están dadas en la siguiente tabla: Mantell Ref.9.

Tabla 3.2.- Propiedades Mecánicas de los Aceros Examinados

AISI Nº	*Resistencia Tracción	*Límite Fluencia	% Elong.	% Estricción	HB Brinell
C 1030	68000	37500	20	42	137
C 1035	72000	39500	18	40	143
C 1040	76000	42000	18	40	149
C 1045	82000	45000	16	40	163
C 1050	90000	49500	15	35	179
C 1055	94000	51500	12	30	192
3140	96000	64000	26	56	197

* Los valores de la resistencia y fluencia están dados en lb/plg.²

Propiedades Magnéticas.-

Las propiedades magnéticas de las palanquillas son de gran importancia e interés dada la naturaleza del presente trabajo. Se citarán cuatro magnitudes que estarán presentes en el ensayo

por partículas magnéticas; siendo dos de ellas la permeabilidad y la inducción magnética propiedades intrínsecas del material, las otras toman valores de acuerdo a las dos primeras. Dichas magnitudes son:

Densidad de Flujo o inducción que da la medida de la cantidad de líneas de fuerza por unidad de área presentes en un campo magnético. Se lo representa por la letra B.

Intensidad de Campo magnético definido anteriormente y representado por H.

Permeabilidad magnética también definida y representada por μ .

Flujo Magnético, indica la cantidad total de líneas de fuerza en un campo magnético. Se lo representa por la letra griega Φ .

Se pueden resumir las propiedades y magnitudes magnéticas de estas palanquillas en la siguiente tabla: Mantell, Ref.9

Tabla 3.3.- Propiedades Magnéticas de los aceros examinados

Magnitud	Símbolo	Definic.	Valor C.G.S.	Valor M.K.S.
Inducción	B	$B = \mu H$	21200 gauss**	2.12 weber/m ^{2**}
Intensidad	H	$H = B/\mu$	----- oersted	---- Amp./m
Flujo		= BA	----- maxwell	---- weber
Permeab.	μ	$\mu = B/H$	2000 $\frac{\text{gauss}^*}{\text{oersted}}$	$2.5 \times 10^{-3} \frac{\text{weber}^*}{\text{Amp-m}}$

* Valor de la permeabilidad máxima

** Corresponde al valor de la permeabilidad máxima.

Es necesario destacar otras tres magnitudes importantes:

Permeabilidad del vacío: $4\pi \times 10^{-7}$ weber/Amp·m ó 1 $\frac{\text{gauss}}{\text{oersted}}$

Fuerza coercitiva: 1.8 oersted ó 144 Amp/m

Punto de Curie: 770°C

3.2 Intensidad de Magnetización y Campo Magnético.-

En este punto se determinará la intensidad de corriente eléctrica necesaria para la magnetización de las palanquillas.

Es necesario sin embargo hacer un análisis previo de las alternativas que se disponen para el ensayo, escoger las técnicas a seguir y justificarlas.

Al hablar de los principios del ensayo por partículas magnéticas se dijo que se disponían de dos tipos de corrientes: alterna y continua. Así mismo se señaló la existencia de dos métodos de magnetización: Residual y Continuo, y finalmente la alternativa de crear dos tipos de campos magnéticos: Circular y Longitudinal. Se seleccionarán las técnicas más apropiadas a este caso.

Selección del tipo de Corriente.-

Se ha determinado experimentalmente, Betz Ref. 4, que con el uso de corriente alterna se determinan defectos superficiales. En cambio el uso de la corriente continua permite determinar defectos hasta subsuperficiales. Este análisis se ha hecho determinando la variación de la fuerza magnetizante F (H_i) vs. el radio de una barra de material ferromagnético (a la cual se puede aproximar el caso de las palanquillas rectangulares), se observa una distribución más uniforme del campo con corriente continua que con alterna. En efecto, comparando las Fig. 3.1 a y b, se observa un campo más amplio cercano a la superficie con la corriente continua lo cual permitirá una mayor profundidad de detección de los defectos, lográndose de ésta manera una mayor confiabilidad.

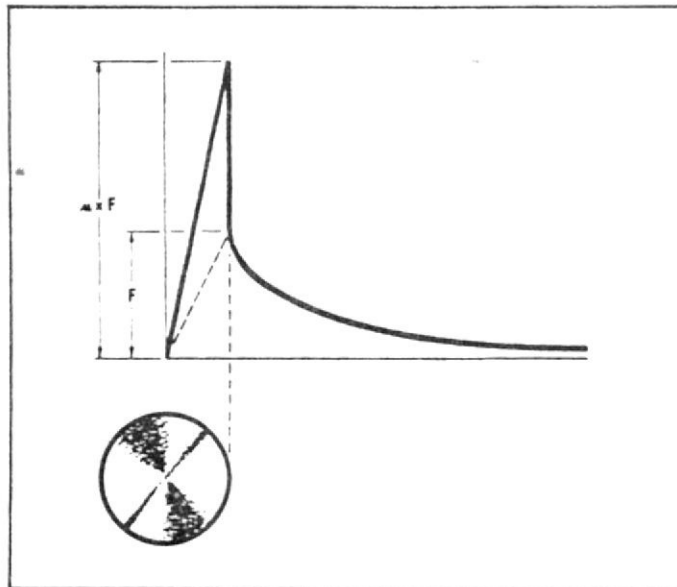


Fig. 3.1a.- Distribución del campo magnético usando corriente continua.

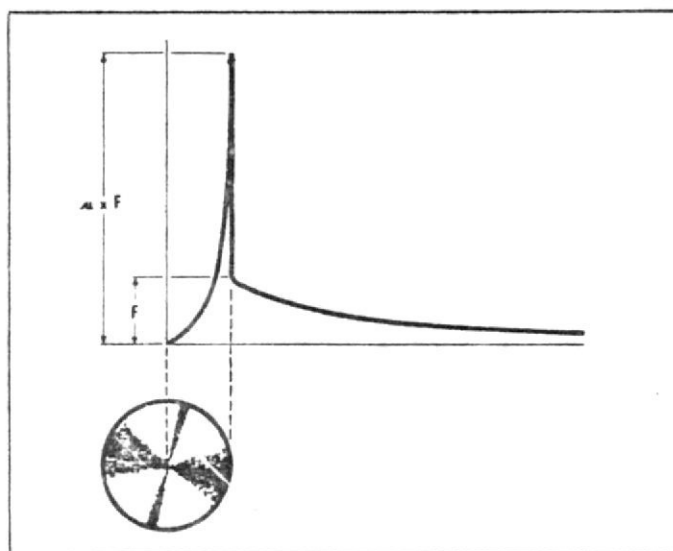


Fig. 3.1b.- Distribución del campo magnético usando corriente alterna.

Por lo anterior se especifica que el equipo de este proyecto para la inspección de las palanquillas usará la corriente continua, quedando el uso de la alterna para otros casos que sea requerida.

Selección del Campo Magnético.-

En las Fig. 3.2a y b se pueden apreciar defectos hipotéticos sobre una barra (semejante a las palanquillas) magnetizada con un campo circular y otro longitudinal, se puntualizan cuales defectos serán visibles por su orientación en la pieza de acuerdo al tipo de campo usado.

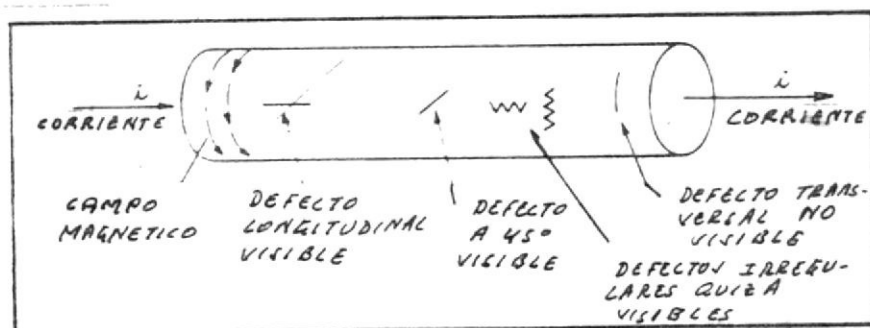


Fig. 3.2a.- Efecto de la orientación de defectos en una barra magnetizada circularmente.

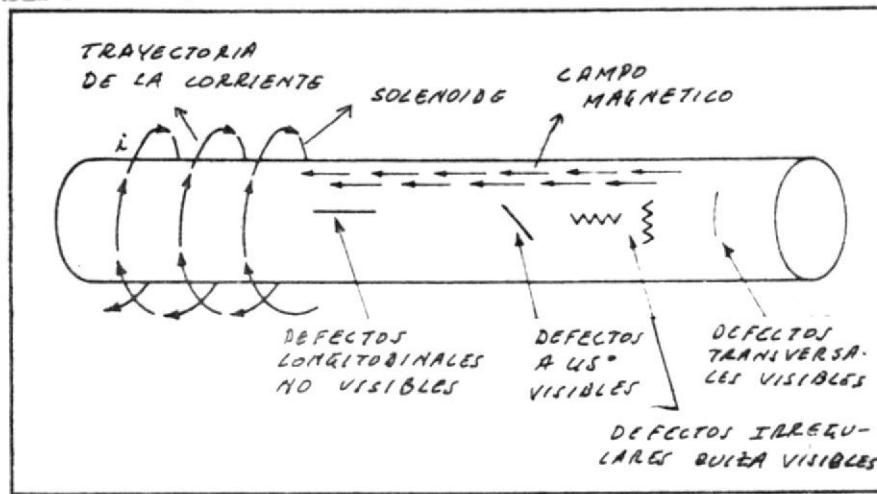


Fig. 3.2b.- Efecto de la orientación de defectos en una barra magnetizada longitudinalmente.

Puesto que se esperan encontrar defectos en las palanquillas en el sentido longitudinal como producto principalmente del laminado, posterior a su colada y también por la misma colada, debido a los fenómenos metalúrgicos que se originan en la solidificación, se usará el campo magnético circular disponiendo los contactos eléctricos del equipo en los extremos de las palanquillas. Defectos producidos por el laminado estarán en forma de fisura, grietas y rajaduras. Defectos producidos por la colada aparecerán como porosidades, inclusiones y segregaciones.

Selección del Método de Magnetización.-

Para la técnica operativa del equipo con las palanquillas se usará el método Continuo, o sea que la aplicación del medio revelador, esto es el baño magnético se produce con la magnetización de las palanquillas simultáneamente. Se justifica la elección de este método tomando en cuenta que si se usara el método Residual que aprovecha el magnetismo remanente de la pieza, se lamentaría la pérdida de una parte de la inducción magnética después del cese del paso de corriente tal como se observará posteriormente en las curvas de histéresis. Por esta razón el método residual tiene sus limitaciones y se lo usa para materiales con gran magnetismo remanente.

Cálculo de las magnitudes para Magnetización.-

Los valores de las propiedades magnéticas dados en la Tabla 3.3 no se aplican exactamente para determinar la intensidad de campo magnético requerido en cualquier caso, ya que la

relación $B = uH$ no es constante, como se verá posteriormente en la llamada curva de magnetización de un material ferromagnético.

La condición que exige el ensayo por partículas magnéticas, es de obtener en el momento de la magnetización, la permeabilidad máxima del material. Para este efecto se disponen de curvas que relacionan $B-H$ y $u=H$ para un determinado material, en las cuales se obtienen los valores requeridos. Sin embargo los resultados obtenidos no han sido los más adecuados para satisfacer el ensayo, y más bien se ha encontrado experimentalmente Betz, Ref.4 que para magnetizar barras de acero de sección circular se requieren 1000 Amperios por pulgada de diámetro. Este valor ha satisfecho muy bien las exigencias del ensayo para una variedad de aceros comerciales que pueden ser ensayados con este método, a pesar de los diferentes valores que puedan tener en su permeabilidad.

El valor mencionado significa:

$$H = 1000 \text{ Amp/plg.} \times 39.37 \text{ plg./m} = 39370 \frac{\text{Amp}}{\text{m}}$$

Si se aproxima la geometría de la barra de sección circular al caso de la sección cuadrada de las palanquillas, se tiene:

$$\text{diagonal de palanquilla} = 10 \times \sqrt{2} = 14 \text{ cm.}$$

$$i = 39370 \text{ Amp/m} \times 0,14 \text{ m} = 5500 \text{ Amp.}$$

Este será el amperaje requerido en las esquinas de las palanquillas, en cambio, en el centro de sus caras se necesitará una menor intensidad por su menor distancia al centro. Por este motivo y además por haberse usado satisfactoriamente para el ensayo de palanquillas similares valores menores de H se tomará finalmente un valor de 4500 amperios.

3.3 Concentración y Mantenimiento del baño de partículas magnéticas.-

Generalidades.-

Se había indicado dos técnicas de aplicación del medio revelador o medio magnético: técnica seca y húmeda. La primera es la más usada para detección de defectos superficiales, pero

para equipos de ensayo en línea de producción como el presente caso, Betz Ref. 4 , se utiliza la técnica húmeda. El medio revelador más recomendable para esta técnica es una pasta magnética para inspección directa y se usa un baño de partículas magnéticas fluorescentes para ser examinadas con luz negra, - lo cual conduce a obtener un gran contraste y por tanto una óptima visibilidad. Esta técnica será usada en este proyecto.

Dichas partículas deben cumplir las características descritas anteriormente, lo cual cumplen los productos disponibles comercialmente. Se cree necesario dar algunas características de las partículas magnéticas fluorescentes: Betz, Ref.4

- Son de naturaleza ferromagnética
- Su tamaño oscila alrededor de 64 a 40 micrones (0.0025" a 0.0015")
- Su densidad es aproximadamente de 5 a 8 veces la del agua
- Tienen una permeabilidad semejante a la de los aceros, lo cual permitirá una magnetización sin diferencias respecto a las palanquillas.
- La característica de la fluorescencia se basa en el hecho de que al ser iluminadas con una luz de longitud de onda menor que la del violeta del espectro visible, (como por ej. la luz negra) emiten una luz de gran longitud de onda lo cual permite una excelente observación de contrastes - con otros cuerpos opacos como el caso de las palanquillas.

El uso de éstas partículas es lo más aconsejado para este caso, sus pocas desventajas, alto costo, está compensado con la ganancia de confiabilidad.

Este medio revelador necesita de un líquido para cumplir su función el cual le sirve como medio de suspensión. Los líquidos más usados y disponibles comercialmente son el aceite y el agua. Se especifica el uso de agua como medio de suspensión para las partículas porque tiene algunas ventajas - sobre el aceite: bajo costo y ningún riesgo de inflamación del baño. Será necesario añadir algunos agentes externos: Humectantes, anti-espumantes, anti-congelantes (no para este caso). Se debe cuidar también de la acción de la corrosión y los efectos del paso de la corriente eléctrica durante la magnetización, lo cual será tomado en cuenta para el diseño del equipo. La dureza del agua no juega ningún papel importante pues no interfiere en las condiciones químicas requeridas del baño.

Concentración del baño.-

Para la preparación del baño de agua con partículas magnéticas fluorescentes será necesario conocer la proporción relativa de ellos. Las casas comerciales de estos productos han establecido tablas experimentales en las que se indican diferentes tipos. Esto se ilustra con la tabla siguiente. Betz , Ref. 4 .

Tabla 3.4.- Concentración de partículas fluorescentes en suspensión

Tipos MAGNAFLUX	10-A	14-A	15	20-A	24	Pasta 10
Onzas x Gal. de baño	0.2	1/6	1/6	1 1/3	2	0.2
Norma ASTM*	0.3	0.2	0.1	0.18	0.75	
Vol. en ml.	0.4	0.3	0.15	0.22	1.0	0.25
Líquido recomendado	Aceite	Aceite	AGUA	AGUA	AGUA	Aceite

* Norma para la prueba de concentración de baño.

La misma casa comercial MAGNAFLUX recomienda el uso de la especie # 15 para la inspección de palanquillas de acero por sus buenas características en suspensión con agua.

Basicamente el baño magnético quedaría conformado proporcionalmente de la siguiente manera :

6 galones de agua (22.7 litros)
1 onza de partículas (28.35 gramos)
1 onza de humectante (28.35 gramos)

Mantenimiento del baño.-

Para una correcta y confiable secuencia de inspección de las palanquillas, el baño de partículas magnéticas fluorescentes debe ser convenientemente cuidado y mantenido. En primer lugar para evitar la sedimentación de las partículas dentro del recipiente en que se encontrarán junto al agua, es necesario agitarlas ya que debido a su mayor densidad tratarán de asentarse en su fondo, se ha previsto el uso de una bomba para tal fin y sus características de funcionamiento y cálculos serán dados oportunamente.

El baño de partículas en agitación puede estar sujeto a pérdidas de varios tipos:

- Pérdidas de la concentración correcta debido a la adherencia de las partículas a las partes mecánicas del equipo y en las palanquillas.
- Pérdidas del agua debido a la película que se adhiere al paso de las palanquillas.
- Pérdidas del agua debido a evaporación.
- Gradual acumulación de polvo, suciedad, provenientes de las palanquillas y de materiales extraños que pueden caer dentro del recipiente de baño.
- Pérdidas de la pigmentación de las partículas fluorescentes debido a su continuo uso.

Las pérdidas en volumen serán fácilmente detectables con el nivel del recipiente, serán necesario reponer la cantidad suficiente de pérdidas guardando la concentración correcta. Las pérdidas de pigmentación deben ser remediadas cambiando completamente el baño por los desagües del recipiente, como esto ocurre en forma no frecuente se justifica su cambio. Finalmente el cuidado más importante es el de la concentración correcta del baño, lo cual debe hacerse diariamente si se considera un funcionamiento continuo del equipo.

Las normas ASTM-E-138-63 fijan las providencias a tomarse para verificar las concentraciones de los baños que utilizan la técnica húmeda, lo cual debe ser hecho realizando los siguientes pasos:

- 1.- Se retira una parte del baño magnético y se la coloca en un tubo centrifugado de 100 ml.
- 2.- Se deja en reposo durante un tiempo determinado, de 5 minutos para este caso, a fin de permitir la sedimentación de las partículas.
- 3.- Se lee el volumen que ocupan las partículas sedimentadas en la escala del tubo y que para el caso de las partículas fluorescentes la concentración debe ser 0.1 a 0.15 ml.

3.4 Desmagnetización.-

Cuando ha cesado el paso de corriente eléctrica a través de las palanquillas, sucede que la inducción magnética conserva un valor diferente de 0 lo cual se denomina magnetismo remanente

El proceso de magnetización se puede observar mediante la llamada curva de magnetización. Con la intensidad 0 del campo H , no hay inducción ni tampoco magnetización, al aumentar la intensidad H por el efecto de la corriente eléctrica crece la inducción magnética B y por lo tanto la magnetización del material. La forma de la curva depende del material, la figura 3.3 muestra un caso típico.

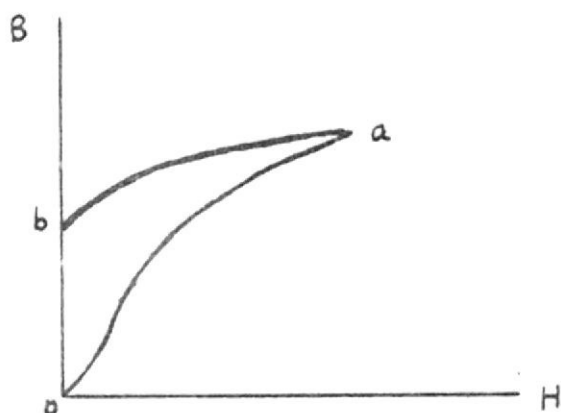


Fig.3.3.- Curva de Magnetización

La relación entre B y H da la permeabilidad del material en cada punto y que como puede observarse varía hasta a . Este punto se llama de saturación y es inútil aumentar el campo magnético porque la inducción crece en forma despreciable, lo cual significa que el material está magnéticamente saturado. El tramo de curva 0 - a es referido como la curva virgen del material, al reducir H resulta que los valores de la inducción no corresponden a los de la curva 0 - a , sino a la curva a - b . El magnetismo que retiene el material en el punto b es lo que se llama magnetismo remanente B_r .

Para reducir este magnetismo se aplica un campo H negativo hasta llegar al punto c fig.3.4 donde se ha quitado todo el B_r . Esta fuerza de magnetización negativa se denomina fuerza coercitiva H_c que como se dijo anteriormente para estas palanquillas es de 1.8 oersted.

Si esta intensidad negativa se aumenta se llegará hasta el punto d en el cual el material está nuevamente saturado. El campo H vuelve a ser disminuido llegando al punto e donde se encuentra un nuevo magnetismo remanente de polaridad inversa. Finalmente con un aumento de H se llega nuevamente al punto a cerrándose el ciclo de histéresis.

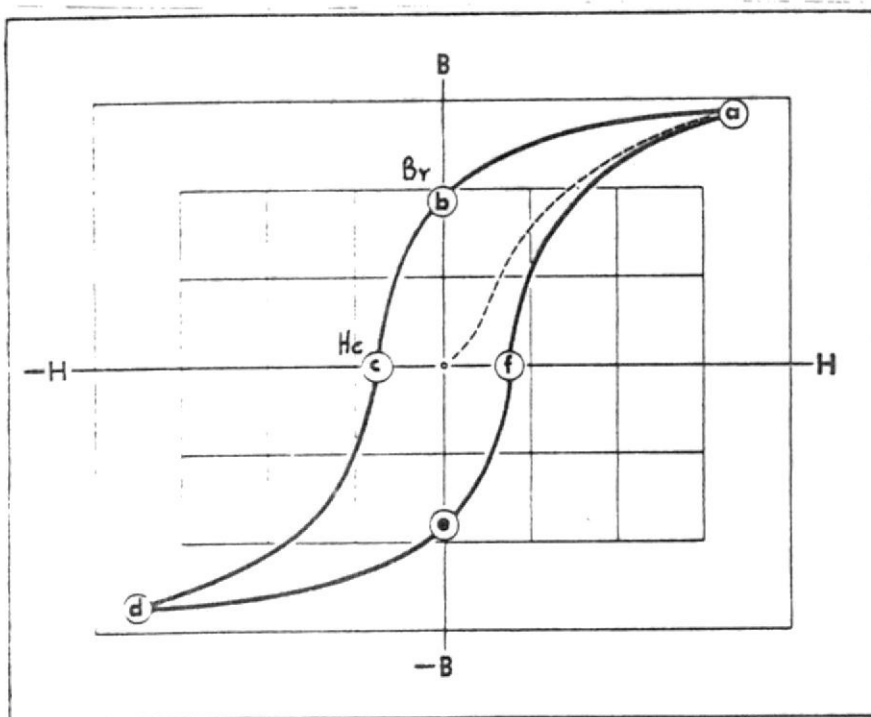


Fig.3.4.- Curva de Histéresis de un Acero

La acción de eliminar el magnetismo remanente de cualquier pieza sometida al ensayo por partículas magnéticas es lo que se llama desmagnetización.

Razones de la Desmagnetización.-

Hay varias razones para desmagnetizar una pieza que ha sido sometida a este ensayo y será necesario hacerlo cuando el magnetismo remanente puede provocar lo siguiente: Betz, ref.4.

- a) Interferir las subsiguientes operaciones de maquinado por virutas metálicas que se pueden adherir a la pieza o herramienta, afectando su calibrado y vida.
- b) Interferir con la operación de instrumentos sensibles a los campos magnéticos. Ej. caso de compases magnéticos en aeroplanos.
- c) Interferir con posteriores operaciones de soldadura con arco eléctrico por la deflexión que puede sufrir el mismo.
- d) Interferir en el posterior funcionamiento de la pieza como parte de un conjunto por la adherencia de partículas metálicas. Ej. un pistón magnetizado puede rayar las paredes del cilindro.

Se pueden enunciar también ciertos criterios que permiten obviar la desmagnetización de una pieza:

- Cuando la pieza tiene una baja retentividad lo que hace que el magnetismo remanente sea bajo o tienda a desaparecer.
- Cuando se trata de piezas que pertenezcan a elementos estructurales tales como: calderas, tuberías, soldaduras y piezas fundidas.
- Cuando la pieza examinada deba seguir un subsiguiente trabajo mecánico en caliente a una temperatura mayor que el punto de C. con lo cual se perderá todo su magnetismo remanente.

Justificación de no Desmagnetizar las Palanquillas.-

Cuando los aceros son calentados a temperaturas superiores a 770°C . se llega al punto de Curie por el cual el hierro o acero se vuelve no magnético. Fig.3.5. Avner ref.1.

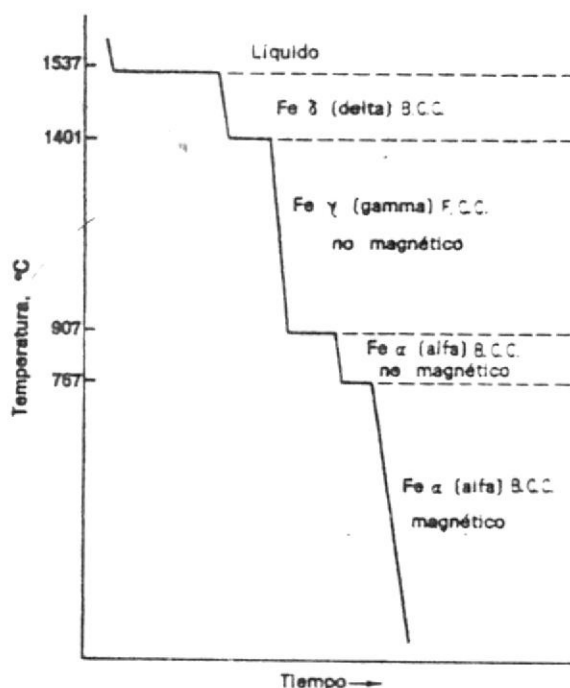


Fig.3.5.- Curva de Enfriamiento del Hierro

Al sobrepasar la temperatura de 770°C el hierro magnético toma la estructura austenítica que es no magnética, lo cual se traduce en un decrecimiento de la permeabilidad a un valor de uno equivalente a la del aire. En la fig.3.6 se puede observar la influencia de la temperatura sobre la permeabilidad del hierro. Siendo B proporcional a u, al disminuir su valor disminuye consecuentemente B y por lo tanto Br.

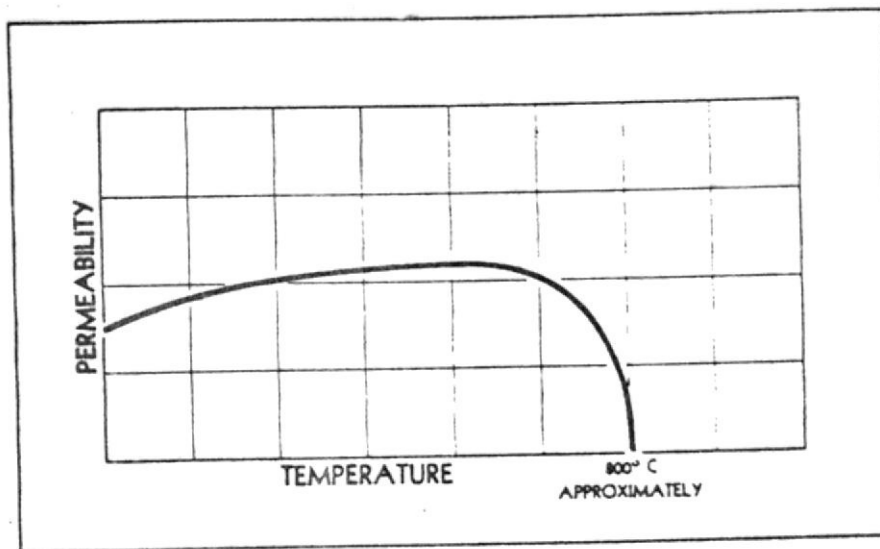


Fig.3.6.- Efecto de la Temperatura sobre la Permeabilidad del Hierro.

La tabla 3.5 indica los valores del punto de Curie para materiales ferronagnéticos, dado que el equipo de este proyecto por su versatilidad puede examinar cualquiera de ellos en un determinado ensayo.

Tabla 3.5.- Punto de Curie de Algunos Metales.

Material	°C.
Aleaciones de Hierro	770-815
Cobalto	1130
Níquel	358

Las palanquillas de aceros serán destinadas posteriormente al ensayo, en la industria de elementos de maquinaria, para cuya fabricación serán sometidas a los siguientes procesos de trabajado mecánico en caliente:

- Laminado
- Forjado
- Embutido
- Extrusión

La descripción de estos procesos escapa al objetivo de este proyecto y solamente se señalará que las más comunes aplicaciones a la fabricación de piezas de máquinas son el laminado

y el forjado. El laminado se utiliza generalmente para reducir el tamaño de la sección transversal de la palanquilla, para luego fabricar elementos de poca sección con un maquinado. La forja es el proceso más utilizado para la fabricación de elementos tales como: cigüeñales, bielas, árboles de leva etc. Lo que se hace con este proceso es cambiar la forma de la palanquilla por golpes sucesivos de martillos sobre una matriz o estampa.

Los dos procesos enunciados para el trabajado mecánico de este tipo de aceros requiere las siguientes temperaturas:

Tabla 3.6.- Temperaturas del Trabajado Mecánico

Proceso	Temperatura Requerida
Laminado	1200°C
Forjado	1100 a 1260°C

Puesto que con dichos procesos se sobrepasa el punto de Curie, se concluye que en este equipo para el ensayo de las palanquillas no será necesaria la desmagnetización. Sin embargo, el sistema eléctrico del equipo dispone del implemento necesario para efectuarla, cuando sea requerida.

CALCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO

Generalidades.-

Se hace necesario conocer ciertos aspectos importantes referentes a las condiciones de operación del equipo previo al cálculo y diseño de sus componentes.

Existirá un pequeño calentamiento debido a los contactos eléctricos que producirán un efecto de evaporación lo cual se remedia con el mantenimiento del baño explicado. Puesto que las cadenas transportadoras se sumergirán completamente en el baño magnético es necesario que los materiales que conformen todo el sistema de transporte tengan una buena resistencia a la corrosión y oxidación lo cual se consigue utilizando acero inoxidable. Para efectos de no contaminar el baño magnético se prevee no lubricar los elementos mecánicos del transportador, lo cual será tomado en cuenta para los cálculos del equipo. Todos los elementos mecánicos del equipo tanto de examinación como de amolación van a estar expuestos a sufrir cierta magnetización provenientes de la palanquillas magnetizadas, para evitar que ello afecte a su normal funcionamiento por los fenómenos inherentes a la magnetización de una pieza, se tratará de utilizar un material no magnético para el conformado de los elementos más expuestos a este fenómeno.

Existen aceros inoxidables austeníticos no magnéticos que pueden cumplir la doble finalidad de ser resistentes a la corrosión y oxidación y poseer una baja permeabilidad. Los aceros que pueden conformar a los elementos más críticos, tienen las siguientes características. Avner, ref.1.

Tabla 4.1.- Aceros Austeníticos

Serie:	Grupo:	Tipos:
2XX	Cr-Ni-Mn.-No templable, Austenítico, no magnético.	201 y 202
3XX	Cr-Ni .- No templable, Austenítico, no magnético	301 y 302 y 309

La composición química aproximada es la siguiente:

Tabla 4.2.- Composición Química de los Aceros Austeníticos

Acero	% Cr	% Ni	% Mn	% C
201	16-18	3-5	5-7	0.15
202	17-19	4-6	7-10	0.15
301	16-18	0-8	2	0.15
302	17-19	8-10	2	0.15
309	22-24	12-15	2	0.20

Las propiedades mecánicas promedio de estos aceros, varían en un rango de 75000 a 100000 lb/plg.² para la resistencia a la tracción. El límite de fluencia varía entre 30000 a 40000 lb/plg.² y la dureza Brinell es de aproximadamente 200.

La resistencia a la corrosión de estos aceros es debido a la formación de una capa superficial de óxidos de cromo o níquel muy finas y su carácter no magnético se explica por su baja permeabilidad 1.02 gauss/oersted. El riesgo de electrización de ciertas partes del equipo como consecuencia de los contactos eléctricos cuando actúan sobre las palanquillas es bajísimo debido al poco voltaje presente. En efecto, para un equipo eléctrico con corriente continua de hasta 4500 Amp. como este caso se tiene una salida de aproximadamente 15 voltios. Sin embargo se recomendará aislar en la mejor forma posible el mecanismo de contactos eléctricos.

4.1 Cálculo y Diseño del Sistema de Recepción y Transporte de Palanquillas.-

Se había indicado que este *equipo* consistía de una estructura sobre la cual existen 4 cadenas asentadas sobre guías de aceros, y separadas simétricamente hasta cubrir una distancia menor que 6 metros equivalente a la longitud máxima de palanquillas que podrá examinar este equipo. Las palanquillas serán depositadas sobre dichas cadenas, sirviendo estas para la recepción y transportación al mecanismos de baño y examinación.

Se requiere el uso de un montacarga de horquillas de capacidad suficiente para la transportación de palanquillas, el mismo que se encargará de depositarlas sobre el transportador. La colocación de las palanquillas deberá ser secuencial manteniendo una cierta distancia entre cada una. Como este servicio debe ser ágil y eficiente se estima que el uso del montacargas es lo más indicado.

Para proceder al cálculo y diseño de este sistema, se dividirá en los siguientes elementos:

Cadenas Transportadoras
 Catalinas motrices e impulsadas
 Ejes motrices e impulsados
 Cojinetes, chumaceras y cuñas
 Guías y templadores
 Sistema de Reducción Adicional

Cálculo y Selección de Cadenas.-

Se usarán cadenas de rodillos que poseen un alto rendimiento y que son las mejor prestadas al presente caso ya que han sido usadas en equipos similares. Dichas cadenas se disponen comercialmente en acero inoxidable y se prevee que prestarán un gran servicio con larga duración pese a las condiciones adversas de operación.

Cálculos Preliminares.-

Para efectos de diseño y selección se considerará una sola cadena, haciendose oportunamente la corrección contemplando 4 cadenas.

a) Separación de palanquillas.-

Esta es la distancia que deberán guardar las palanquillas a su ingreso al transportador y se harán las consideraciones en su punto más crítico que es el cuarto de luz negra.

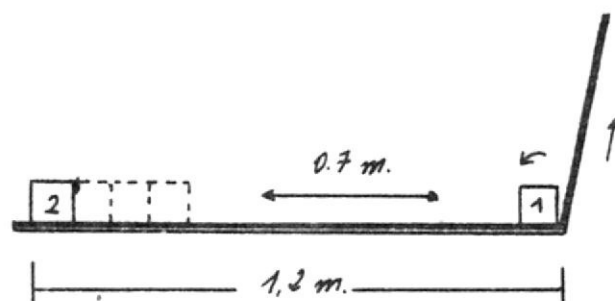


Fig. 4.1.- Disposición de palanquillas en el sitio de examinación.

El montacargas deberá colocar las palanquillas en las cadenas cada 1.20 metros, por las siguientes consideraciones:

Observando la Fig. 4.1, cuando la palanquilla 1 llega al cuarto de luz negra, la palanquilla 2 estará a una distancia que es la que se ha determinado; como la palanquilla 1 debe -

dar tres vueltas sobre si misma para su total observación y si se considera que por cualquier otro factor (resbalamientos) la palanquilla 2 se acerca unos 50 cm. (equivalentes a más - del ancho de sus tres caras que han dado vuelta) se establecerá una distancia final de separación de 70 cm. Esta magnitud evitará que los rodillos elevadores de salida de palanquillas puedan tomar la palanquilla 2 sin examinarla. Por estas razones se recomienda que el montacargas de descarga coloque las palanquillas cada 1,20 metros, para tal efecto las cadenas - tendrán ciertos aditamentos colocados a espacios iguales, los cuales servirán como referencia. Estos aditamentos cumplen otra función importante como se verá luego.

b) Tiempo de examinación.-

Los inspectores a cargo de la examinación de palanquillas se considera emplearán un tiempo de observación de 25 segundos por cara, considerando el gran contraste de las partículas - fluorescentes y la luz negra. Este tiempo incluye cada volteo. Por lo tanto:

tiempo de examinación: 25 seg. x 4 caras	= 100 seg.
Además:	
tiempo de salida de una palanquilla	= 20 seg.
Tiempo de avance los 70 cm. de separación	= 22 seg.
	<hr/>
	142 seg.

Estas dos últimas cifras son tentativas y se ratificarán oportunamente.

c) Capacidad de transportación.-

La capacidad del transportador de cadenas es la capacidad de todo el equipo de ensayo que se había dado anteriormente. Esto proviene de:

$$\text{Capacidad} = \frac{3600 \text{ segundos/hora}}{142 \text{ seg/palanquilla}} = 25 \text{ pal./hr.}$$

Siendo el peso de cada palanquilla:

$$\text{Peso} = 7.80 \text{ Kg/dm}^3 \times 1 \times 1 \times 60 = 468 \text{ Kg} = 1030 \text{ lb.}$$

Con las cifras anteriores se puede determinar:

Capacidad = 11700 Kg/hora
 11.7 Ton/hora
 25740 lb/hora

d) Velocidad de Cadenas.-

Si se toma nuevamente como referencia el sitio de examen de las palanquillas, se dispondrá que el desplazamiento de las cadenas sea intermitente para lograr una mejor examinación. Así será necesario en momento del examen detener las cadenas y adquirir la velocidad normal para el avance de otra palanquilla. Como se había previsto que los 70 cm. de separación se recorran en 22 seg. esto significa:

$$\text{Velocidad } S = 0.7 \text{ m} \times \frac{60}{22} = 2 \text{ metros/min.}$$

Por lo tanto ésta será la velocidad de trabajo del transportador que es adecuada para el transporte de materiales pesados y frecuentes al choque como son las palanquillas, también se evitarán inconvenientes por aceleraciones bruscas que sufrirían a velocidades mayores. En realidad, esta es una baja velocidad pero en este caso se está supeditado a la capacidad de observación de las señales de defectos en las palanquillas por parte de los inspectores, es decir supeditados a la capacidad humana.

Para ciertos cálculos posteriores se obtendrá la velocidad promedio:

$$\text{espacio que ocupan 25 pal.} = 25 \times 1,2 \text{ m} = 30 \text{ m.}$$

$$\text{Velocidad} = 30 \text{ m/hora} = 0.5 \text{ m/min.}$$

Esta no es más que la velocidad a la cual es transportada una palanquilla desde su entrada al transportador hasta su salida, tomando en cuenta las sucesivas paradas.

$$\text{Resumiendo: } S \text{ promedio} = 0.5 \text{ m/min} = 1.64 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

$$S \text{ trabajo} = 2 \text{ m/min} = 6.50 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

e) Longitud aproximada de cadenas.-

Observando el plano A-1 se han tomado las siguientes dimensiones diseñadas para el transportador:

longitud de recepción	3 metros
longitud en el baño magnético	2X metros
longitud en el sitio de examen	4 metros

Se pasará a determinar la longitud X en el baño magnético.

La distancia a la cual debe bajar el ramal superior de las cadenas para introducirse en el recipiente de baño con las palanquillas, será la siguiente:

diámetro tentativo de catalinas:	100 cm
distancia ramal inferior al borde del tanque:	15 cm
distancia del nivel del baño al borde del tanque:	15 cm
exeso de baño sobre la palanquilla	10 cm
altura de palanquilla	10 cm
distancia para mecanismo de magnetización:	50 cm

200 cm.

Conocido este valor se puede formar el triángulo rectángulo de la Fig. 4.2 del cual si se obtiene θ se hallará X. Este ángulo será aquél que permita transportar las palanquillas sobre el tramo inclinado de las cadenas sin resbalamiento y debería ser hallado considerando el rozamiento de la palanquilla sobre la superficie de las cadenas.

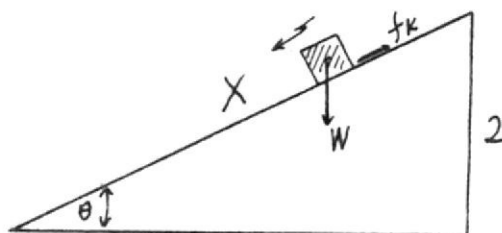


Fig. 4.2.- Tramo inclinado de cadenas

Si se considera a la figura anterior como un plano inclinado, se llegará a la conocida expresión:

$$u_k = \text{tag } \theta \quad (4.1)$$

Dicha expresión establece la condición para que la palanquilla resbale sobre el tramo inclinado formado, siendo u_k el coeficiente de rozamiento cinético.

El coeficiente de rozamiento cinético para dos superficies de acero lubricadas con agua (presente caso) es $\mu_k = 0.19$ Marks, pag. 230 Ref. 3.

$$\text{Por lo tanto: } \theta = \text{arc tag } 0.19 = 11^\circ$$

$$X = 2/\text{sen } 11^\circ = 10.5 \text{ metros}$$

Con lo cual la longitud de cadenas en el baño sería 21 m. magnitud muy grande que afectaría la factibilidad del proyecto por los elevados costos y dificultades de operación.

En base a lo anterior se escogerá un ángulo de inclinación igual a 30° y para prevenir cualquier resbalamiento se diseñan en los tramos de cadenas donde vayan las palanquillas o sea cada 1.2 m. ciertos aditamentos sostenedores de acero inoxidable separados unos 20 cm. que irán debidamente asegurados sobre la cadena. Entre ellos irá cada palanquilla. La forma de estos aditamentos se la dará posteriormente al seleccionar la cadena, sus dimensiones serán tales que impidan el resbalamiento indicado y les de una contextura apropiada a los golpes a que van a estar expuestos.

$$\text{Por lo tanto: } X = 2/\text{sen } 30^\circ = 4 \text{ metros}$$

Las dimensiones completas del transportador están dadas en la tabla siguiente:

Tabla 4.3.- Dimensiones del Transportador

Parámetro	Componentes	Total
Longitud total del baño	2 x 4	8 m
Distancia horizontal en cada tramo de baño	4 cos 30°	3.45 m
Longitud tentativa total de cadena	$2(3+4+4+4) + 2\pi(0.5)$	33.1 m
Distancia aproximada entre centros de catalinas	3 + 3.45 + 3.45 + 4	13.9 m
Longitud de cadena que soporta carga	3 + 4 + 4 + 4	15 m
Número de palanquillas en quince metros	15/1.2	13*

* Este será el máximo número de palanquillas que soporte la cadena.

Tracción de Diseño de Cadena.-

Es la carga total a la que van a estar sometidas las cadenas del transportador y en base a ello se selecciona el tipo a apropiado. Para este cálculo se usará el catálogo Webster, Ch. Chain and Sproockets, del cual se obtendrán las fórmulas de cálculo y la selección de cadenas. El material que emplea es ta casa comercial para los elementos mecánicos es acero inoxidable ASTM-A167-61T con una resistencia a la tracción de 75000 lb/plg². Este valor guarda relación con los aceros inoxidables austeníticos que se habían previsto, por lo cual se consideran satisfactorios los cálculos y selecciones de este catálogo.

$$\text{Tracción y diseño de cadenas: } P_m \times F_p \times F_s \quad (4.2)$$

Donde: P_m : tracción máxima de carga a que está sujeta la cadena.

F_p : factor de servicio

F_s : factor de velocidad.

Se calculará individualmente estos factores para los parámetros más críticos de este equipo.

$$P_m = P_1 + P_3 + P_6 + P_7 \quad (4.3)$$

P_1 = tracción debida al deslizamiento de la cadena sobre las guías en que está asentada.

P_3 = tracción debido a la fricción en los rodillos de las cadenas.

P_6 = tracción debida a elevar el transportador una altura de 2 metros en la sección del baño.

P_7 = tracción debida al templamiento de las cuatro cadenas.

$$P_1 = M_w \times L \times f \quad (4.4)$$

M_w = peso de palanquillas por pie de transportador.

$$M_w = \frac{2000 T}{60 S} \quad (4.5)$$

T = capacidad máxima en ton/hora.

S = velocidad de cadena en pies/min.

Se hará el cálculo para la velocidad promedio de cadena:

De esta manera $M_w = 238$ lb/pie.

$L =$ longitud de transportación en pies = 49 pies

$f =$ factor de deslizamiento para cadenas de acero sobre guías de acero no lubricadas = 0.33 Webster, pag.28.

Con lo cual $P_1 = 238 \times 49 \times 0.33 = \underline{3860}$ lb.

$$P_3 = (M_w \times L \times Fr) + (W \times 2L \times Fr) \quad 1.05 \quad (4.6)$$

$W =$ peso de cadena y aditamentos por pie de transportador. Se asume 28 lb/pie. (c/u)

$Fr =$ factor de fricción en los rodillos de las cadenas.

$$Fr = A \cdot \frac{d}{D} \quad (4.7)$$

$A = 0.50$ Webster pag.28. Para cadenas de rodillos sin lubricación.

$\frac{d}{D} = \frac{\text{diámetro bocín}}{\text{diámetro rodillo}} = 1/2$ para cadenas del peso asumido.

$$Fr = 0.50 \times 1/2 = 1/4$$

Con los valores anteriores : $P_3 = \underline{5800}$ lb.

$$P_6 = M_w \times R \quad (4.8)$$

Siendo $R:2m$ (6.5 pies) $P_6 = \underline{1560}$ lb.

$$P_7 = 1.1 P_3 = \underline{6380}$$
 lb. (4.9)

Finalmente $P_m = 3860 + 5800 + 1560 + 6380 = \underline{17600}$ lb.

Se procede ahora a la determinación de F_p y F_s .

F_p es el producto de 4 factores que afectan la vida de la cadena. para este caso se tiene: Webster pag.20

Tabla 4.4.- Factores de Servicio

Condición:	Factor:
Choque frecuente	1.2
Fluctuaciones moderadas de carga	1.2
Exposición al agua, suciedad y corrosión	1.4
Servicio de trabajo 12 Horas diarias	1.2

Con lo cual $F_p = 2.42$

El factor de velocidad se lo toma de Webster pag. 20 para cadenas de acero en base a la velocidad máxima y al número de dientes de la catalina motriz (asumidos 14).

$$F_s = 0.7$$

$$\begin{aligned} \text{Por la(4.2) Tracción de diseño} &= 17600 \times 2.42 \times 0.7 \\ &= \underline{29600 \text{ lb.}} \end{aligned}$$

Si se emplean cuatro ramales de cadenas cada una soportará 7400 lb. Conociendo esta carga se escoge una cadena apropiada para transportadores, de rodillos de paso corto, la cual está de acuerdo a este diseño. Fig. 4.3

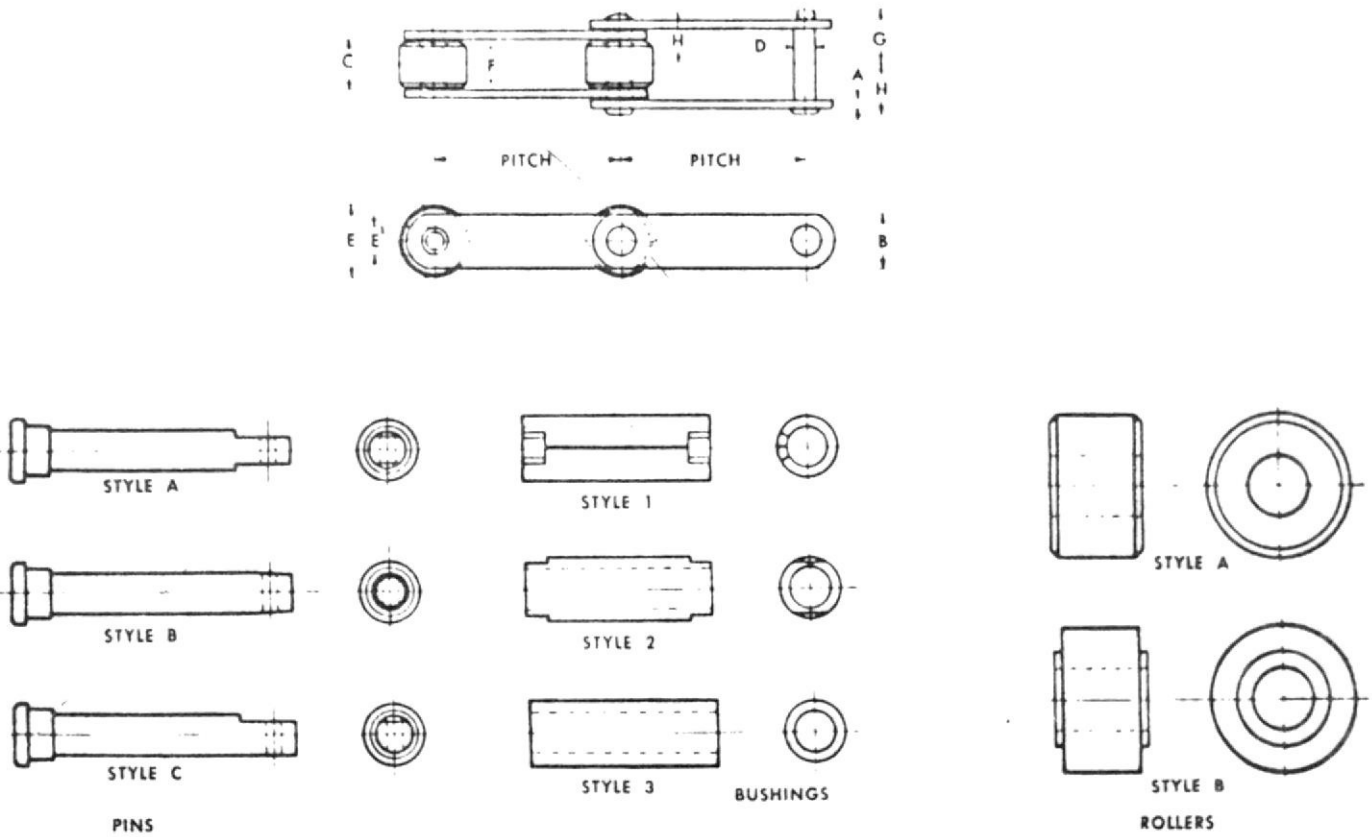


Fig. 4.3.- Características de Cadena

Las dimensiones y especificaciones son las siguientes:

Cadena N° ZA 2800 estilo S

Paso

8 plg.

Peso

26.2 lb/pie

Carga de ruptura

125000 lb.

Carga de trabajo

9840 lb.

Espesor y altura de las barras laterales

A x B: $\frac{1}{2} \times 2 \frac{3}{4}$ plg.

Ancho entre barras C, G, H

1 $\frac{13}{16}$, 2 $\frac{19}{32}$, 2 $\frac{7}{32}$ "

Pin estilo C, diámetro

D = 1 plg.

Bocín estilo 3, diámetro exterior

E¹ = 1 $\frac{1}{2}$ plg.

Rodillos estilo B, diámetro

E = 3 $\frac{1}{2}$ plg.

Ancho de cara

F = 1 $\frac{7}{16}$ plg.

El tipo de cadena seleccionada satisface las presunciones hechas y deja un margen de seguridad en la carga de trabajo por cualquier eventualidad como pueden ser: variaciones posteriores de las dimensiones del transportador, exigencias mayores de cargas debido al torque y caballaje sobre-diseñados, etc., pese a los factores de servicio considerados.

Diseño de aditamentos.-

Los aditamentos necesarios para impedir el eventual resbaldamiento de las palanquillas en el tramo inclinado del baño tendrán la forma y dimensiones de la fig. 4.4, e irán soldados sobre las barras de las dos cadenas centrales. Habrá un total de 28 pares de aditamentos por cadena considerando que están separados cada uno $1,20$ metros respecto a la longitud de la cadena. Respecto al paso de la cadena estarán separados cada 6 pasos. El peso adicional debido a ellos es mínimo que no incide en los cálculos hechos.

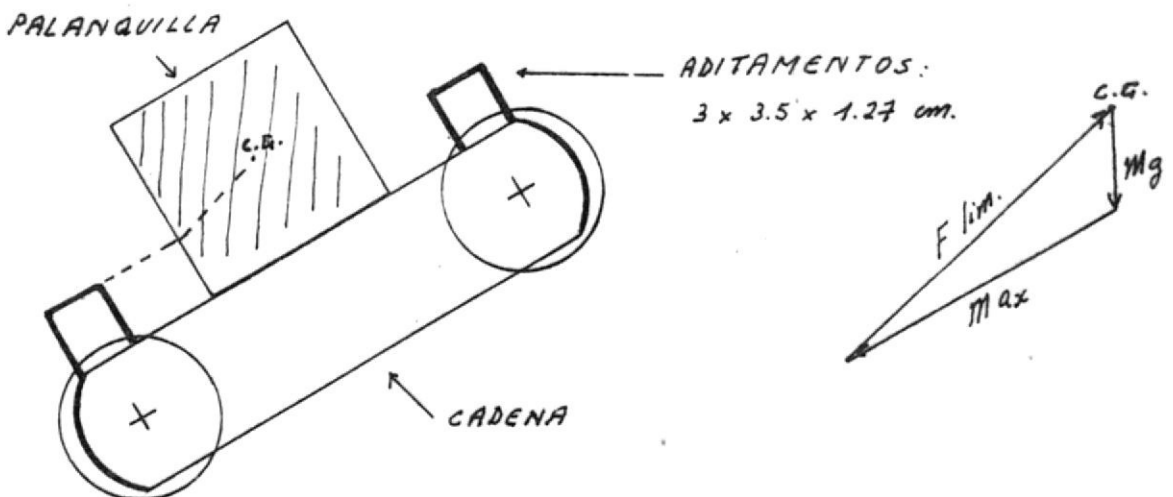


Fig. 4.4.- Diseño de Aditamentos

En el diagrama adjunto se ha representado una fuerza límite que puede actuar sobre la palanquilla en un momento dado. Siempre que la F resultante pase por debajo de la proyección del C.G. al borde del aditamento no habrá tendencia al vuelco. La aceleración límite a_x (del transportador) requerida para desarrollar momento de vuelco es de 2 a 3 veces la de la gravedad como se aprecia gráficamente. Este es un valor relativamente elevado que no se presentará en el transportador y se puede concluir que no habrá vuelco de palanquilla.

Cálculo y Selección de Catalinas.-

Los cuatro ramales de cadenas del transportador tendrán - individualmente tres catalinas colocadas de la siguiente manera: Plano A-1

Una al principio del transportador y dos al final sirviendo una de ellas de motriz y la otra que impulsada por el eje común transmitirá su movimiento a otra catalina superior diseñada para el sistema de rotación de palanquillas. Estas dos catalinas junto a la superior están en el cuarto de luz negra. Se especifica que las tres catalinas tengan las mismas características ya que se considera lo apropiado a este diseño. En base a esto se selecciona de Bebbster pag. 135:

Catalina List 134 para cadena ZA 2800

Pitch P:	8"
Diámetro de rodillo Dr:	3.5"
Carga recomendable de trabajo:	9800 lb
Número de dientes N:	13
Diámetro de paso:	33.43" (84 cm)
Diámetro de orificio para eje con cuñas:	5 7/16 "
Manzana a ambos lados de longitud:	7"
Peso aproximado:	300 lb

Las características de estas catalinas están dadas en la fig. 4.5. Las dimensiones finales se complementan mediante - las siguientes expresiones: Marks Ref.3 pag. 1053

$$\text{Diametro de fondo} = \text{diámetro de paso} - Dr \quad (4.10)$$

$$\text{Diametro de calibre} = \text{diámetro} \times \text{paso} \cos \frac{90^\circ}{N} - Dr \quad (4.11)$$

$$\text{Diametro exterior} = P \left(0.6 + \text{ctg} \frac{180}{N} \right) \quad (4.12)$$

Haciendo los reemplazos se tiene:

Diámetro de fondo = 29.93 plg.

Diámetro de calibre = 29.5 plg.

Diámetro exterior = 37.5 plg. (95 cm)

Este último valor está acorde con el diseño ya que se -
había asumido catalinas de 100 cm.

Tamaño real de Cadenas.-

Conocidas las características de cadenas y catalinas se puede hacer ésta determinación. Marks Ref. 3 pag. 1053

$$L_p = \frac{N + n}{2} + a \frac{(N - n)}{180} + 2 D_p \cos a \quad (4.13)$$

L_p : longitud de cadena en pasos

N, n : # de dientes de catalinas motriz e impulsadas

$$a = \arcsin \left(\frac{R - r}{D} \right) \quad (4.14)$$

R, r : radios de paso de catalinas

D : distancia entre ejes en pulgadas

D_p : distancia entre ejes en pasos

Haciendo el reemplazo se tiene que $L_p = \underline{168 \text{ pasos}}$

Lo cual significan: $168 \times 0.2 \text{ m/paso} = \underline{33.6 \text{ metros}}$

Este valor guarda relación con los 33.1 metros asumidos anteriormente.

Los aditamentos irán: $168/28 = \text{cada } 6 \text{ pasos como se previó.}$

Velocidad de Catalinas.-

Las revoluciones están dadas por la conocida expresión:

$$\text{r.p.m.} = \frac{S}{\pi D} \quad (4.15)$$

$$\text{r.p.m.} = \frac{2 \text{ m/min}}{\pi (0.84 \text{ m})} = 0.8$$

Como generalmente no se disponen comercialmente de motores -
reductores con esa velocidad de trabajo, será necesario acoplar

al mismo un sistema de reducción adicional que será descrito posteriormente.

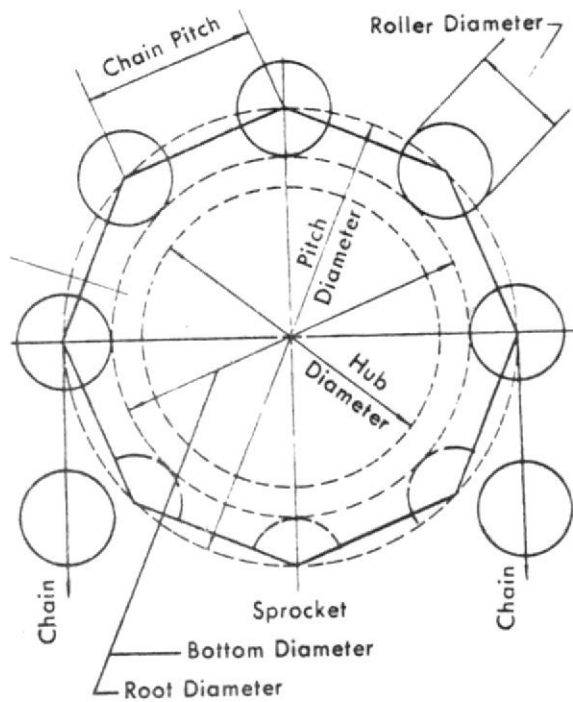


Fig. 4.5.- Dibujo de Catalinas

Cálculo de los ejes motriz e impulsado.-

Se dispondrán de dos ejes solidariamente acoplados a las catalinas al inicio y fin del transportador. Se harán las consideraciones para el eje motriz que es el caso crítico y los resultados obtenidos serán dados para el otro eje.

Se dispondrá de un solo motor reductor para mover todo el sistema de transportación incluido el sistema de rotación de palanquillas y el mecanismo de magnetización. Además se colocará chumaceras a cada lado del par de catalinas y apoyadas sobre la estructura metálica del equipo.

Con estas consideraciones se planteará la ecuación general de diseño para ejes sometidos a torsión y flexión como en el presente caso: Shigley Ref. 11.

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s \max.} \sqrt{(K_m M)^2 + (K_t T)^2} \quad (4.16)$$

d: diámetro del eje

Ss max: tensión máxima de esfuerzos combinados

Km, Kt : factores de servicio al impacto y fatiga

M : momento flector máximo

T : momento torsor

Los valores de los factores de servicio se los obtiene de Shigley, Ref. 11 para ejes giratorios con cargas de choque ligero:

$$K_m = 1.5$$

$$K_t = 1$$

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s \max} \sqrt{(1.5 M)^2 + T^2} \quad (4.17)$$

Esta expresión se la usará por el resto del presente trabajo para el cálculo de ejes, ya que las condiciones son similares.

Si se tiene un diámetro de eje permisible en las catalinas de 5 7/16 plg. y se puede calcular M, T ; se llegará a determinar el esfuerzo combinado máximo al cual va a estar sometido y en base a ello se seleccionará el material que cumpla los requerimientos.

$$\text{El torque se calcula por } T = 63000 \frac{\text{HP}}{\text{r.p.m.}} \quad (1\text{b-plg}) \quad (4.18)$$

Para el cálculo del caballaje aplicado al eje motriz, se emplea la siguiente expresión empleada en transportadores: - Webster, Ref. 18.

$$\text{HP} = \frac{P_m \times S}{33000} \quad (4.19)$$

Se contemplan todos los factores presentes: cargas y fricción. Efectuando el reemplazo:

$$\text{HP} = \frac{17600 \text{ lb} \times 6.50 \text{ pies/min}}{33000} = 3.8$$

Los HP de diseño se calculan por:

$$\begin{aligned} \text{HP diseño} &= \text{HP} \times F_p \times F_s && (4.20) \\ &= 3.8 \times 2.42 \times 0.7 = 6.4 \end{aligned}$$

Esta sería la potencia nominal del motor del transportador, si se consideran pérdidas por rozamiento en el sistema de reducción, la potencia adicional requerida por el sistema de rotación de palanquillas, mecanismo de magnetización, margen de seguridad, se tomarán finalmente:

$$\underline{\text{HP motor} = 8}$$

$$\text{Con lo cual } T = 63000 \times 8/0.8 = 630000 \text{ lb-plg.}$$

El momento flector se lo calcula del siguiente análisis: Se considera un tramo de eje con las dos catalinas, Fig. 4.6

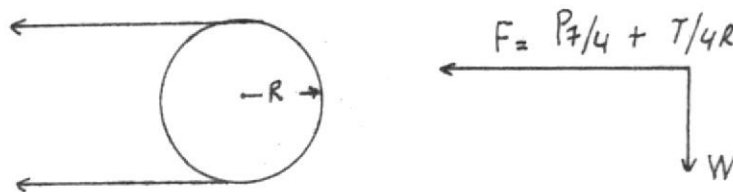


Fig. 4.6.- Fuerzas sobre el eje motriz

Las fuerzas que intervienen en este tramo son:

F: fuerza producida en la cadena por:

$P_7/4$ = tensión de templamiento

$T/4R$ = tensión inducida por el torque

Además:

W: peso de dos catalinas (porción de eje despreciable)

Se ha despreciado la pequeña fuerza ejercida por la tensión de la cadena en el sistema de rotación de palanquillas.

Se determinarán dichas fuerzas y luego se obtendrá la resultante que es la fuerza que provoca el momento flector.

Efectuando los reemplazos se obtiene:

$$P_7/4 = 1590 \text{ lb}$$

$$T/4R = 9400 \text{ lb}$$

$$W = 600 \text{ lb}$$

La resultante será:

$$P = \sqrt{(1590 + 9400)^2 + (600)^2} = 11000 \text{ lb}$$

Considerando esta fuerza como una carga central sobre el eje descansando sobre dos chumaceras separadas unas 20 plg. se tiene para este caso: Shigley, Ref.11

$$M = \frac{P \times L}{4} \quad (4.21)$$

Efectuando los reemplazos: $M = 55000 \text{ lb-plg.}$

Finalmente se puede calcular por la Ec. 4.17 que:

$$Ss \text{ max} = 20000 \text{ lb/plg.}^2$$

Los aceros comerciales comunes son diseñados para una resistencia a la flexión y torsión de hasta 6000 lb/plg.^2 , por lo tanto para este caso es necesario seleccionar un buen material que satisfaga las limitaciones del eje en su diámetro.

Las especificaciones de diseño para ejes sometidos a esfuerzos combinados recomiendan un esfuerzo permisible del 30 % de la tensión de fluencia. En base a lo cual se selecciona el siguiente material:

Especificación	Composición	σ fluencia	σ tracción	HB
AISI 431	C = 0.2% Cr = 10% Ni = 2%	85000 $\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$	114000 $\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$	270

La tensión permisible será:

$$Ss \text{ max} = 0.30 \times 85000 = 25500 \text{ lb/plg.}^2$$

Este valor supera el requerido y permite obtener un margen de seguridad razonable.

Cálculo y Selección de Cojinetes y Chumaceras.-

Para cada ramal de cadena se colocarán cojinetes antifricción asentados sobre respectivas chumaceras, las cuales descansarán a su vez sobre la estructura metálica que sostiene al transportador. Habrá un cojinete a lado y lado del par de catalinas del eje motriz y de cada catalina del eje impulsado. En total se dispondrán de 16 conjuntos cojinete - chumacera para los dos ejes.

Para soportes de grandes dimensiones y fuertemente cargados como este caso, se adoptan cojinetes de rodillos a rótula, que son de alineación automática para cargas radiales y axiales.

La carga dinámica que soporta el cojinete se calcula por: Shigley, Ref. 11

$$C = \frac{(Lh \times 60 \text{ r.p.m.})^{1/p}}{10^0} \text{ en Kg.} \quad (4.22)$$

Donde: Lh = Vida recomendable de cojinete: 20000 horas para máquinas de servicio 10 horas diarias. Dato Obtenido de la referencia anterior.

p = coeficiente de servicio: 10/3 para cojinetes de rodillos.

F = carga en Kg que soporta el cojinete.

F es la fuerza del momento flector repartida entre dos cojinetes: 5500 lb = 2500 Kg.

Efectuando los reemplazos se obtiene: C = 2480 Kg.

Con el valor anterior y con el diámetro del eje 5 7/16 plg. (140 mm) se selecciona de SKF Ref. 16 Tabla B-1, el siguiente rodamiento de rodillos a rótula:

Serie 230 C

Rodamiento con agujero cilíndrico N° 23028 C

C = 32500 Kg.

El sobrediseñamiento de la carga dinámica, respecto a los requerimientos del presente caso, se explica por las bajas r.p.m.

y por el gran diámetro del eje. Se mantendrá esta selección por ser este tipo de rodamientos lo más aconsejable.

Los soportes o chumaceras tienen las siguientes especificaciones: SKF Ref. 16 Tabla B-2.

Serie SN 5

Soporte N° SN 532

Cálculo de Cuñas.-

Para la correcta fijación del eje con todas las catalinas existentes, tanto en el motriz como impulsado se dispondrán de cuñas o chavetas. Para absorber el gran torque presente se usará el mismo acero AISI 431 usado para el eje.

La longitud de cuñas se calcula por: Shigley Ref. 11

$$L = \frac{2 T K_t}{S_s D w} \quad (4.23)$$

En donde: D = diámetro del eje

w = ancho de cuña

El resto de valores son ya conocidos. Para obtener w se recurre a la Tabla B-3 donde se tiene:

Para eje de $5 \frac{7}{16}$ " : w = $1 \frac{1}{4}$ plg.

h = $1 \frac{1}{4}$ plg. (altura cuña)

$\frac{7}{8}$ plg (tamaño perno)

$$\therefore L = 7.5 \text{ plg.}$$

Cabe señalar que para el eje motriz no se ha dispuesto de acoplamiento al eje del motor reductor, por necesitarse de un sistema de reducción adicional como se verá posteriormente.

Guías y Templadores de Cadenas.-

La función de las guías a diseñarse será simplemente el asentamiento de las cadenas transportadoras sobre ellas, a fin de evitar la "flecha" que se produciría en las cadenas bajo el peso de las palanquillas. Dichas guías irán a su vez sostenidas sobre la estructura metálica del transportador.

La longitud que se prevee para ellas estará de acuerdo a los tramos horizontales e inclinados de las cadenas, tomando

en cuenta la presencia de catalinas y rodillos templadores. Por lo tanto su dimensión exacta será dada en el momento del montaje. Sin embargo se puede adelantar una longitud de aproximadamente 12 metros en cada ramal de cadena, diseñándose un tramo de guía curvado en el fondo del recipiente de baño.

Para dar su forma se considera que los rodillos de la cadena se deslizarán sobre su superficie y se opta por guías a canaladas de las siguientes dimensiones: Fig. 4.7

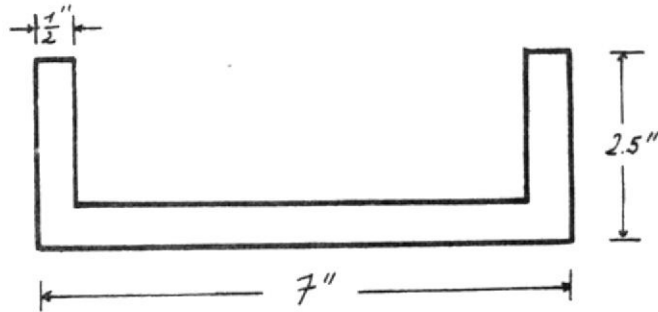


Fig. 4.7.- Esquema de guía

El acabado mecánico debe ser realizado lo mejor posible para reducir el rozamiento con los rodillos de la cadena. El material recomendable sería un acero inoxidable austenítico de los enumerados anteriormente a fin de evitar pérdidas en la concentración del baño por las partículas magnéticas que se le puedan adherir.

Respecto a los templadores de cadenas, para mantener su correcta tensión, se dispondrán de un total de seis para cada ramal siendo tres de éstos, ruedas dentadas del mismo paso de cadena pero de poco diámetro y tres rodillos templadores. Se usarán las catalinas por la presencia de los aditamentos en los sitios donde se pongan en contacto directo con el templador. Esto significará el uso de ejes, cojinetes y chumaceiras.

Las características de los rodillos serán las siguientes:
Webster, Ref. 18

Estilo C

Templador N° 1 C

Para N° de cadena 25 a 51

Diametro rodillo: 3 plg.

Cara de rodillo : 2 plg.

Peso: 12 lb.

A : 3 1/8 "
 B : 4 7/8 "
 C : 1 1/8 "
 D : 2 1/4 "
 E : 1/2 "
 F : 3 1/2 "
 G : 1/2 "
 H : 5 5/8 "

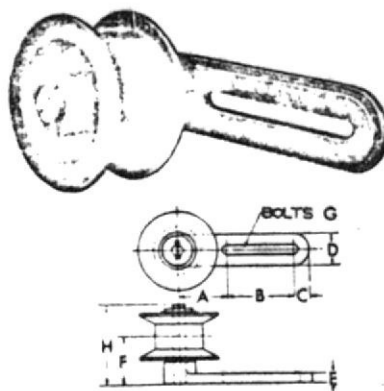


Fig. 4.8 .- Rodillo templador

Los rodillos templadores irán asegurados a algún miembro de la estructura metálica del transportador.

Cálculo y diseño del Sistema de reducción adicional.-

La velocidad de rotación del eje del transportador anterior es 0.8 r.p.m. Por el Catálogo ASEA Ref. 14, se disponen de motores reductores de 8 HP hasta 9.1 r.p.m. por lo cual es necesario a la instalación de un sistema adicional de reducción.

El sistema más aconsejable para este caso parece ser la reducción por medio de cadenas y catalinas de transmisión.

Usando las expresiones del momento torsor Ec. 4.18 y las relaciones de velocidad para contacto rodante, los cálculos para todo este sistema se resumen en la Tabla 4.5 que se complementa con la fig. 4.8.

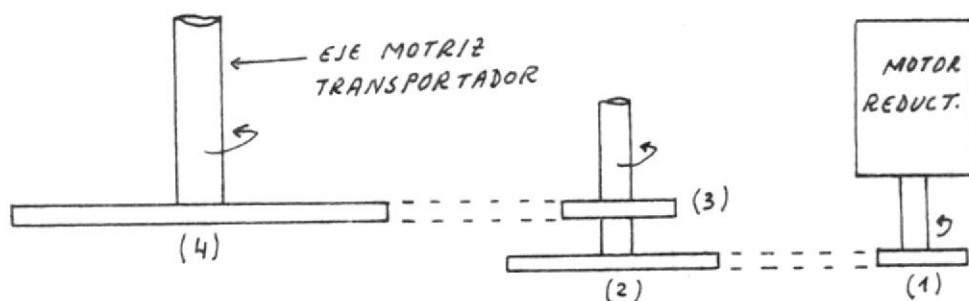


Fig. 4.8.- Sistema de reducción adicional

Para la determinación del diámetro de eje en las catalinas (2) y (3) se ha considerado solamente torque, adicionando un margen de seguridad y se ha usado el mismo material del eje principal.

La expresión utilizada ha sido: $d^3 = \frac{10 T}{\pi \sigma}$ (4.24)

Tabla 4.5.- Características del sistema de reducción

Elemento	D paso	D eje	rpm.	HP	T (Lb-plg)	F cadena
catalina 1	7"	3.5 "	9.1	8	55500	15750 lb
catalina 2	20"	3.5 "	3.2	8	157500	15750 lb
catalina 3	10"	3.5 "	3.2	8	157500	31500 lb
catalina 4	40"	5 $\frac{7}{16}$ "	0.8	8	300000	31500 lb

En base a la carga más crítica sobre una de las cadenas se selecciona de Shigley Ref. 11, la siguiente cadena de rodillos usadas para transmisión de potencias:

Cadena ASA Nº	Paso	Ancho	Resistencia a la tracción	Peso	Diámetro rodillo
160	2 "	1 $\frac{1}{4}$ "	58000 lb	7 lb/pie	1 $\frac{1}{8}$ "

La resistencia de esta cadena permite tener un factor de seguridad de 2 respecto a la carga actuante.

Se procederá seguidamente a seleccionar el material para las catalinas, dadas las condiciones de operación con cargas - apreciables. Para este análisis se harán las consideraciones - como si se trataran de engranajes con ciertas correcciones. Se considerará el caso más crítico (catalina 3).

La tensión de flexión a que es sometido el diente de un engranaje se calcula por: Shigley, Ref. 11

$$\sigma = \frac{W^t K_o}{K_v} \times \frac{P}{F} \times \frac{K_s K_m}{J} \quad (4.25)$$

Se pasará a describir cada término indicando su valor para el presente caso, los cuales se han extraído de las tablas correspondientes a la referencia citada pags. 421 a 425.

W^t :	carga transmitida en lb	31500
K_o :	coeficiente de corrección por sobrecarga	1.25
K_v :	coeficiente dinámico	1.0
p :	diametral pitch = $\frac{\pi}{\text{paso}}$	1.57/plg
F :	ancho de la cara del diente	1 plg

Ks : coeficiente de corrección de tamaño	1.0
Km : coeficiente de distribución de carga	1.3
J : coeficiente geométrico	0.6

Reemplazando en la Ec. 4.25 se tiene:

$$\sigma_{\text{flexión}} = 120000 \text{ lb/plg.}^2$$

Debido al diferente mecanismo de contacto entre cadena y catalina (menos crítico que el de engranajes) y al hecho de que la fuerza se distribuye sobre varios dientes simultáneamente, puede asumirse que la tensión máxima que soporte uno cualquiera de ellos, sea alrededor del 50 o 60 % de este valor. Se tomará finalmente 70000 lb/plg.²

En este tipo de mecanismos no existe reversión de la dirección de la carga, lo cual sumado a las bajas revoluciones permite soslayar las consideraciones de fatiga en las catalinas.

Por las anteriores razones se tomará como material a emplearse en éstas catalinas un acero templado y revenido con un límite de fluencia de 110000 lb/plg.² y una dureza Brinell 300. Tomado de Shigley, Ref. 11.

Se pasará a determinar seguidamente el número de dientes para las catalinas mediante la siguiente expresión:

$$N = p \times D_{\text{paso}} \quad (4.26)$$

Con lo cual: catalina 1	11 dientes
catalina 2	31 dientes
catalina 3	15 dientes
catalina 4	60 dientes

Según Ec. 4.13 se tiene las siguientes dimensiones de cadena:

Para el sistema (1) (2) tomando como distancia entre ejes 30 plg. :

$$L_p = 28.85 \text{ pasos} = 58 \text{ plg.} \quad (1.5 \text{ m})$$

Para el sistema (3) (4) tomando como distancia entre ejes 40 plg. :

$$L_p = 72.5 \text{ pasos} = 145 \text{ plg.} \quad (3.7 \text{ m})$$

Para la correcta fijación del eje intermedio de 3.5 plg. a las catalinas se dispondrán de las siguientes cuñas:

Por Tabla B-3 para eje de 3 1/2" :

$h = 1$ plg. $w = 1$ plg. perno = 3/4 plg.

Según Ec. 4.23 Longitud $L = 3.6$ plg.

Finalmente se colocarán cojinetes y chumaceras de rodillos a rótula para los ejes de 3.5 plg. uno para el eje del motor y otro para el par de catalinas (2) (3), de las siguientes características: Tabla B-4. y B-2.

Rodamiento con agujero cilíndrico Serie 222 C

Nº 22218 C

Chumacera Serie SN 5 Nº SN 520

Concluyendo el cálculo y diseño del equipo de recepción y transporte de palanquillas, se señala que los ajustes y correcciones de menor importancia se realizarán en el momento del montaje.



4.2 Cálculo y diseño del Mecanismo de rotación de palanquillas.-

Este mecanismo está ubicado en el cuarto de luz negra en donde deben examinarse las palanquillas por sus cuatro caras, para lo cual se requiere su rotación.

Consiste en una cadena levantada 80° respecto el transportador anterior y que pese a no considerar cargas considerables, se selecciona la misma cadena usada antes, esto es:

Cadena N° ZA 2800

Esta selección permite aprovechar sus apropiadas dimensiones para el montaje con la catalina del eje motriz del transportador.

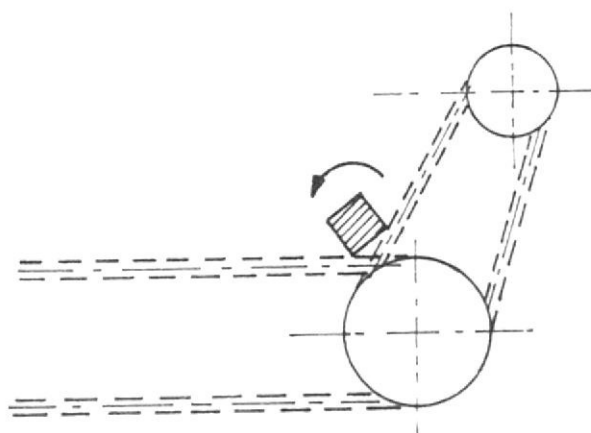


Fig. 4.9.- Esquema de rotación

Estas cadenas también llevarán los aditamentos diseñados anteriormente, los que ayudarán al volteo de las palanquillas. Su frecuencia de colocación puede ser en cada paso y en todas las cadenas. Como se dijo anteriormente su movimiento está dado por una catalina acoplada al eje motriz del sistema de transportación de palanquillas y por lo tanto habrán cuatro cadenas.

Selección de Catalinas.-

Se ha dispuesto una longitud de elevación de 1 metro, capaz de permitir a los inspectores de examinación de palanquillas operar sin dificultades. La catalina inferior o motriz será de las mismas características que las del transportador principal. La catalina superior puede ser de menor diámetro por no haber requerimientos mayores y para economizar material y espacio. Por tanto: Webster, Ref. 18.

Catalina List 134 para cadena N° ZA 2800	
Pitch P:	8 "
Diámetro de rodillo Dr:	3 1/2 "
Carga recomendable de trabajo:	9800 lb
Número de dientes N:	8
Diámetro de paso:	20.9 "
Diámetro de orificio para eje con cuñas:	4 15/16 "
Manzana a ambos lados de longitud:	6 1/2"
Peso aproximado:	150 lb.

Las magnitudes complementarias que interesan son el diámetro exterior y la longitud de cadena. Esto se calcula mediante las Ec. 4.12 y 4.13 respectivamente.

$$\text{Diámetro exterior} = 24 \text{ plg.}$$

$$\text{Longitud de cadena} = 20.63 \text{ pasos}$$

Lo que significan $20.63 \times 0.2 \text{ m/paso} = 4.126 \text{ metros}$. Finalmente se tomarán 21 pasos equivalentes a 4.2 metros.

Conocidas la velocidad de giro de las catalinas motrices, (0.8 r.p.m.) y aplicando relación de diámetros se tiene:

$$\text{Velocidad de giro catalina superior} = \frac{33.43 \times 0.8}{20.9} = 1.3 \text{ rpm}$$

Cálculo de ejes y complementos.-

Se diseñan cuatro secciones de ejes de aproximadamente 16 pulgadas de longitud, suficientes para cada catalina, cojinetes y chumaceras requeridas. Estas cuatro secciones se acoplan correspondientemente a las cuatro cadenas del transportador principal. Plano A-1.

El diámetro requerido por las catalinas de estos ejes es de 4 15/16 plg. , dada esta dimensión y en vista de no soportar esfuerzos grandes, se omite su cálculo. Se tomará como material para ellos un acero comercial común con cuñas, cuya tensión de diseño permisible a la flexión es de 12000 lb/plg.² - considerándose que éste será el mayor esfuerzo presente.

Respecto a los cojinetes y chumaceras, se colocarán a cada lado de las catalinas y en cada sección de eje. Dadas las características de funcionamiento con cargas y velocidad moderadas se cree innecesario el cálculo de la carga sobre el cojinete, ya que en todo caso estará sobrediseñado.

Se selecciona cojinetes de rodillos a rótula: Tabla B-1, B-2.

Serie 230 C

Rodamiento con agujero cilíndrico N° 23024 C

Soporte N° SN 528 Serie SN 5

Las cuñas a colocarse entre ejes y catalinas se las obtiene a partir de la Tabla B-3:

Para eje de $4 \frac{15}{16}$ plg: $w = 1$ plg.

$h = 1$ plg.

perno = $\frac{7}{8}$ plg.

Su longitud no será necesario calcularla por el bajo torque presente, estableciéndola al momento del montaje.

Las características de estos elementos: ejes, cojinetes, chumaceras y cuñas, serán válidas para las catalinas templadoras del transportador principal, ya que tienen las mismas magnitudes.

4.3 Cálculo y diseño del mecanismo de baño y magnetización de partículas magnéticas.-

Corresponde este punto a la sección del proyecto en donde las palanquillas son sometidas a un baño magnético y paralelamente magnetizadas mediante el uso de una corriente eléctrica continua. Para una mejor descripción se dividirá este estudio en dos partes bien diferenciadas: mecanismo de baño y mecanismo de magnetización.

Mecanismo de baño de partículas magnéticas.-

Consiste básicamente en un recipiente que contiene agua y partículas magnéticas fluorescentes y un sistema de agitación para mantener en suspensión dichas partículas.

Cálculo y diseño del recipiente.-

Tendrá la forma indicada en el Plano A-2 y se adapta perfectamente a las exigencias del transportador. Es en realidad un recipiente formado por un segmento circular diseñado de esta manera por las siguientes razones:

- Economía de material, lo cual redundará en economía del baño y disminución de pesos sobre la estructura metálica.
- La forma adoptada disminuirá notablemente la sedimentación de las partículas magnéticas, comparando al caso que se diseñara un recipiente rectangular.

Para la determinación de sus dimensiones se tomará en cuenta la posición de éste en el transportador de cadenas. Fig. 4.10

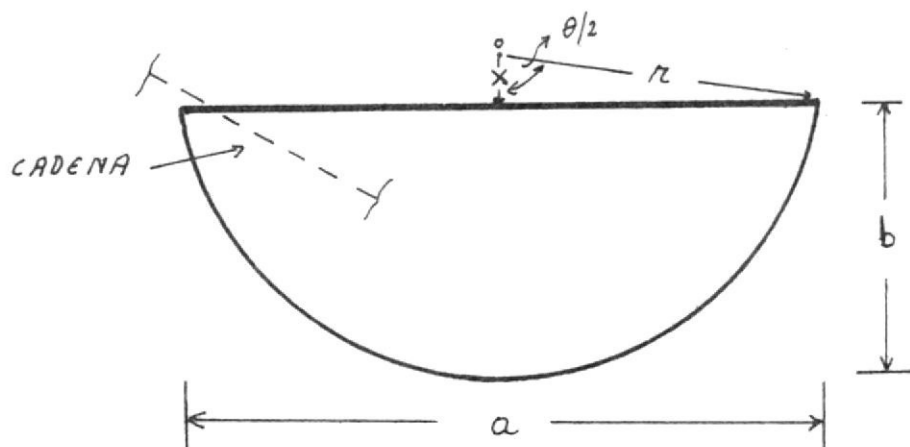


Fig. 4.10.- Características Recipiente

- r : radio del segmento circular que ocupa el recipiente = 1.7 m
 a : anchura de recipiente = 3.35 m. Esta dimensión permite a las guías de las cadenas conservar una separación de aproximadamente 15 cm respecto al recipiente para no rozarlo.
 b : Altura o profundidad del recipiente = 1.4 m. Esta dimensión guarda relación con lo que se considerará anteriormente para el nivel del baño, exeso de baño, palanquilla y mecanismo de magnetización. Se ha dejado además una distancia adicional.

Por otra parte la longitud será la de las palanquillas, agregando una distancia a cada extremo de 50 cm. para el mecanismo de magnetización, con lo cual se tiene:

$$\text{Longitud del recipiente} = 7 \text{ metros}$$

Estas dimensiones permiten alojar cómodamente a los elementos mecánicos inherentes a todo este sistema y también su mantenimiento.

El area de este segmento circular se lo calcula por:

$$A = \frac{\pi r^2 \theta}{360} - \frac{r^2 \text{sen } \theta}{2} \quad (4.27)$$

$$\theta = 180^\circ - 2 \text{ arc sen } x/r \quad (4.28)$$

Efectuando las operaciones y reemplazos se tiene:

$$A = 3.80 \text{ m}^2$$

$$\text{El volumen será: } V = 3.80 \times 7 = \underline{26.5 \text{ m}^3}$$

Se asumirá como caso crítico 27 m^3 , pese a que se ha considerado un nivel máximo.

Espesor del recipiente.-

Se considerará este recipiente como una membrana semi-cilíndrica de paredes delgadas cargado en forma no simétrica, ya que se tendrá la máxima presión del baño en el fondo.

Las limitaciones que existen para esta consideración son:

- La relación del espesor al radio de curvatura debe ser menor a $\frac{1}{10}$. Osea que $t/r < 0.1$, lo cual para este caso significa que $t < 0.17$ m. Se considera que se cumplirá holgadamente.
- No se tiene una indicación precisa de los esfuerzos en las proximidades de las placas de cierre en los extremos del recipiente, que aumentan en un 20 a 30 %. Esto se compensará con factores de seguridad.

Aún así la teoría de la membrana es de gran aplicación para recipientes de almacenaje de líquidos como el presente.

Los esfuerzos a que va a estar sometido el recipiente serán de tres clases: Circunferenciales (tangenciales), de Corte y Longitudinales. Se calculará el espesor para el mayor de ellos.

Se asume como densidad del baño, la del agua, en vista de la pequeña cantidad de partículas magnéticas y humectante en proporción.

Se considerará una sección del recipiente de su longitud L que se apoya en dos extremos: Fig. 4.11

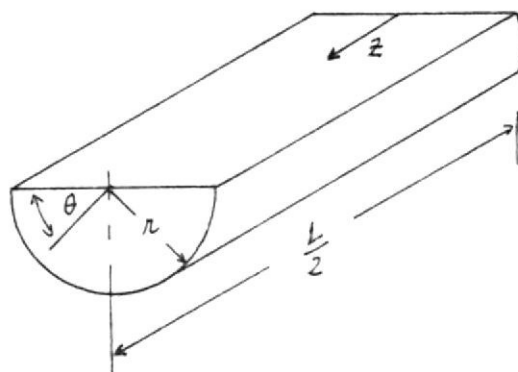


Fig.4.11.- Sección de Recipiente

Para el caso de un recipiente semi-cilíndrico lleno de agua y apoyado en dos puntos, se tiene: Den Hartog, Ref. 5

$$\sigma_{\text{circunferencial}} = \frac{\gamma r^2}{t} \sin \theta \quad (4.29)$$

$$\sigma_{\text{corte}} = - \frac{\gamma r z}{t} \cos \theta \quad (4.30)$$

$$\sigma_{\text{longitudinal}} = \frac{\gamma}{t} \left(\frac{L^2}{24} - \frac{z^2}{2} \right) \sin \theta + \mu \sigma_{\text{Circ.}} \quad (4.31)$$

Se determinará para el presente caso el mayor esfuerzo actuante, 65
asumiendo un espesor de $\frac{1}{2}$ plg. Además:

$$\begin{aligned} \text{Separación de apoyos } L &= 2.5 \text{ m} = 100 \text{ plg.} \\ \mu_{\text{acero}} &= 0.3 \\ \gamma_{\text{agua}} &= 62.4 \text{ lb/plg}^3 \end{aligned}$$

Los valores para θ y z serán aquellos que hagan máximo el esfuerzo correspondiente:

$$\sin \theta = 1 \qquad \cos \theta = 1 \qquad z = L/2 \qquad z = 0$$

Con estas consideraciones:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{Circunferencial}} &= 350 \text{ lb/plg.}^2 \\ \sigma_{\text{corte}} &= / 250 / \text{ lb/plg.}^2 \\ \sigma_{\text{longitudinal}} &= 145 \text{ lb/plg.}^2 \end{aligned}$$

Se ha encontrado que el mayor esfuerzo es el circunferencial para un valor de $\theta = 90^\circ$ o sea justamente al fondo del recipiente. Efectivamente, la teoría de la membrana establece que el esfuerzo de diseño para recipientes es el mencionado. Las tensiones se generan sobre un plano de la pared del mismo.

Se determinará seguidamente el verdadero espesor, tomando un factor de seguridad 5 por las limitaciones descritas, la eficiencia de soldadura, el pequeño oleaje del líquido debido a su agitación, los concentradores de tensiones que se introducirán por los mecanismo de agitación y magnetización, detalles estructurales, etc. Finalmente se adicionará a la expresión 4.29 un factor C que es debido a la corrosión y que para aceros inoxidable como el del recipiente es de $\frac{1}{10}$ plg. (Norma ASME CODE 11), pero debido a las condiciones críticas de trabajo en presencia de corriente eléctrica se tomará el valor superior que establece la misma norma y es $\frac{1}{8}$ plg.

De esta manera: espesor $t = 0.16$ plg.

Finalmente se tomarán $\frac{3}{10}$ plg. (0.188 plg.) por la factibilidad de encontrar en el comercio material de esa medida.

El material a utilizarse será acero inoxidable austenítico AISI 304.

Para evitar fallas por pandeo debidas a la longitud (7 m) y al gran peso que soporta (27 Ton) se dispondrá que el recipiente este apoyado en 4 puntos simétricamente espaciados a lo largo de su longitud.

Cálculo y diseño del Sistema de agitación.-

El sistema de agitación del baño de partículas magnéticas cumple dos importantes funciones:

- Efectuar la mezcla correcta en el momento de introducir al recipiente el agua, las partículas magnéticas y el humectante.
- Efectuar la agitación del baño constantemente durante el funcionamiento del equipo, para impedir que las partículas por su mayor densidad respecto al agua se asienten sobre el fondo del recipiente, lo que traería como consecuencia la pérdida de la concentración correcta del baño.

En base a lo anterior se diseña un sistema de agitación de recirculación a base de una tubería de salida del recipiente, una bomba centrífuga y una tubería múltiple de descarga al recipiente. Plano A-2.

La forma de los conductos de descarga se hará como el tipo orificio, ligeramente expandido en forma de difusor para obtener un chorro en forma de "escoba", ayudados por ciertos pequeños aditamentos soportados en los mismos conductos, los cuales tienen un dispositivo cónico tal como se muestra en la Fig. 4.12:

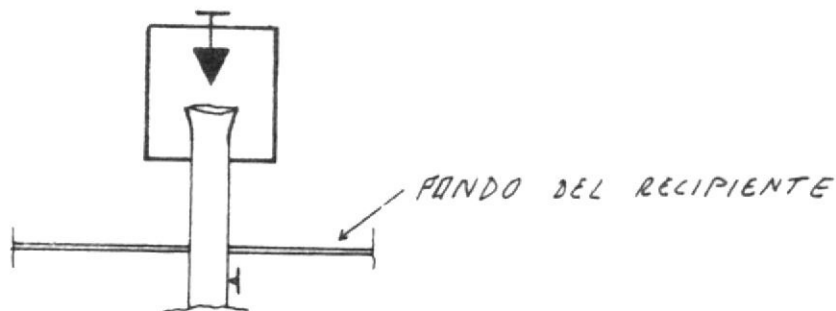


Fig. 4.12.- Orificios de descarga

Estos aditamentos cumplen dos finalidades: obtener un flujo de baño difuso para hacer más homogénea la agitación y para impedir cualquier posible rebose del chorro de agua en la superficie del baño por la potencia de la bomba. Este cono será regu

lable mediante un perno roscado en su parte superior y por ser un aditamento sencillo no se entran en más detalles. Sus dimensiones estarán dadas de acuerdo al diámetro de los conductos de descarga al recipiente, se puede adelantar que su sección transversal puede ser la de un triángulo equilátero de 2 a 3 plg. de lado. Los conductos se introducirán en el recipiente unos 15 cm.

Cálculo de bomba y tuberías.-

El flujo conveniente para una correcta mezcla del baño debe ser tal que permita efectuar la misma en poco tiempo. Este criterio se recomienda en el ensayo por partículas magnéticas por vía húmeda. Betz, Ref. 4.

Si se relaciona este criterio con el volumen del baño existente en el recipiente, se puede asumir como flujo conveniente aquél que permita recircular todo el baño en un tiempo de entre 60 a 90 min. Se tomará el valor de 80 min.

$$\text{Luego: Caudal } Q = \frac{27 \text{ m}^3 \times 35.31 \text{ pies}^3/\text{m}^3}{80 \text{ min}} = 12 \text{ pies}^3/\text{min}$$

Que significan 0.2 pies³/seg. Se tomará como diámetro para las tuberías 2 plg.

La Ecuación de la Energía para estos sistema es: Hunsaker, Ref.8.

$$- W_s + \frac{\Delta p}{\rho g} - \frac{\Delta(v^2)}{2g} + Z + H = 0 \quad (4.32)$$

En donde: W_s = trabajo de eje
 p = presión
 V = velocidad
 Z = altura
 ρ = densidad del líquido
 g = aceleración de la gravedad
 H = pérdidas de flujo debidas a fricción

Esta ecuación establece las variaciones de presión, velocidad y altura entre dos puntos cualesquiera para un solo ramal de tubería de entrada y salida. Si esta ecuación se aplica a dos puntos situados en la superficie del baño se tendrá:

$$\Delta p = 0 \qquad \Delta(v^2) = 0 \qquad \Delta z = 0$$

Quedando solamente: $- W_s + H = 0$

Las pérdidas por fricción están dadas por:

$$H = (C + f \frac{L}{D}) \frac{v^2}{2g} \qquad (4.33)$$

En donde: C = pérdidas de flujo debidas a accesorios en tuberías

f = factor de fricción en tuberías

L, D = longitud y diámetro de tuberías

Para calcular C se considera la instalación de dos "T" para la unión de los dos primeros ramales de tubería de descarga al recipiente y un codo 90° para el tercero. Además una válvula de cono a la salida de la bomba y en cada ramal de descarga. C será la suma de las pérdidas individuales correspondientes.

De Marks, Ref. 3 pag. 273 se han obtenido los siguientes valores:

C para "T" (tubería de 1 a 4 plg.)	=	1.50
C para codos (3/8 a 6 plg.)	=	0.75
C para orificios	=	1.0
C para válvulas de cono	=	3.80

La velocidad a la salida de la bomba será:

$$v = \frac{0.2 \text{ pies}^3 / \text{seg}}{\frac{\pi}{4} (2/12)^2 \text{ pies}^2} = 9.2 \text{ pies/seg.}$$

Para el cálculo de f es necesario saber el N° de Reynolds:

$$Re = \frac{v \times D}{\nu} \qquad (4.34)$$

Siendo ν : viscosidad cinemática del agua = $1.233 \times 10^{-5} \frac{\text{pies}^2}{\text{seg}}$
a 60°F .

En vista de que la tubería consta de tres secciones horizontales, se puede asumir que el caudal se distribuye proporcionalmente en cada una de ellas y la velocidad será la correspondiente a este caudal. Entonces, partiendo desde la salida de la bomba se tendrá:

$$\begin{aligned}V_a &= 9.2 \text{ pies/seg} \\V_b &= 0.2 \text{ pies/seg} \\V_c &= 3.1 \text{ pies/seg}\end{aligned}$$

De la misma manera según la Ec. 4.34:

$$\begin{aligned}Re_a &= 1.24 \times 10^5 \\Re_b &= 8.2 \times 10^4 \\Re_c &= 4.1 \times 10^4\end{aligned}$$

Se observa que estos valores son mayores a $Re = 2000$ que marca el límite de transición de flujo laminar a turbulento. Por lo tanto, para el cálculo de f se deberá encontrar además la rugosidad relativa de tubería: Diagrama de Moody, Marks, Ref. 3.

$$\frac{k}{D} = \frac{\text{rugosidad para tubería de acero}}{\text{diámetro}} = \frac{0.00015 \text{ pies}}{2/12 \text{ pies}} = 0.0009$$

Con los valores de Re y k/D se tiene:

$$\begin{aligned}f_a &= 0.022 \\f_b &= 0.023 \\f_c &= 0.025\end{aligned}$$

En las tuberías verticales de descarga al recipiente se asume que el caudal y velocidad se distribuyen igualmente o sea con velocidad de 3.1 pies/seg aproximadamente.

Con las consideraciones anteriores se pueden calcular las pérdidas y como el caudal que pasa a través de las diferentes secciones no es el mismo, dichas pérdidas deberán estar modificadas por la fracción que representa la relación entre el caudal que fluye por ellas sobre el total.

Refiriéndose a la Fig. 4.13 se tendrá:

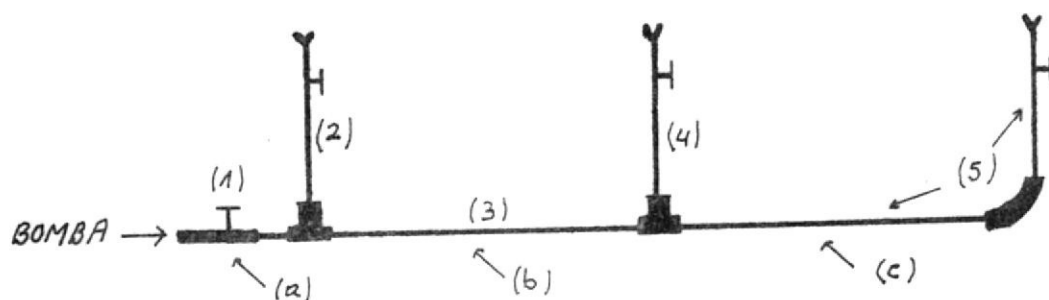


Fig. 4.13.- Distribución de pérdidas en las tuberías.

$$H \text{ total} = H_1 + \frac{1}{3} H_2 + \frac{2}{3} H_3 + \frac{1}{3} H_4 + \frac{1}{3} H_5$$

Efectuando los reemplazos correspondientes para cada caso en la Ec. 4.33, se tiene respectivamente:

$$H \text{ total} = 7.1 + 0.3 + 1 + 0.3 + 0.3 = 9 \text{ pies}$$

Por lo tanto $W_s = 9$ pies.

Estas son unidades de cabezal de agua, luego para expresar en unidades de potencia se empleará el caudal y densidad del baño:

$$HP = \frac{9 \text{ pies} \times 0.2 \text{ pies}^3/\text{seg} \times 0.24 \text{ lb/pie}^3}{550} = 0.23$$

Esta sería la potencia al eje de la bomba, sin embargo, se sabe que debe ser corregida por su eficiencia que puede ser hallada de las cartas de trabajo dadas por el fabricante. Un valor común es 0.65.

$$\text{Por lo tanto: } HP = 0.23/0.65 = 0.355$$

Si se consideran factores negativos para su funcionamiento: contaminación de las partículas magnéticas, envejecimiento de tuberías, se tomará finalmente la potencia de 1/2 HP (incluido regulación de válvulas).

Finalmente se señalará la necesidad de un adecuado mantenimiento para estos componentes debido a las adversas condiciones de operación. Otro punto importante es la correcta coloca -

ción de los tubos dentro del recipiente, es decir el perfecto sello que debe existir en esta unión para impedir fugas del baño, puede ser solucionado soldando los conductos a la base del recipiente. Respecto a los drenajes para el vaciado del baño desde del recipiente, se considerará utilizar los mismos conductos de descarga, los cuales se dividirán en el sitio de la válvula cónica a una brida, se hará de esta manera para no intróducir más detalles sobre la estructura del recipiente.

Mecanismo de magnetización de partículas magnéticas.-

Este estudio se limitará al cálculo y diseño de los elementos mecánicos de este sistema, ya que los sistemas eléctricos se describirán en la parte correspondiente.

El sistema de magnetización cumple la doble finalidad de permitir la salida de las palanquillas desde el recipiente y de hacer pasar la corriente eléctrica para inducir el campo magnético requerido. Por lo tanto, se diseña un sistema de dos cadenas transportadoras movidas por la rueda dentada que sirve de templador de las cadenas del transportador principal, mediante un sistema de transmisión como se verá luego. Estas cadenas se colocarán en los extremos de las palanquillas con lo que se generará un campo magnético circular al paso de la corriente. Su separación será de 5.80 metros para palanquillas de 6 metros, y para palanquillas de menor longitud una de éstas cadenas será desplazable como se verá al final de este estudio.

La disposición geométrica de las cadenas transportadoras principales y las de magnetización, permiten a las palanquillas "abandonar" momentáneamente a las primeras y depositarse sobre las segundas, como éstas son también transportadoras harán posible el reintegro de las palanquillas a las cadenas transportadoras principales. El plano A-2 ilustra este mecanismo. Este estudio se dividirá en las siguientes partes:

- Mecanismo de transmisión
- Cadenas y complementos
- Ejes y complementos

Cálculo del mecanismo de Transmisión.-

Sirviendo la rueda dentada templadora de las cadenas principales como elemento motriz y en vista de las limitaciones de espacio dentro del recipiente, se selecciona la catalina más -

pequeña correspondiente a su cadena que es la misma que se escogió para el sistema de rotación de palanquillas con un diámetro de paso 20.9 plg. (53 cm) y diámetro exterior 24 plg. (60 cm) .

La velocidad de rotación de esta rueda es contraria a la del transportador, por tanto se requerirá el uso de un sistema adicional para invertir el sentido del giro, lo que consiste de dos engranajes de dientes rectos y del mismo paso dispuestos en una caja sellada fuera del recipiente y comunicados a las ruedas dentadas por sus respectivos ejes.

Tomando como distancia de separación entre ejes de catalinas de las cadenas 1.8 metros, la suma de los radios de los engranajes será 90 cm. Además sus centros no estarán alineados horizontalmente por convenirlo así al diseño dadas las limitaciones de espacio dentro del recipiente.

La velocidad de rotación de la catalina templadora es:

$$\text{r.p.m.} = \frac{2 \text{ m/min}}{\pi(0.53) \text{ m}} = 1.20$$

En cambio, la velocidad de rotación de las catalinas de las cadenas de magnetización estará dada por la condición de mantener constante la separación de 1.2 metros con que están dispuestas las palanquillas. Como el transportador principal está sujeto a frecuentes paradas, este sistema de transmisión operando a velocidad proporcional a la distancia de recorrido, permitirá un perfecto sincronismo.

La longitud de cadenas principales que pasan por debajo de las de magnetización es aproximadamente 2.50 metros. Por tanto:

$$\text{Tiempo para recorrer 2.5 m} = 2.5/2\text{m/min} = 1.25 \text{ min}$$

Por esta razón se tomará en 1.20 min el tiempo necesario para que las cadenas de magnetización recorran la distancia de 1.8 m. lo cual permitirá un aceptable margen de seguridad para impedir que una palanquilla cualquiera se "atrase" a los aditamentos en los cuales estuvo. Por lo tanto:

$$\text{Velocidad cadenas: } S = 1.8\text{m}/1.2 \text{ min} = 1.5 \text{ m/min.}$$

Asumiendo como diámetro de paso para las catalinas 60 cm. dimensión conveniente al diseño, la velocidad de rotación es:

$$\text{r.p.m.} = \frac{1.5 \text{ m/min}}{\pi \cdot 0.6 \text{ m}} = 0.80$$

La relación de los diámetros primitivos de los engranajes de transmisión será:

$$\text{relación de transmisión} = \frac{1.2}{0.8} = 1.5$$

Conocida la suma de sus radios, dichos engranajes podrán tener 108 cm y 72 cm como diámetros primitivos.

La fig. 4.14 complementada con la Tabla 4.6 demuestra la disposición de este mecanismo y el resumen de los resultados efectuados.

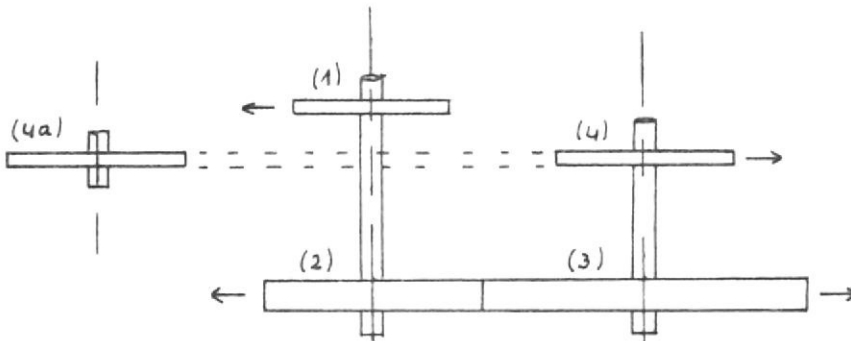


Fig. 4.14.- Mecanismo de transmisión

Tabla 4.6.- Valores de Velocidad y Diámetros para el mecanismo de magnetización

Elemento	r.p.m.	S (m/min)	D pri.(cm)	Nº dientes
catalina (1)	1.20	2	53	—
engranaje (2)	1.20	—	72	57
engranaje (3)	0.80	—	108	85
catalina (4, 4a)	0.80	1.5	60	—

Cálculo y Selección de Cadenas y complementos.-

El material para estas cadenas será similar a las del transportador principal. La tracción se calcula por la Ec. 4.3 y - para este caso:

$$P_m = P_3 + P_7$$

Se tienen los siguientes valores:

$$M_w = 238 \text{ lb/pie}$$

$$F_r = 1/4$$

$$W = 5 \text{ lb/pie}$$

$$L = 0 \text{ pies}$$

Reemplazando en las Ec. 4.6 y 4.9 se determina que:

$$P_m = 800 \text{ lb.}$$

Se selecciona como factores de servicio, los valores más críticos de Webster, Ref. 18 pag. 20 para F_p . Para F_s se toma el valor anterior del transportador principal.

Por la Ec. 4.2 :

$$\begin{aligned} \text{Tracción de diseño} &= 800 \times 1.2 \times 1.5 \times 1.4 \times 1.2 \times 0.7 = \\ &= 1840 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

Siendo dos cadenas, cada una soportará 920 lbs. En base a esto y de la referencia citada se selecciona el siguiente tipo de cadenas de rodillos, cuyas dimensiones y características se describen en la Fig. 4.3 anterior.

Cadena N° S 1120 Estilo S

paso:	4 plg.
Peso :	3.4 lb/pie
Carga de ruptura:	13000 lb
Carga de trabajo:	2170 lb
Espesor y altura de barras laterales:	A x B = 3/16 x 1 1/8 plg.
Ancho entre barras: C x G x H	1 1/16 x 1 1/8 x 1 1/16 plg.
Pin estilo C, diámetro: D	7/16 plg.
Bocín estilo 3, diámetro exterior: E ¹	3 7/64 plg.
Rodillos estilo A, diámetro	1 1/2 plg.
Ancho de cara:	15/16 plg.

Las catalinas motriz e impulsada serán del mismo diámetro, de dimensiones aproximadas a las dadas por el mecanismo de transmisión calculado anteriormente. Así se tiene de Webster, Ref. 18 la siguiente catalina referida a Fig. 4.5 anterior:

Catalina List 120 para cadena S 1120

Pitch P:	4 plg
Diámetro para rodillo Dr:	3.4 lb/pie
Carga recomendable de trabajo:	13000 lb
Número de dientes N:	18
Diámetro de paso:	23.04 plg. (59 cm)
Diámetro de orificio para eje con cuñas:	3 7/16 plg.
Manzana a ambos lados de longitud:	4 1/2 plg.
Peso aproximado:	63 lb

Con las Ec. 4.12 y 4.13 se calcula respectivamente que:

$$\text{Diámetro exterior} = 21.45 \text{ plg. (64 cm)}$$

$$\text{Longitud de cadena } L_p = 55 \text{ pasos (8.70 m)}.$$

No se cree necesario instalar guías para estas cadenas por su pequeña magnitud. Para mantener su tensión, en cambio se usarán el tipo de rodillo templador usado para las cadenas principales. Para aislarlas del paso de corriente eléctrica cuando se magnetiza la palanquilla, se las recubrirá con una banda de caucho.

Ejes y Complementos.-

El material a usarse para los ejes de todo este sistema será acero inoxidable austenítico. Sus dimensiones estarán de acuerdo a las catalinas seleccionadas. Por tanto:

Para las catalinas templadoras: ejes de 4 15/16 plg.

Para las catalinas de cadenas : ejes de 3 7/16 plg.

Sus longitudes estarán sujetas a las condiciones existentes al momento del montaje, adelantándose que el mayor de ellos, el de la catalina templadora no pasará de 1 metro.

Los diámetros anteriormente señalados permiten que estos ejes estén sobrediseñados respecto a los esfuerzos a que van a estar sometidos, por esta razón se omite su cálculo.

Las Cuñas a disponerse para los ejes tendrán las siguientes dimensiones: Tabla B-3.

Eje de $4 \frac{15}{16}$ plg.	$w = 1 \frac{1}{4}$ plg
	$h = 1 \frac{1}{4}$ plg
	perno = $\frac{7}{8}$ plg

Eje de $3 \frac{7}{16}$ plg.	$w = \frac{7}{8}$ plg
	$h = \frac{7}{8}$ plg
	perno = $\frac{3}{4}$ plg

Su longitud estará de acuerdo a las dimensiones de las catalinas, ya que no hay esfuerzos mayores.

Los cojinetes y chumaceras para los ejes de todo este sistema serán de rodillos a rótula como en los casos anteriores. Sus características han sido dadas anteriormente por haberse usado en mecanismos anteriores ejes de esas dimensiones. En total se dispondrán 4 cojinetes y chumaceras para los ejes de $3 \frac{7}{16}$ plg. y 8 para los del otro diámetro, convenientemente dispuestos.

En vista de que la mayoría de estos elementos van a estar situados dentro del recipiente, será necesario aislarlos del baño. Por esta razón se dispondrá para cada conjunto cojinete-chumacera de cajas herméticamente selladas que pueden estar formadas por planchas de acero inoxidable de $\frac{1}{16}$ plg. de acuerdo a las dimensiones de cada conjunto. Dicha caja estará asentada sobre algún miembro de la estructura sostenedora del recipiente por medio de la chumacera. En el sitio donde vaya el eje se dispondrá de un adecuado sello, el mismo que será descrito más adelante. La disposición de este sistema protector sería como el de la fig. 4.15.

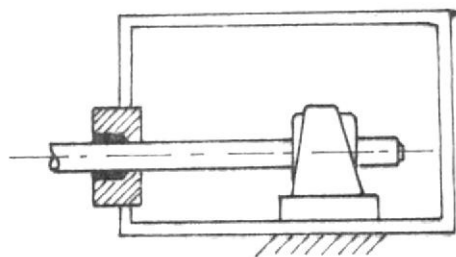


Fig. 4.15.- Sistema protector del baño

Finalmente, las empaquetaduras requeridas para mantener la correcta hermeticidad del recipiente y cajas de protección en los sitios donde van los ejes pasantes de todo este mecanismo, tendrán las siguientes características:

De Marks, Ref. 3 pag. 1124 se selecciona el sistema preno-estopas con su empaquetadura correspondiente usados para ejes en movimiento: Fig. 4.16

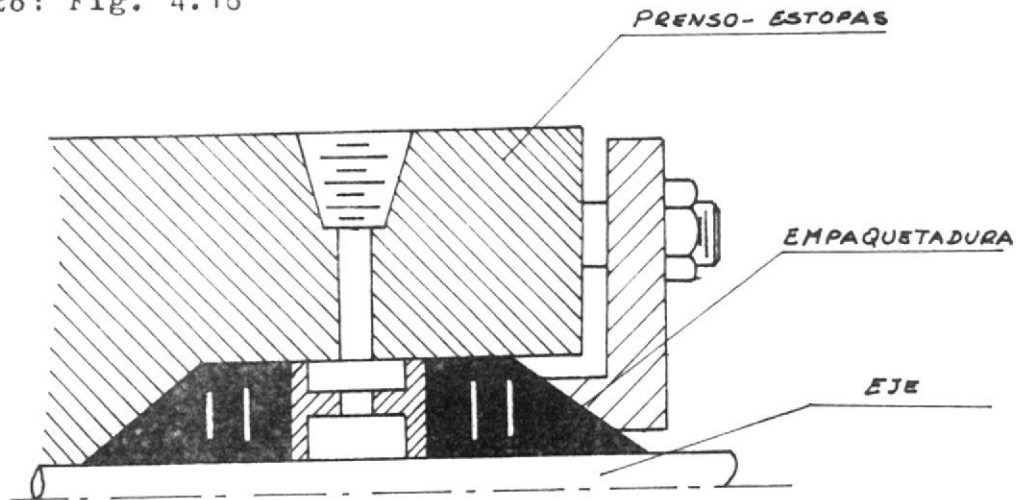


Fig. 4.16.- Empaquetadura

El material de la empaquetadura será lámina de caucho de $\frac{1}{4}$ plg, de espesor. A su interior se puede poner grasa para un mejor sello y mediante el perno ajustador se logrará la hermeticidad deseable.

Examinación de palanquillas menores a 6 metros.-

Para el caso de examinación de palanquillas menores a 6 metros, se desplazará una de las cadenas de magnetización hasta acoplarla a una de las cadenas interiores del transportador principal. Esto se conseguirá disponiendo de un eje de mayor longitud para la catalina motriz del sistema de magnetización, con lo cual se conseguirá una separación de 3.8 metros suficientes para magnetizar palanquillas desde 4 metros de longitud.

4.4 Selección de los Sistemas y Equipos Eléctricos.-

Esta parte del proyecto se referirá al sistema eléctrico del equipo de ensayo, limitándose solamente a hablar de las características de los componentes que se seleccionen. Básicamente son dos - los equipos que componen el sistema eléctrico de un equipo por partículas magnéticas:

Sistema de Magnetización

Sistema de Iluminación

Sistema de Magnetización.-

Es el equipo eléctrico propiamente dicho del ensayo, y consiste en una unidad móvil con capacidad para generar el amperaje requerido para dos clases de corriente: Continua y Alterna. En vista de ser un equipo altamente especializado deberá ser pedido bajo especificaciones a las casas comerciales correspondientes de la siguiente manera:

Equipo de Ensayo por partículas magnéticas (Técnica húmeda)

Amperaje de trabajo: 5000 Amp. para corriente continua y alterna

Sistema adicional de desmagnetización

Sistema de Contactos de alambre trenzado multifilar apropiado para palanquillas de aceros.

Materiales Complementarios: Partículas fluorescentes, cámara oscura adicional, lámpara de luz negra, etc..

Además de esta fuente de poder el equipo debe poseer un circuito eléctrico para la realización de la magnetización de las palanquillas. Por Betz, Ref. 4, se sabe que el flujo de corriente necesario para la magnetización de una pieza utilizando la técnica húmeda es de $\frac{1}{2}$ seg. Por lo tanto, para obtener de la fuente de poder este pulso será necesario acoplar el circuito eléctrico que se describe a continuación: Plano A-3.

Un micro-swicht (6) de rodillo que actúa únicamente en sentido unidireccional envía el pulso de $\frac{1}{2}$ seg. cuando la palanquilla esté aproximadamente en el centro de su recorrido sobre las cadenas de magnetización y se ponga en contacto con el mismo. El micro-swicht mediante una corriente continua de 6 v. (dada por el rectificador 5) alimenta al primario del transformador (4). Este induce

en el secundario un pulso de 6 voltios que alimentará la bobina del contactor (3). A su vez este contactor cerrará la alimentación de 220 v. a la bobina del contactor (2) el que permitirá el paso a las palanquillas de la corriente (mediante los contactos multifilares) de 4500 Amp. a 15 voltios (ya que éste será el voltaje del equipo para ese amperaje y para corriente continua).

El pulso de $\frac{1}{2}$ seg. puede ser regulado y como se dijo inducirá la corriente requerida mediante los contactos multifilares que estarán convenientemente alineados al micro-swicht para un correcto sincronismo. Estos contactos poseen una adecuada contextura para procurar un buen contacto al paso de las palanquillas.

Sistema de Iluminación.-

Este sistema consiste en una serie de lámparas de luz negra colocadas bajo la cubierta del cuarto de luz negra y enfocadas directamente a las palanquillas para lograr el buen contraste con las partículas fluorescentes. Para este sistema se dispondrán de lámparas de luz negra de 100 watios colocadas una al lado de otra en toda la longitud de la palanquilla, adelantándose que existirán de 10 a 12 de ellas.

La forma de su disposición y el watiage es lo recomendado en la examinación de palanquillas de aceros por este método. - Betz, Ref.4.

4.5 Cálculo y diseño del mecanismo de salida de palanquillas.-

Una vez examinadas las palanquillas en el cuarto de luz negra, es necesario que cada una de ellas abandone el transportador principal para dar lugar a otra nueva examinación.

El medio más conveniente que se ha escogido para tal efecto es el de tres rodillos transportadores, siendo motrices dos de ellos. Dichos rodillos irán justamente colocados en la mitad de los espacios dejados por las cuatro cadenas del transportador, estarán inicialmente en una posición 20 cm por debajo del nivel horizontal de las cadenas y, accionados hidráulicamente podrán subir hasta 50 cm con lo que se colocarán a 30 cm del nivel de las cadenas, suficientes para levantar las palanquillas y transportarlas cuando se den las órdenes correspondientes.

Los rodillos llevarán las palanquillas hasta un transportador inclinado que las conducirán por simple gravedad a un sitio de pre-almacenaje.

El estudio de este sistema se dividirá en lo siguiente:

Rodillos transportadores

Sistema hidráulico de elevación

Transportación de palanquillas por gravedad.

Cálculo y diseño de los rodillos transportadores.-

Los tres rodillos estarán separados 1.75 metros entre sí, con lo cual se cubrirán 3.50 metros de longitud para las palanquillas. Sus dimensiones serán: 30 cm. de largo y 20 cm. de diámetro, "acuñados" para un mejor asentamiento y transporte de las palanquillas.

La disposición de estos rodillos con sus elementos mecánicos se muestran en el Plano A-4, constanding cada uno de motor reductor, acoplamiento y rodamientos, a excepción del rodillo central que no tiene motor. Cada unidad va asentada sobre 3 vigas I, asentadas a su vez sobre otra I dispuesta horizontalmente la misma que es elevada por el sistema hidráulico.

La forma dada a los rodillos y sus dimensiones son las más usadas para procesos de laminación, por lo que se consideran muy apropiadas a este caso. El procedimiento de fabricación es fundidos y luego rectificadas al torno. El material empleado puede ser el de un acero comercial común.

Solidariamente al rodillo serán trabajados los ejes cuyo diámetro será 2 pulgadas, medida suficiente para absorber los pequeños momentos torsor y flector presentes. Su longitud estará sujeta a las condiciones del montaje. La unión del eje al rodillo será redondeada para disminuir los concentradores de tensiones.

Cálculo del motor reductor.-

Se selecciona una velocidad de transportación de 0.5 m/seg, para emplear un tiempo relativamente corto a fin de permitir examinar las palanquillas en los 142 seg. previstos. Sin ser grande esta velocidad se evitarán golpes, choques, ruidos por el peso de las palanquillas.

$$\text{Las revoluciones serán: } r.p.m. = \frac{0.5 \times 60}{\pi \times 0.2 \text{ m}} \approx 50$$

Se asume como peso crítico que soporte cada rodillo el de una palanquilla. La potencia requerida será la necesaria para vencer el rozamiento en los cojinetes y en el contacto rodillo - palanquilla. Este último factor se desprecia por ser pequeño ($f=0.002$) Marks, Ref. 3 pag .

El primer factor se lo calcula por:

$$f_k = f N \quad (4.35)$$

f_k : fuerza debida al rozamiento

f : factor de fricción = 0.03 para cojinetes de rodillos lubricados. Shigley, Ref. 11

N : normal al peso de palanquilla y rodillo igual a 1100 lb.

$$\text{Por lo tanto } f_k = 33 \text{ lb.}$$

Se calcula el torque para el radio del rodillo como caso extremo:

$$T = 33 \times 4 = 132 \text{ lb-plg.}$$

$$\text{La potencia por la Ec. 4.18: } \text{HP} = \frac{132 \times 50}{63000} = 0.108 \rightarrow \underline{\underline{1/8 \text{ HP}}}$$

Selección de Acoplamientos y Rodamientos.-

El eje del rodillo estará acoplado al del motor reductor mediante un acoplamiento flexible de las características enunciadas en la Tabla B-5 Catálogo ASEA, Ref, 14.

Se selecciona el Tipo KEA 42 B

Los rodamientos a usarse serán cojinetes de rodillos a rótula, sabiendo la carga que soportan ($1100 \text{ lb}/2$), y por la Ec. 4.22 , se tiene que:

Carga dinámica sobre el cojinete $C = 980 \text{ Kg.}$

En base a esta y con el diámetro del eje 2 plg, se seleccionan de Tablas B-4 y B-2 respectivamente:

Serie 222 C

Rodamiento con agujero cilíndrico N° 22210 C

Chumacera N° SN 511 Serie SN 5

Los rodamientos resultan sobrediseñados por tener pocas exigencias de carga y velocidad. Sin embargo su selección es lo más indicado.

Cálculo de la estructura sostenedora.-

Se calculará solamente la viga I dispuesta horizontalmente ya que las verticales soportan muy poca carga. Esta viga sostendrá a todos los elementos mecánicos que se han descrito, y se considerará que soporta a una palanquilla como caso crítico.

Teniendo los cilindros hidráulicos de elevación 4 pulgadas de diámetro se escogerá una viga de ese ancho para empotrar con facilidad al aditamento del émbolo con que generalmente vienen. En base a esto se selecciona de Tabla B-6 la siguiente viga I:

Altura: 8 plg

Ancho: 4 plg

Espesor : 0.27 plg

I/c : 14.2 plg³

Si se considera a esta viga empotrada en su centro y sopor -

tando como caso crítico 1500 lb. por los pesos existentes, en cada extremo habrán 750, lb. Su longitud no será mayor de 1 metro.

$$\text{Momento flector: } M = P \times L \quad (4.36)$$

$$M = 750 \times 20 = 15000 \text{ lb} - \text{plg.}$$

Si se usa un acero estructural con límite de fluencia de 30000 lb/plg.² y un factor de seguridad de 3, se tendrá:

$$\text{Módulo de sección } I/c = \frac{15000}{30000/3} = 1,5 \text{ plg}^5$$

Este resultado demuestra que la viga satisface las condiciones de trabajo en cualquier caso y su sobrediseño se justifica por necesitarse un ancho de 4 plg.

Cálculo y diseño del sistema hidráulico de elevación.-

El sistema hidráulico de elevación de rodillos cumple con la finalidad de levantar a través de éstos a las palanquillas para su salida. Existiendo tres rodillos, se diseña un sistema de elevación de tres cilindros hidráulicos accionados por bombas de engranajes a través de sus respectivas tuberías y controles.

El Plano A-5 muestra la instalación de uno de los cilindros cuyo funcionamiento es el siguiente: Mediante un switch eléctrico se acciona la bomba y se inicia el levantamiento de los rodillos, cuando se llega a la altura máxima se parará la bomba mediante un switch automático. Una válvula de no retorno impide el descenso del aceite en el cilindro. Cuando se ha transportado la palanquilla y se desee bajar el émbolo, se acciona una válvula solenoide que permite el retorno del aceite de los cilindros al depósito por la tubería de retorno.

Básicamente este sistema consta de las siguientes partes:

Cilindros hidráulicos

Bombas y tuberías

Depósitos de aceite

Válvulas de control.

Características de los Cilindros hidráulicos.-

Se disponen de dos tipos de cilindros: de simple efecto y de doble efecto. Para el presente caso se seleccionan cilindros de simple efecto, en los cuales la fuerza y dirección del movimiento producidos por la presión y caudal de aceite, actúan únicamente hacia un lado. En el sentido contrario el cilindro no produce ninguna fuerza y su retorno a la posición primitiva debe realizarse por medios externos, en este caso por la válvula solenoide.

Se asume la disponibilidad comercial de los cilindros de 10 cm de diámetro de superficie útil del émbolo, de simple efecto y con una carrera de hasta 50 cm. Comúnmente estos cilindros vienen con sistema de amortiguación interno para evitar golpes del émbolo, además juntas y elementos de estanqueidad, aberturas para la carga y descarga de aceite y finalmente un sistema de purgado de aire para evitar la formación de bolsas en la cámara.

Las dimensiones previstas son las más comunes para levantar pesos superiores a 2 Ton. con lo cual se tiene un amplio margen de operación.

$$\text{La superficie útil del émbolo será } A = \frac{\pi(4)^2}{4} = 12.56 \text{ plg.}^2$$

Equivalentes a 0.088 pies².

Se selecciona un tiempo de elevación de 5 seg. Por tanto:

$$\text{Velocidad émbolo: } S = \frac{h}{t} = \frac{\text{carrera}}{\text{tiempo}} = \frac{0.5 \text{ m}}{5 \text{ seg}} = 0.1 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 0.33 \frac{\text{pie}}{\text{seg}}$$

La fuerza a levantar será el peso de todos los elementos que están sobre el cilindro: palanquilla, rodillo, motor reductor, émbolo, estructura, etc. Este peso para los tres cilindros es de unas 2000 lb., si se considera que los cilindros extremos levantan mayor peso por la presencia del motor reductor, se tomará como valor promedio de carga 800 lb. sobre cada uno.

$$\text{Presión de trabajo: } p = \frac{800}{12.56} = 64 \text{ lb/plg.}^2 \text{ (4.35 atm.)}$$

$$\text{Potencia requerida: } \text{HP} = F \times S = 800 \text{ lb} \times 0.33 \frac{\text{pie}}{\text{seg}} = 0.48$$

Generalmente en estos cálculos no se toma en cuenta la eficiencia del cilindro por ser muy elevada.

Cálculo de bombas y tuberías.-

Para suministrar el aceite a la cámara del cilindro a la presión requerida se seleccionará una bomba de engranajes de mucha aplicación en estos sistemas, usadas para un rango de presiones hasta 200 atm. y con una gama de velocidades de 500 a 3000 r.p.m. con un rendimiento del 65 % aproximadamente. Panzer, Ref. 10

$$\text{El caudal a suministrar es } Q = A \times S = 0.088 \times 0.33 = 0.029 \frac{\text{pie}^3}{\text{seg}}$$

Equivalentes a 49.2 litros/min.

Los conductos o tuberías tanto de aspiración como de retorno serán de acero comercial recocido con lo que se obtiene una buena capacidad al estiramiento, doblado y curvado.

La velocidad de circulación del aceite para la baja presión de trabajo existente, según Panzer, Ref. 10 se tomará 2 m/seg, equivalentes a 0.2 pies/seg.

El diámetro de tubería despejando de Q resulta:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.029 \text{ pies}^3/\text{seg}}{\pi \times 0.2 \text{ pies/seg}}} \times 12 \frac{\text{plg}}{\text{pie}} = 1 \text{ plg.}$$

La longitud total de tubería de entrada al cilindro no será mayor de 1.5 metros, por lo que se pueden despreciar las pérdidas por fricción, además que el caudal y velocidad del aceite son bajos lo cual ocasionará un flujo probablemente laminar. De esta manera la potencia necesaria para la bomba será la misma requerida por el cilindro más un porcentaje por su eficiencia.

$$\text{HP} = \frac{0.48}{0.65} = 0.73 \quad \therefore \quad \underline{\text{HP} = 3/4}$$

Depósitos de Aceite.-

Estos recipientes a más de almacenar el aceite deberán estar diseñados para efectuar un filtrado del aire y aceite.

La capacidad se la obtendrá en base a las recomendaciones hechas para depósitos de aceite en sistemas hidráulicos para instalaciones fijas con trabajo intermitente de bomba, Panzer, Ref.10. señala una capacidad equivalente a 5 veces el caudal de la bomba.

$$\text{Capacidad} = 5 \times 49.2 \text{ litros/min} = 244 \text{ litros/min}$$

Trabajándose 5 seg = $\frac{1}{12}$ min se tendrá:

$$\text{Capacidad} = 244 \times \frac{1}{12} \approx \underline{20 \text{ litros}}$$

Siendo el volumen del cilindro $\pi r^2 h = \pi \times 5^2 \times 50 = 4000 \text{ cm}^3 = 4 \text{ lit.}$ se demuestra la correcta capacidad.

Por ser un recipiente pequeño se lo puede construir con láminas soldadas en aluminio de $\frac{1}{8}$ plg. evitándose así problemas de corrosión. La salida para las tuberías a los cilindros tendrán una malla metálica filtradora cercana al fondo del recipiente. Se procurará que posean suficiente aireación, tapón para llenado con filtro, control de nivel de aceite y finalmente un tapón para vaciado.

El aceite recomendado para usarse será del tipo mineral, liviano, tal como el SAE 15 de frecuente uso en estas instalaciones.

Válvulas de Control.-

En cada circuito de los cilindros hidráulicos se tendrán 4 válvulas de las siguientes características y apropiadas a las dimensiones de la tubería:

- a) Una válvula reductora de presión o de sobrepresión que acoplada a un "by-pass" sirve para proteger la instalación de sobrecargas,, limitando la presión del aceite a un valor máximo que es la presión de trabajo. Se selecciona el tipo de válvula a muelle, el que cuando la presión sube por arriba de la permitida empuja una válvula de retención desviando completamente el paso de aceite.
- b) Una válvula para control de caudal, la misma que variando la sección real de paso regula el caudal de aceite para obtener una buena sincronización de funcionamiento en los tres rodillos. Se selecciona el tipo de tornillo y cono de estrangulamiento.

Sistema de transportación por rodillos inclinados.-

Este sistema de transportación tiene como finalidad conducir a las palanquillas examinadas y que han sido levantadas hidráulicamente, a un sitio de prealmacenaje. Como los rodillos elevadores se encuentran a un nivel superior al piso de la planta, se acopla un sistema de rodillos inclinados los cuales sin necesitar fuerza motriz harán descender las palanquillas hasta el sitio de pre-almacenamiento que no es más que una plataforma de acero a donde las palanquillas finalizan su recorrido.

Se describirá este estudio en dos partes: los rodillos inclinados y la plataforma de llegada.

Cálculo de los Rodillos inclinados.-

Sus dimensiones, forma y material serán las mismas que se dieron para los rodillos de elevación. Se hace énfasis en el redondeamiento de la unión eje-rodillo para reducir los concentradores de tensiones ya que estarán sujetos a golpes por el paso de las palanquillas.

La altura desde la cual se harán descender las palanquillas es la misma a la que se encuentran los rodillos elevados:

Altura dejada desde el piso al ramal inferior de las cadenas del transportador principal:	0.50 m
Altura del tramo inclinado en el recipiente:	2.00 m
Diámetro de las catalinas principales	0.95 m
Nivel de rodillos respecto a dichas catalinas:	0.30 m
	3.75 m.

Se escoge una pendiente para los rodillos inclinados de aproximadamente 10° para evitar aceleraciones grandes por el gran peso de las palanquillas. La longitud de transportación será de 8 metros. Plano A-6. Además se dispone que los rodillos tengan una separación de 1 metro con lo cual se tendrán 9 rodillos en este tramo de 8 metros y se coloca el primero de ellos al mismo nivel que los rodillos elevadores y a una distancia de 50 cm. de la última catalina.

En los últimos 6 metros de este transportador y ubicados en los espacios entre rodillos, se colocarán ciertos aditamentos de caucho (zapatas) que tendrán el propósito doble de disminuir un poco la velocidad de la palanquilla y amortiguar el golpe de ésta sobre los rodillos en su descenso. La determinación del número y la posición exacta de estos aditamentos se la hará durante las pruebas preliminares de funcionamiento del equipo.

Los rodillos están sujetos por medio de soportes de brida a una viga U o canal a ambos lados. Dichos soportes van provistos de rodamientos lubricados rígidos de bolas apropiados para condiciones de trabajo con carga y velocidad moderadas como en este caso, en que una palanquilla es frenada y descansará sobre los rodillos. Estos soportes tienen agujeros para empernarse a la viga U.

En base al diámetro del eje y de la Tabla B-7 se selecciona:

Soporte de brida con rodamiento N° FY 200

La viga U seleccionada para soportar los rodillos tendrá las dimensiones apropiadas para albergar a los soportes de brida y una distancia adicional capaz de servir como guía para las palanquillas para su transportación en caso que roce contra sus caras. De Tabla B-8:

La viga seleccionada tiene las siguientes características:

Peralte del Canal:	12 plg.
Ancho:	2.34 plg.
Espesor:	0.28 plg.

Considerando la carga que soporta esta viga, estará sobrediseñada.

Características de la Plataforma de llegada.-

Para comprender mejor sus características se ilustra el Plano A-6. Esta plataforma sirve como pre-almacenaje de las palanquillas examinadas, tendrá una forma trapezoidal de las siguientes dimensiones:

Longitud = 7 metros
 Ancho (M) = 2 metros
 Ancho (m) = 1 metro
 Espesor = 1 plg.

Dicha plataforma está colocada inmediatamente después del tramo de rodillos inclinados y situada a una altura de 15 cm. por debajo de los mismos. Con esta disposición se consigue que las palanquillas lleguen en toda su longitud a dicha plataforma, - por tal motivo va a estar sujeta a golpes por lo que se empleará para su construcción planchas de acero comercial cementado de alta resistencia al desgaste como el AISI 5115.

Se considera que las planchas deben ser de 1 metro de ancho para poder renovarlas con facilidad. Al final de la plataforma se pondrá un tope recubierta con caucho el cual servirá como freno para las palanquillas. Este tope consiste en una plancha sostenida por dos resortes de alta resistencia que servirán para mortiguar el golpe. Estos resortes estarán a su vez sujetos en la parte final de la plataforma.

Con la forma y dimensiones dadas se conseguirá un almacenamiento de hasta 5 palanquillas, para dar tiempo más que suficiente para que el montacargas de la acería que se dispondrá para sacar las palanquillas de esta plataforma, pueda operar holagadamente considerando que cada palanquilla llega aproximadamente cada 142 seg.

La plataforma estará sentada por sus lados a ángulos de lados iguales de 8 plg. de lado por $\frac{1}{2}$ plg. de espesor, los cuales darán una buena consistencia a la misma. A los ángulos de los costados se les practicarán dos canales de 20 cm de ancho hasta el nivel de las planchas de acero, separados la misma distancia que tienen las horiquillas del montacargas para permitir su operación. En dichos sitios se puede practicar un pequeño rebaje en el espesor de las planchas en todo su ancho para permitir el fácil agarre de las palanquillas, teniendo cuidado que esto no introduzca puntas salientes de choque al paso de las palanquillas.

Una vez que las palanquillas hayan llegado a esta platafor-

ma, serán recogidas por el montacargas que las depositará en los sitios de almacenaje final de acuerdo a su clasificación: buenas, malas o a ser amoladas.

Una alternativa para reemplazar esta plataforma de pre-almacenamiento, sería el uso de un electroimán. Para este caso se requeriría que el sistema de salida de palanquillas mediante rodillos sea completamente horizontal, de tal manera que el electroimán retiraría las palanquillas de ese sitio. Se ha elegido el sistema actual por considerar que el uso de montacargas en acerías es muy común por su gran versatilidad, con lo cual no se ocasionarían gastos adicionales. Además el sistema escogido permite un prealmacenamiento de palanquillas que se considera muy importante.

Finalmente se señalará que existiendo una altura respecto al nivel del suelo apreciable en el sitio de operación del montacargas, y para permitirle una mejor capacidad de operación se recomendará la construcción de una plataforma de cemento de características y dimensiones apropiadas. Esta observación será válida para el montacargas que introduce las palanquillas en el transportador de cadenas, por existir el mismo problema.



4.6 Selección de las unidades motrices.-

Se hará la selección de los equipos para los distintos elementos mecánicos que componen esta parte del proyecto, en base a los requerimientos de potencia calculados, así como a las características más convenientes para un mejor funcionamiento.

Se observará el mismo orden en que han sido presentados en los cálculos anteriores:

- a) Para la transportación de palanquillas de los sitios de almacenaje al sistema de recepción y transporte, así como desde la plataforma de pre-almacenaje a los sitios de almacenaje final:

2 Montacargas de horquillas para operar con aditamentos de horquillas rotativas y estabilizados de cargas.

Características:

Capacidad: 5000 lbs.

Altura máxima de elevación de horquillas: 3 metros

Separación de horquillas: 4.02 metros.

Referencia: Catálogo TOYOTA, Ref. 17.

- b) Para el sistema de recepción y transporte de palanquillas?

1 Motor-reductor de 8 HP a 9.1 r.p.m.

Características:

Reductor de dientes helicoidales, resistente a la corrosión.

Motor trifásico de 380 v. a corriente alterna de 60 Hz.

Amperaje a plena carga: 11.7 Amp.

Peso aproximado: 700 lbs.

Referencia: Catálogo ASEA, Ref.14.

Nota.- La casa comercial del Catálogo mencionado, dispone de una amplia gama de motores - reductores con potencias desde $\frac{1}{8}$ hasta 54 HP, con salidas de velocidad desde 456 a 2.8 r.p.m. Para 8 HP se encuentran salidas de velocidad de

hasta 9.1 r.p.m. por lo que se ha necesitado un sistema de reduc
ción adicional a 0.8 r.p.m. como ha sido descrito anteriormente.

- c) Para el sistema de agitación del baño de partículas magnéticas:

1 Bomba centrífuga de $\frac{1}{2}$ HP a 3500 r.p.m.

Características:

Tubería de succión y de descarga: 2 plg

Cabezal máximo: 40 pies

Flujo de trabajo: 90 gal/min

Motor trifásico para corriente alterna

Peso aproximado total: 100 lbs.

Referencia: Catálogo GOULDS PUMPS, Ref. 15.

- d) Para el sistema de salida de palanquillas por medio de rodillos elevadores:

2 Motores - reductores de $\frac{1}{8}$ HP a 50 r.p.m.

Características:

Reductor de dientes helicoidales, resistente a la co-
rrosión.

Motor trifásico de 380 v. a corriente alterna de 60 HZ.

Amperaje a plena carga: 0.5 Amp.

Peso aproximado: 60 lbs.

Referencia: Catálogo ASEA, Ref. 14.

- e) Para el sistema hidráulico de elevación de palanquillas:

3 Bombas de engranajes de $\frac{3}{4}$ HP a 1750 r.p.m.

Características:

Tubería de succión y descarga: 1 plg.

Flujo de trabajo: 20 gal/min

Motor trifásico para corriente alterna

Peso aproximado total: 150 lbs.

Referencia: Catálogo GOULD PUMPS, Ref. 15

4.7 Cálculo y Diseño de la Estructura Metálica del Equipo.-

Puesto que el equipo del presente proyecto consta de varias partes bien diferenciadas, este estudio se lo dividirá para los siguientes elementos:

Transportador de Cadenas
 Recipiente de baño magnético
 Rodillos transportadores inclinados
 Plataforma de pre-almacenamiento.

Estructura para el Transportador de Cadenas.-

Es la estructura más compleja del equipo por la gran cantidad de partes mecánicas de que consta. Se hará entonces el cálculo y diseño de una estructura principal que tome en cuenta todos los pesos principales y secundarios. La estructura para los elementos secundarios se la hará en base a la estructura principal al momento del montaje.

Las cargas actuantes sobre el transportador son:

Peso de palanquillas	13400 lbs.
peso de ejes	3500
peso catalinas	5000
peso cojinetes y chumaceras	2600
peso cadenas	12200
peso guías	2600
peso del motor y sistema de reducción	2500
peso del sistema de cilindros hidráulicos	2000
	43800 lbs.

Se tomarán finalmente 45000 lbs.

La estructura más aconsejable para este transportador puede ser la del tipo Pórtico, con vigas I y cruzados con vigas secundarias del tipo U tal como se muestra en la Fig. 4.17.

Al existir en el transportador dos secciones horizontales, se considerará que sus extremos se apoyan sobre los pórticos, en los sitios correspondientes a las chumaceras de los ejes y a las guías sobre las que deslizan las cadenas. En estas circunstancias exis -

tirán 4 pórticos principales.

Para simplificar el cálculo y sobrediseñar la estructura se considera para el análisis que no existen las vigas U cruzadas.

La carga actuante será equivalente a $45000/4$ lbs. pero si se considera que uno de los pórticos soporta una carga mayor por la presencia del cuarto de luz negra, sistema hidráulico, etc. se tomará el valor de 15000 lbs. actuando sobre uno de los pórticos en su mayor luz.

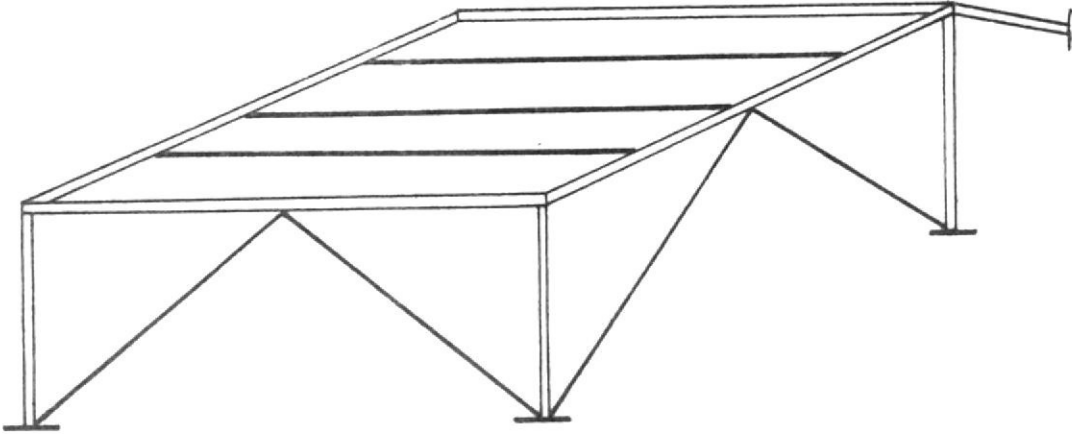


Fig. 4.17.- Esquema de la Estructura del Transportador

El esfuerzo mayor a que van a estar sometidos los miembros de la estructura serán debidos a la carga actuante y al momento flector máximo provocado:

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{I/c} \quad (4.37)$$

La estructura del pórtico es estáticamente indeterminada, pero en Wilbur y Norris, Ref. 12 se hacen las siguientes aproximaciones:

- Las fuerzas axiales se consideran nulas
- Existen puntos de inflexión a $1/10$ de la luz a partir de los apoyos articulados de los extremos. Fig. 4.18.

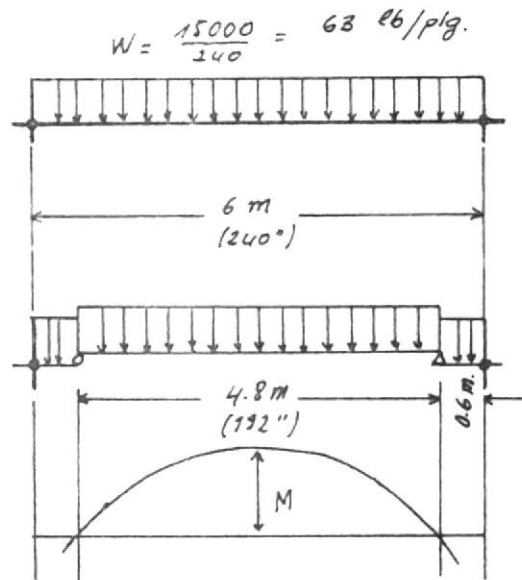


Fig. 4.18.- Pórtico

De esta manera se calcula que $M = \frac{w L^2}{8}$ (4.38)

$$M = \frac{63 \times (192)^2}{8} = 290000 \text{ lb - plg.}$$

Si se emplea un acero estructural para las vigas I con un límite de fluencia 30000 lb/plg.^2 y un factor de seguridad de 3, se necesitará aproximadamente que dichos perfiles tengan un módulo de sección igual a 30.

En base a lo anterior se selecciona la siguiente viga I Tabla B-6:

Dimensiones: 12 x 6 x 0.28 plg.

Area: 8.15 plg.²

I/c : 33.2 plg.³

r : 4.95 plg.

Retornando a la Ec. 4.37 se tiene:

$$\sigma = \frac{7500}{8.15} + \frac{290000}{33.2} = 9800 \text{ lb/plg.}^2$$

Lo que está de acuerdo a los requerimientos presentes.

Finalmente se examinarán las vigas verticales al pandeo. Para este análisis se emplearán las expresiones del Manual AISC, Ref.13

$$\sigma = 17000 - 0.485 (L/r)^2 \quad \text{para } L/r < 120 \quad (4.39)$$

$$\sigma = \frac{18000}{1 + \frac{L^2}{18000 r^2}} \times \left(1.6 - \frac{L/r}{200}\right) \quad \text{para } L/r > 120 \quad (4.40)$$

La referencia citada recomienda no exeder el valor de L/r arriba de 250.

El significado de los términos de las expresiones es el siguiente:

σ	=	esfuerzo permisible al pandeo	Lb/plg. ²
L	=	longitud del miembro	plg.
r	=	radio de giro del miembro	plg.

Para el presente caso $L = 3.5 \text{ m} = 140 \text{ plg.}$ $r = 4.95 \text{ plg.}$

Con lo cual $L/r = 28$ y deberá aplicarse la Ec. 4.39

$$\sigma = 16250 \text{ lb/plg.}^2$$

Este esfuerzo permisible es mayor que el que se había tomado considerando simplemente la fluencia del material, por lo tanto se considera correcta la selección de las vigas I.

Respecto a las vigas U que cruzan los pórticos se hará la selección en base a las vigas principales y a la disponibilidad de material en la planta.

Estructura para el recipiente de baño.-

Las cargas que actúan sobre ésta estructura son:

Peso de 27 m ³ de baño	60000	lbs.
peso del material del recipiente	3200	
peso de cadenas, ejes y catalinas	2000	
peso de cojinetes y chumaceras	1100	
peso de engranajes	1000	
peso del sistema de agitación	700	
	<hr/>	
	68000	lbs.

Se puede aproximar finalmente a 70000 lbs.

El tipo de estructura a disponerse será del tipo triangulada o cerchas. Se colocarán cuatro apoyos simétricamente espaciados a lo largo de la longitud del recipiente. Los elementos estructurales serán vigas I. Para el cálculo se considera que la carga se reparte uniformemente en los apoyos. Fig. 4.19.

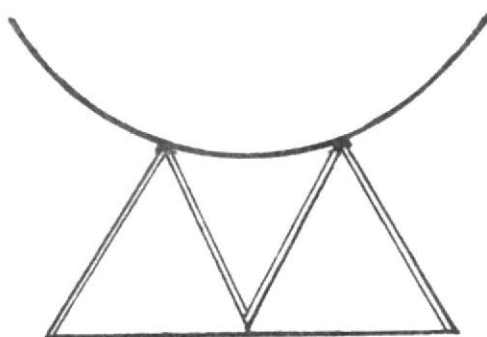


Fig. 4.19.- Estructura del Recipiente

Para un mejor asentamiento del recipiente sobre la estructura se colocará un "anillo" metálico el cual descansará sobre la estructura. Este anillo puede ser formado por ángulos de lados iguales de dimensiones apropiadas.

Habiendo 4 apoyos la carga se repartirá: $\frac{70000}{4} = 17500$ lbs.

Asumiendo que ésta carga se reparte normal y uniformemente - sobre cada elemento de la estructura, se tendrá:

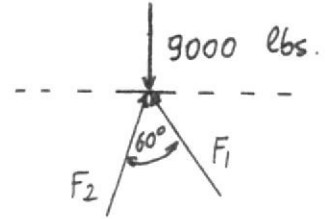
Carga sobre cada nudo ≈ 9000 lbs.

Se considera que el miembro asentado sobre el piso no existe para simplificar el cálculo, además para no provocar momentos la articulación se unirá mediante un pasador.

En cualquier nudo se tiene: $F_1 = F_2 = F$

$$\sum F_y = 9000 - 2F \text{ sen } 60^\circ = 0$$

$$F = 5300 \text{ lbs.}$$



Tomando como material de los miembros un acero estructural con un límite de fluencia 30000 lb/plg.^2 y un factor de seguridad 3, - se tiene:

$$A \text{ requerida} = \frac{5300}{10000} = 0.53 \text{ plg.}^2$$

Se selecciona de Tabla B-6 la viga I más aproximada a este requerimiento:

Dimensiones: $3 \times 2.33 \times 0.17 \text{ plg.}$

Area: 1.04 plg.^2

r: 0.53 plg.

Seguidamente se hará análisis de pandeo:

Se toma como valor de $L = 1.2 \text{ metros} = 50 \text{ plg.}$

$$L/r = 95$$

Aplicando la expresión 4.39 se tiene: $\sigma = 12600 \text{ lb/plg.}^2$

Puesto que el area requerida para este esfuerzo será menor - que la hallada anteriormente, se considera adecuada la selección.

Estructura para los Rodillos inclinados.-

Las cargas que actúan sobre esta estructura son:

Peso de 1 palanquilla	1030 lbs.
peso de 9 rodillo	1470
peso de las vigas U	1050
peso de soportes de brida	150
	<hr/>
	3700 lbs.

Se tomarán 4000 lbs. considerando los aditamentos de caucho.

Para esta estructura se tomará el tipo cerchas como la de la Fig. 4.20 formada por ángulos de lados iguales.

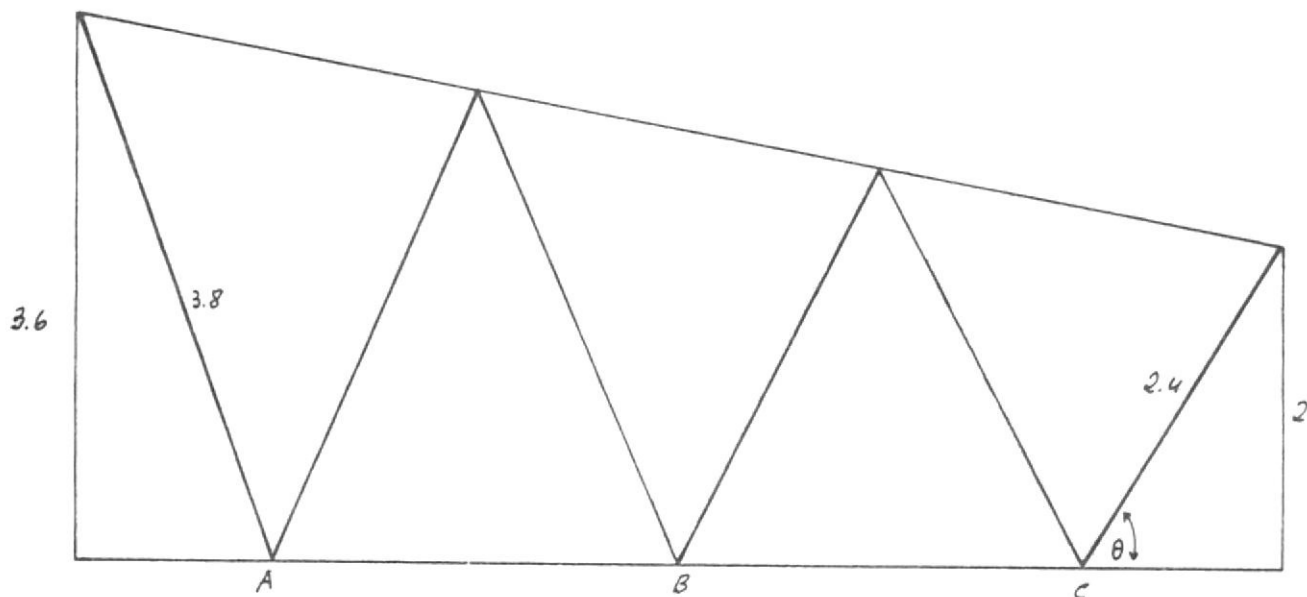


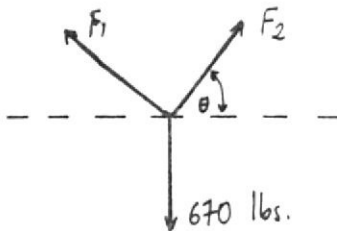
Fig. 4.20.- Estructura para rodillos

Se dispondrá que la estructura se asiente sobre tres apoyos - simétricamente colocados para conseguir que el peso se reparta - proporcionalmente. No se considera el miembro asentado sobre el - piso y los lados para simplificar y sobrediseñar la estructura. Las articulaciones se unirán al miembro del piso mediante pasadores para no provocar momentos.

Existiendo dos ramales de estructura, se tendrán 2000 lbs. c/u.

Además, existiendo tres apoyos en cada nudo habrá una reacción de 670 lbs. Se hará el análisis para el nudo C por tener la mayor inclinación:

Asumiendo que $F_1 = F_2 = F$



$$\theta = \arcsin 2/2.4 = 56.5^\circ$$

$$\sum F_y = 670 - 2 F \sin 56.5^\circ = 0$$

$$F = 420 \text{ lbs.}$$

Esta fuerza es tan pequeña que se prefiere examinar la estructura al pandeo:

El elemento de mayor longitud es $L = 3.8 \text{ m} = 150 \text{ plg.}$

Si se recomienda que L/r no pase de 250, se tomará un $r = 0.6 \text{ plg.}$

De tal manera que $L/r = 250$ y se aplicará la Ec. 4.40

$$\sigma = 1420 \text{ lb/plg.}^2$$

$$\text{El area requerida será } A = \frac{420}{1420} = 0.3 \text{ plg.}^2$$

De Tabla B - 10 se selecciona el siguiente ángulo:

Dimensiones: $3 \times 3 \times 1/4 \text{ plg.}$

Area: 1.44 plg.^2

r : 0.59 plg.

El sobrediseñamiento de estos miembros se explica por tener un r apreciable, sin embargo está justificado por las cargas dinámicas que existirán al paso de cada palanquilla.

A los extremos y sobre el piso de esta estructura irán vigas I de apropiadas dimensiones en base a los ángulos.

Estructura para la Plataforma de pre-almacenamiento.-

Las cargas que actúan sobre esta estructura son:

Peso de hasta 6 palanquillas	6200 lbs.
peso de la plataforma	4500 lbs.
peso de ángulos sostenedores	1400 lbs.
	<hr/>
	12200 lbs.

Se tomarán 13000 lbs. por el sobrediseñamiento que debe tener a causa de los golpes de las palanquillas.

Las características de esta estructura serán exactamente similares a la calculada anteriormente. Será del tipo cerchas formada por ángulos. Las consideraciones para el análisis serán las mismas. La forma de la estructura se observa en la Fig. 4.21.

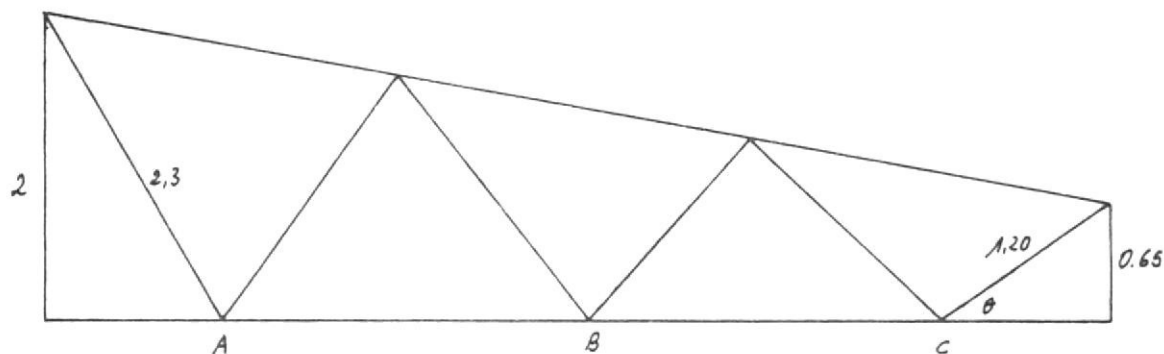
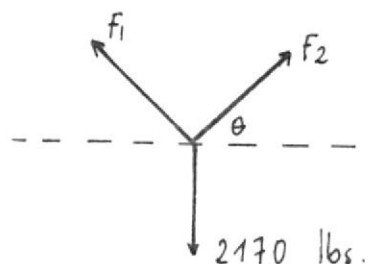


Fig. 4.21.- Estructura de la plataforma

Carga que soporta cada ramal = 5500 lb

Carga que soporta cada apoyo = 2170 lb

Se hace el análisis en el nudo C por ser el caso crítico:



$$\theta = \text{arc sen } 0.65/1.2 = 32.7^{\circ}$$

$$\sum F_y = 2170 - 2 f \text{ sen } 32.7^{\circ} = 0$$

$$F = 2000 \text{ lbs.}$$

El area requerida para el mismo tipo de acero:

$$A = \frac{2000}{10000} = 0.2 \text{ plg.}^2$$

Esta sección pequeña dará un ángulo pequeño y se considera el pandeo para el miembro más largo: $L = 2.3 \text{ m} = 91 \text{ plg.}$

Se asume un radio de giro mínimo de 0.4 plg. de tal manera que:

$$\begin{aligned} L/r &= 228 && \text{Se aplicará la Ec. 4.40:} \\ &= 2120 \text{ lb/plg.}^2 \end{aligned}$$

$$\text{El area requerida será: } A = \frac{2000}{2120} = 0.95 \text{ plg.}^2$$

Con los datos anteriores se selecciona el siguiente ángulo.
Tabla B-10:

$$\begin{aligned} \text{Dimensiones: } & 2 \times 2 \times \frac{1}{4} \text{ plg.} \\ \text{Area: } & 1.56 \text{ plg.}^2 \\ r: & 0.39 \text{ plg.} \end{aligned}$$

El sobrediseñamiento de esta estructura permitirá a la misma absorber las cargas dinámicas que existirán por las palanquillas, aunque con los dispositivos de caucho que se han colocado entre los rodillos inclinados y los resortes que existen al final de esta plataforma se disminuirá notablemente este efecto.

CAPITULO 5

CRITERIOS DE ACEPTACION, RECHAZO Y CORRECCION DE PALANQUILLAS

5.1 Introducción.-

El diseño de los Materiales de Ingeniería para la construcción de ejes, vigas, árboles, estructuras, etc., así como los recipientes de presión, se realiza de modo que las tensiones en los mismos no exedan el límite de Fluencia. Esto asegura que el componente no sufrirá fluencia y por lo tanto no cambiará su geometría durante el servicio. De la misma manera la metalurgia selecciona composiciones y tratamientos térmicos que dan una óptima tensión de fluencia por costo unitario.

Sin embargo, muchos elementos mecánicos y estructuras han fallado debido a que la tensión de fluencia no contempla la presencia de defectos del tipo fisuras en dichos elementos. Su desconocimiento ha llevado a la Ingeniería del Diseño a tomar factores de seguridad con lo que se han logrado buenos resultados, aunque ello ha incidido en el aumento del costo de un determinado elemento.

El conocimiento de la presencia de fisuras en un material es importante por varias razones:

1. Fisuras y defectos tipos fisuras son factibles de encontrar en todo elemento mecánico o estructural.
2. Las fisuras pueden crecer muy lentamente con el tiempo. Si alcanzan un tamaño crítico se tornan inestables y se propagan catastróficamente.
3. Para un material como el acero, el crecimiento lento de fisuras, así como su propagación inestable, puede ocurrir a niveles de tensión muy inferiores al límite de fluencia. Debidos a los puntos anotados anteriormente, los ingenie-ros diseñadores y metalurgistas están usando cada vez más en el diseño, el estudio de la Mecánica y Metalurgia de la fractura que tiene en cuenta los defectos presentes en un material, en vez de la tensión de fluencia. Este estudio tiene en cuenta los siguientes aspectos: Hahn, ref.7.
 - a) El tamaño de la fisura.
 - b) La carga que provoca el crecimiento de la fisura
 - c) La tenacidad a la fractura que es una medida de la resistencia del material a la propagación de fisuras.

Estos tres factores están relacionados por la siguiente expresión para una determinada pieza:

$$K_c = C_x \sigma_x \sqrt{\pi a} \quad (5.1)$$

K_c : Tenacidad a la fractura, constante para un determinado material

C : Constante dependiente de la geometría de la pieza

σ : Esfuerzo que provoca el crecimiento de una fisura

a : Tamaño de la fisura

El valor de K_c ha sido calculado experimentalmente en base al ensayo de tenacidad a la fractura en deformación plana dado por la norma ASTM-E399-72 con probetas, cargas y fisuras normalizadas. Este valor que depende de muchos aspectos entre los más importantes la temperatura, el tratamiento metalúrgico y la resistencia a la tracción de la pieza, ha dado un rango de valores de aproximadamente 100 $\text{Kg/mm}^{3/2}$ a 1000 $\text{Kg/mm}^{3/2}$ para diferentes tipos de aceros de construcción.

Lo anterior significa que si las condiciones de servicio para un determinado elemento superan el valor de K_c , una fisura existente en el mismo crecerá y se propagará produciendo su fractura.

Los esfuerzos que pueden provocar el crecimiento y luego la propagación de las fisuras son de varios tipos, entre ellos el debido a la fatiga producida por cargas cíclicas, lo cual tienen gran incidencia en los materiales de servicio.

El campo que abarca la mecánica y metalurgia de la fractura es amplio y complejo cuyo estudio escapa a los objetivos del presente trabajo, sin embargo se ha dado el enfoque mínimo capaz de comprender la importancia de los defectos presentes en un material.

Así pues, el ensayo por partículas magnéticas debería determinar el valor del tamaño de defectos críticos que con una determinada carga superaría el valor de K_c . Como esto sería muy difícil de lograrlo por los diversos factores presentes, el ensayo trata de minimizar el valor del tamaño del defecto.

Para el caso concreto de las palanquillas de acero, lo que el ensayo persigue es de calificar la calidad de las mismas de acuerdo a normas establecidas.

5.2 Criterios de Calificación de Palanquillas.-

Una rigurosa calificación de la calidad de este tipo de palanquillas ha sido establecida en el ensayo por partículas magnéticas, tratando de enviar al fabricante de los elementos mecánicos correspondientes una buena materia prima.

Se recomiendan dos inspectores para la examinación de palanquillas en el cuarto de luz negra, los cuales examinará sus cuatro caras. Para la examinación de palanquillas de aceros, con magnetización circular, usando el método contínuo y un baño magnético a base de agua con partículas magnéticas fluorescentes, se han establecido las siguientes normas para su calificación; Betz, ref.4.

- a) Palanquillas BUENAS; las señales representativas de los defectos indican que su profundidad en la palanquilla no es mayor de 0.020 a 0.030 pulgadas. Por lo tanto pueden ser trabajadas como están y las pequeñas rajaduras presentes saldrán por sí mismas en el proceso de trabajado mecánico a que serán sometidas posteriormente,
- b) Palanquillas CONDICIONADAS; las señales indican que las profundidades de los defectos varían entre 0.050 a 0.070 plg. Están condicionadas a un amolamiento para su corrección, que tratará de remover la capa de material defectuoso. Luego de ello, deberán ser examinadas nuevamente.
- c) Palanquillas RECHAZADAS; las señales indican que la profundidad de los defectos es mayor que 0.070 pulgadas, lo que da lugar a que éstas palanquillas sean usadas para otros fines menos rigurosos de calidad de los que estaban destinadas, o bien, sean refundidas nuevamente en la acería de la planta.

5.3 Calificación de los Inspectores.-

La apreciación de las señales descritas es visual y ayudada por el gran contraste presente entre las partículas fluorescentes con la luz negra. Los inspectores a cargo de la examinación deberán ser altamente calificados para una correcta apreciación. Deberán discernir entre los verdaderos defectos presentes y otras señales debidas a factores extraños al ensayo. Para ello deberán conocer a fondo la técnica del ensayo y sobre todo los aspectos metalúrgicos presentes en las palanquillas, es decir los fenómenos que se producen en la fundición y laminación de estas para poder inclusive predecir la naturaleza de los defectos. Se recomienda para este ensayo el juicio de dos inspectores, los cuales pueden examinar cada uno, toda o la mitad de la

palanquilla, emitir su criterio y en base al más riguroso se las calificará.

5.4 Señalamiento de palanquillas.-

Los inspectores de examinación señalarán convenientemente las palanquillas de acuerdo a su calidad. En el caso de las palanquillas condicionadas se deberán marcar los defectos individuales en toda su magnitud, para que puedan ser observados por los operadores de amolamiento.

Para la determinación de la calidad a que pertenece cada palanquilla examinada, se ayudarán con fotografías de defectos patrones detectados con el mismo método de ensayo y las mismas técnicas, las cuales son obtenibles de las casas comerciales especializadas en la fabricación de equipos para este ensayo. Aunque luego, dada su experiencia podrán determinar la calidad de las palanquillas con gran rapidez en base al tamaño de defecto crítico que es 0.070 plg.

La Fig. 5.1 da un ejemplo de las señales observadas en palanquillas con el uso de partículas magnéticas fluorescentes utilizando el método continuo.

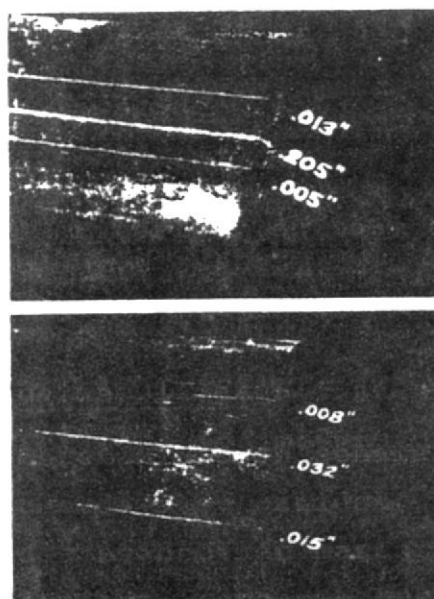


Fig. 5.1.- Fotografías de defectos patrones.

La calificación de las palanquillas permitirá al operador del montacargas que retira a las mismas del mecanismo de salida

CAPITULO 6

CALCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE AMOLACION

Una vez que las palanquillas a ser corregidas hayan sido depositadas en el sitio de almacenamiento correspondiente, el montacargas previsto las llevará a un sistema de cadenas en donde se le hará el amolamiento requerido. Este sistema consta de dos partes principales: Sistema de movimiento de palanquillas y sistema de amolación propiamente dicho.

6.1 Cálculo y diseño del Sistema de Movimiento de palanquillas.-

Para poder realizar el amolamiento de las cuatro caras de las palanquillas es necesario hacerlas rotar. Se ha diseñado un sistema de cadenas que trabajarán similarmente a las del cuarto de luz negra, separadas 3.80 metros a fin de permitir amolar palanquillas menores a 6 m. Cada cadena será motriz y deberán ser accionadas eléctricamente por los operarios de amolación mediante un mismo sistema de control.

Se pasará a describir las partes principales de este sistema, el mismo que se ilustra en el Plano A-7.

Cálculo de Cadenas y Catalinas.-

Se usará como en los casos anteriores cadenas de rodillos de peso corto. La forma adoptada por la cadena permite la rotación de las palanquillas cuando las primeras se mueven. Las catalinas estarán colocadas a unos 60 cm. por arriba de la palanquilla y la separación entre ellas se diseña sea 1.20 metros. Con estas dimensiones se ha obtenido un ángulo de aproximadamente 60° con la horizontal.

La longitud de cadena se puede asumir sea 4 veces la diagonal formada, y se puede aproximar:

$$L_p = \text{Longitud de cadena por ramal} = 4 \text{ metros}$$

Para permitir la rotación se selecciona una velocidad de cadena de 5 cm/seg, tomando en cuenta que la cara de palanquilla

mide 10 cm y se efectuará una rotación en aproximadamente 2 seg.

Por lo tanto: $S = 5 \text{ cm/seg} = 3 \text{ m/min} = 10 \text{ pies/min.}$

Como estas cadenas no son en realidad transportadoras, para el cálculo de P_m , Ec. 4.3 consideramos el peso de una palanquilla, cadenas, fricción en rodillos y guías, etc. Basados en la experiencia de los transportadores diseñados anteriormente, se toma:

$$P_m = 1400 \text{ lbs.}$$

Asumimos como factores de servicio: $F_p = 1.5$ $F_s = 1$

Por la Ec. 4.2: Tracción de diseño = $1.400 \times 1.5 \times 1 = \underline{2100 \text{ lb.}}$

Siendo dos ramales de cadenas cada uno soportará 1050 lbs.

Con el valor anterior se puede seleccionar de Webster, Ref. 18 la misma cadena que se usó para el mecanismo de magnetización:

Cadena N° S 1120 Estilo S: Carga de trabajo = 2170 lbs.

Las demás características se han dado al seleccionar anteriormente la mencionada cadena.

Las catalinas motriz e impulsada para cada ramal serán de las mismas características. De Webster, Ref. 18 se selecciona:

Catalina List 120 para Cadena N° S 1120

Pitch P:	4 plg.
Diámetro para rodillo Dr:	1 1/2 plg.
Carga recomendable de trabajo:	3170 lb
Número de dientes N:	10
Diámetro de paso:	12.94 plg. (32 cm)
Diámetro de orificio para eje con/ cuñas:	2 15/16 plg.
Manzana a ambos lados de longitud:	4 plg.
Peso aproximado:	24 lbs.

Sus características están dadas en la fig. 4.5 anterior.

Por la Ec. 4.12 : Diámetro exterior = 14.6 plg.

La Velocidad de las catalinas será:

$$\text{r.p.m.} = \frac{3 \text{ m/min}}{\pi \times 0.32 \text{ m}} = 3$$

Para mantener la tensión de las cadenas se usará un rodillo - templador de las mismas características que el N° 1 C.

Para evitar es destemplamiento del ramal inferior de las cadenas cuando no estén en servicio, se colocará en esta parte una guía de la forma indicada en el Plano A-7, la cual, con el rodillo de templamiento evitarán este problema. La estructura del sistema en general está indicada en el mismo gráfico y constará de 4 piezas independientes.

Cálculo de Ejes y Complementos.-

Para las dos cadenas de amolamiento se dispondrán de 4 ejes sólidos para las cuatro catalinas motrices e impulsadas.

Por la Ec. 4.19 se calcula que: $\text{HP} = \frac{1050 \text{ lb} \times 10 \text{ pie/min}}{33000} = 0.31$

Se han considerado factores de servicio, pero se tomará finalmente:

$$\text{HP} = \frac{1}{3}$$

El torque transmitido se calculará por la Ec. 4.18:

$$T = \frac{53000 \times \frac{1}{3} \text{ HP}}{3 \text{ r.p.m.}} = 7000 \text{ lb - plg.}$$

El momento flector en los ejes se lo considera como el que produce una carga central sobre el eje apoyado en sus extremos. La carga es debida al peso de eje, catalina, tracción de la cadena, etc. Se tomará $P = 2000 \text{ lbs.}$ $L = 12 \text{ plg.}$

Con lo cual Ec. 4.21 : $M = \frac{2000 \times 12}{4} = 6000 \text{ lb - plg.}$

4

Reemplazando los valores del torque y momento flector en la -

Ec. 4.17 se tiene el esfuerzo al cual va a estar sometido el eje:

$$S_s \text{ max} = 2200 \text{ lb/plg.}^2$$

Este máximo esfuerzo combinado lo puede absorber el uso de un acero comercial cuya resistencia a la torsión y flexión es de - 6000 lb/plg.²

Las cuñas a disponerse en todos los ejes tendrán las siguientes características: Tabla B-3.

$$\begin{aligned} \text{Para eje de } 2 \frac{15}{16} \text{ plg: } w &= 5/8 \text{ plg.} \\ h &= 5/8 \text{ plg.} \\ \text{perno} &= 5/8 \text{ plg.} \end{aligned}$$

$$\text{Su longitud por la Ec. 4.23 } L = 2.5 \text{ plg.}$$

Los acoplamientos para los ejes motrices al motor reductor, - serán del tipo flexible. Tabla B-5.

Acoplamiento Tipo BEK 310

Finalmente los rodamientos a disponerse seleccionamos sean del tipo Soportes de pie que vienen provistos con cojinetes de bolas y son adecuados para trabajar con cargas y velocidades moderadas. De tabla B-10 se selecciona el siguiente tipo:

Soporte de pie con Rodamiento Serie SY
Nº SY 211

El diámetro para este rodamiento es $2 \frac{11}{16}$ y como hay una pequeña diferencia con el de los ejes, se la remediará con un pequeño rebaje en la sección de acople.

6.2 Cálculo y Selección del Sistema de Amolamiento.-

Se ha visto que los criterios de clasificación de palanquillas son rigurosos y que rechazan las que tienen defectos mayores a 0.070 plg. de profundidad. Por lo tanto este valor será el máximo espesor de material que deba amolarse, lo cual es un valor re

lativamente bajo.

Con estas consideraciones se justifica el uso de una amoladora manual para desprender la capa defectuosa de las palanquillas, lo cual puede ser hecho simultáneamente por dos operadores que emplearán un tiempo presumiblemente corto de acuerdo a su destreza.

En esta parte el estudio se limitará solamente a las características del tipo de rueda a amolar apropiada para las palanquillas y a la selección de la amoladora propiamente dicha.

Características de la Rueda de Amolar.-

Según Marks, Ref. 3 las características de una rueda de amolar son influenciadas por cuatro factores:

- Tipo de abravivo usado
- Tamaño de grano
- Grado de dureza
- Tipo de aglutinante

Para el caso de la amolación de palanquillas de aceros se tienen las siguientes recomendaciones:

- El tipo de abrasivo será a base de óxido de aluminio (alundum, aloxita, bauxilita, etc.) que es apropiada para materiales de gran resistencia a la tracción como los aceros.
- El tamaño de grano apropiado será del tipo grueso recomendado para separación rápida de materiales dúctiles.
- El grado de dureza debe ser el mayor posible, esta característica se la recomienda para altas velocidades de amolamiento.
- El tipo de aglutinante a usar será suave, del tipo resinoso (bakelita), de buena resistencia, elasticidad, y conductividad térmica. Recomendado para altas velocidades de trabajo.

Respecto a la velocidad periférica de la rueda, se recomienda, Marks, Ref. 3 una velocidad de 2700 m/min o más usando ruedas con aglutinante resinoso para la amolación de aceros.

Asumiendo usar una rueda de amolar de 7 plg. de diámetro, las revoluciones requeridas serán:

$$\text{r.p.m.} = \frac{2700 \text{ m/min}}{\pi \times 0.17 \text{ m}} \approx 5000$$

La profundidad de capa de metal removido para ruedas de amolar varía aproximadamente de 0.010 a 0.015 plg. por pasada, de tal manera que el tiempo que se emplee en amolar una palanquilla dependerá como se dijo antes de la destreza del operador, profundidad del defecto y la presencia de estos en la palanquilla.

Finalmente se señalará que las ruedas de amolar serán cambiadas conforme se vayan gastando, teniendo en cuenta que las palanquillas conservan el magnetismo remanente que deterioran la vida de las herramientas de trabajo.

Selección de las Amoladoras.-

En base a las consideraciones anteriores se escogerán dos amoladoras manuales de alta velocidad que comercialmente tienen las siguientes características:

Amoladora Tipo: En ángulo con doble aislamiento

Capacidad de discos de amolar: 178 mm.

Espesor de discos: 5 a 10 mm.

r.p.m. en vacío: 6500

Potencia absorbida: 1500 watios con 105/130 v.

Longitud aproximada: 500 mm.

Peso aproximado: 5 Kg.

Referencia: Catálogo WOLF ELECTRIC, Ref. 19.

6.3 Selección de motores para el sistema de movimiento de palanquillas.-

Para este sistema se dispondrán de las siguientes unidades:

2 Motores - reductores de $\frac{1}{3}$ HP a 3 r.p.m.

Características.-

Reductor de dientes helicoidales, resistentes a la corrosión.

Motor trifásico de 380 v. a corriente alterna de 60 Hz.

Amperaje a plena carga: 1.0 amp.

Peso aproximado: 120 lbs.

Referencia: Catálogo ASEA, Ref. 14.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A pesar de que se cree haber señalado las características más importantes acerca del presente trabajo, se hace necesaria una recopilación de ciertos aspectos importantes relacionados con el funcionamiento del equipo, así como las técnicas aplicadas.

Las principales conclusiones a las que se ha llegado son:

- 1) El uso o aplicación en el medio de un equipo de ensayos no destructivos y específicamente de partículas magnéticas a nivel industrial, será paralelo al avance que se obtenga en el campo de la siderurgia y la metal-mecánica.
- 2) Se resumen tres aplicaciones que pueden ser dadas a un equipo de éstas características:
 - a.- Examinación del control de calidad de palanquillas de aceros que elabore una determinada acería.
 - b.- Examinación del control de calidad de palanquillas que lleguen a una determinada industria, previo a su procesado mecánico.
 - c.- Examinación de productos ferromagnéticos acabados que necesiten un control de calidad.
- 3) El nivel de calidad que se puede dar en la examinación de palanquillas u otros productos queda a criterio del departamento de Control de calidad. El ensayo por partículas magnéticas permite obtener un control riguroso de ello.

Las siguientes recomendaciones pueden ser hechas:

- 1) Como se dijo en la parte correspondiente será imprescindible el uso de aceros inoxidables no magnéticos para ciertas partes críticas del equipo expuestas a magnetización.
- 2) Para la versatilidad del equipo deberá adquirirse los implemen

tos necesarios para su correcto funcionamiento a fin de emplear las técnicas descritas posibles.

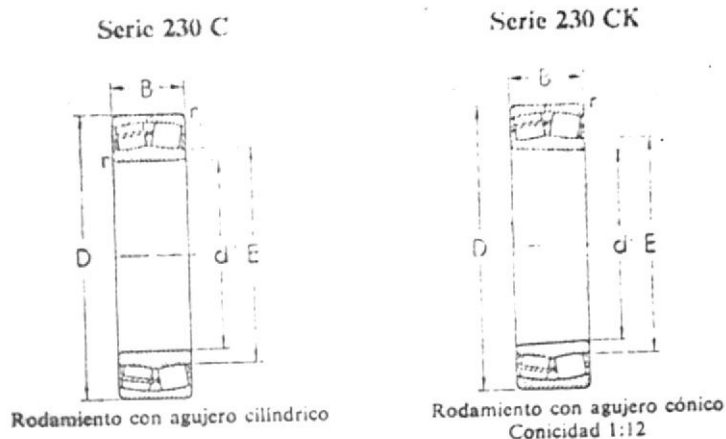
- 3) Se considera que la automatización de este equipo es una característica muy importante, ya que siendo un proceso continuo es necesario un buen sincronismo de todos los elementos mecánicos componentes. Por tanto se recomienda que la parte eléctrica posea los implementos que permitan esta automatización.
- 4) Se debe hacer hincapié en el correcto mantenimiento de la concentración del baño magnético para mantener la confiabilidad del ensayo.
- 5) Las piezas que necesiten ser desmagnetizadas deberán ser comprobadas mediante un medidor de campo magnético a fin de suprimirles el magnetismo remanente.

TABLA B-1.- RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA
(Serie 230 C)



RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA

Serie de dimensiones 30



Para la selección del rodamiento deben tenerse en cuenta las reglas dadas en las págs. 7-24.

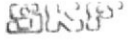
Rodamiento con agujero cilíndrico núm.	Rodamiento con agujero cónico núm.	Milímetros					Capacidad de base en kg		Velocidad máxima permitida rpm
		d	D	B	E ≈	r ≈	estática C ₀	dinámica C	
23024 C	23024 CK	120	180	46	135	3	26500	24500	1600
26 C	26 CK	130	200	52	148	3	33500	31000	1600
28 C	28 CK	140	210	53	158	3	36000	32500	1300
23030 C	23030 CK	150	225	56	169	3,5	41500	36500	1300
32 C	32 CK	160	240	60	181	3,5	46500	41500	1000
34 C	34 CK	170	260	67	192	3,5	60000	52000	1000
23036 C	23036 CK	180	280	74	204	3,5	71000	62000	1000
38 C	38 CK	190	290	75	216	3,5	75000	63000	800
40 C	40 CK	200	310	82	228	3,5	85000	73500	800
23044 C	23044 CK	220	340	90	250	4	104000	88000	600
48 C	48 CK	240	360	92	271	4	114000	93000	600
52 C	52 CK	260	400	104	296	5	140000	116000	600
23056 C	23056 CK	280	420	106	316	5	156000	125000	500
60 C	60 CK	300	460	118	340	5	193000	156000	500
64 CA	64 CAK	320	480	121		5	204000	160000	400
23068 CA	23068 CAK	340	520	133		6	240000	190000	400
72 CA	72 CAK	360	540	134		6	255000	193000	400
76 CA	76 CAK	380	560	135		6	265000	204000	300
23080 CA	23080 CAK	400	600	148		6	310000	236000	300
84 CA	84 CAK	420	620	150		6	335000	245000	300
88 CA	88 CAK	440	650	157		8	345000	260000	250
23092 CA	23092 CAK	460	680	163		8	380000	285000	250
96 CA	96 CAK	480	700	165		8	380000	285000	250
230/500 CA	230/500 CAK	500	720	167		8	425000	290000	200

Los rodamientos con la denominación auxiliar CA tienen pestañas laterales en el aro interior y porta-rodillos macizo. Ver figura central de la página siguiente.

Los rodamientos con diámetro exterior de 320 mm y superior tienen agujeros para lubricación en el aro exterior. Ver página 43.

En esta posición se dan detalles sobre rodamientos de dimensiones mayores.

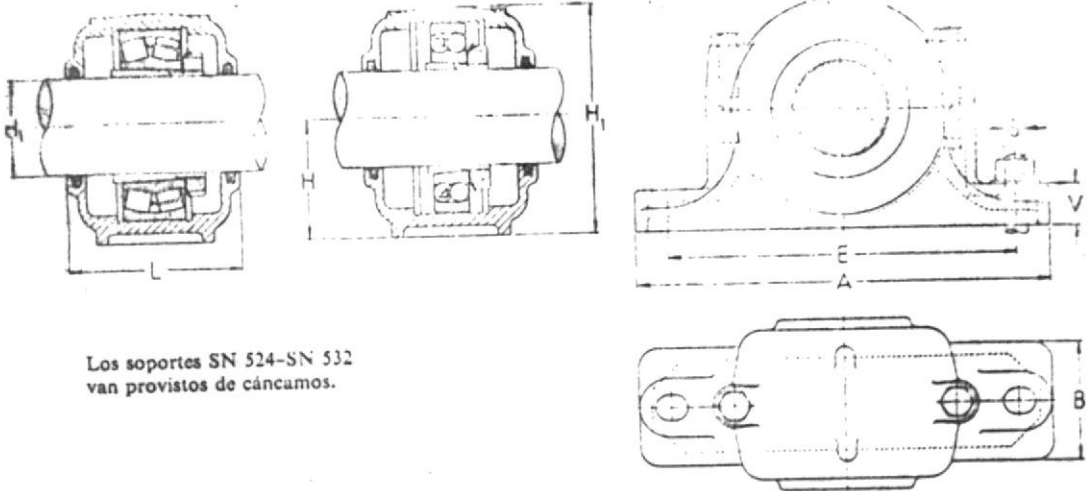
TABLA B-2.- TABLA DE CHUMACERAS



SOPORTES

para rodamientos de bolas o de rodillos con manguito de fijación

Serie SN 5



Los soportes SN 524-SN 532 van provistos de cáncamos.

Dimensiones

Soporte núm.	Diámetros de eje d_1			Milímetros						S			
	mm	pulg.		L	H	H_1	A	B	E	V	pulg.	mm	
SN 505	20	3/4	—	67	40	75	165	46	130	19	1/4	M 12	
	506	25	1	12/16	77	50	90	185	52	150	1/2	12	
	507	30	—	1 2/16	82	50	95	185	52	150	1/2	12	
SN 508	35	1 1/4	—	85	60	110	205	60	170	25	1/2	M 12	
	509	40	1 1/2	1 7/16	85	60	110	205	60	170	1/2	12	
	510	45	1 3/4	1 11/16	90	60	115	205	60	170	1/2	12	
SN 511	50	2	1 13/16	95	70	130	255	70	210	28	1 1/8	M 16	
	512	55	—	2 1/4	105	70	135	255	70	210	3/8	16	
	513	60	2 1/4	2 3/16	110	80	150	275	80	230	3/8	16	
SN 515	65	2 1/2	2 7/16	115	80	155	280	80	230	30	3/8	M 16	
	516	70	2 3/4	2 11/16	120	95	175	315	90	260	3/4	20	
	517	75	3	2 15/16	125	95	185	320	90	260	3/4	20	
SN 518	80	3 1/4	3 3/16	145	100	195	345	100	290	35	3/8	M 20	
	520	90	3 1/2	3 7/16	160	112	215	380	110	320	7/8	24	
	522	100	4	3 15/16	175	125	240	410	120	350	7/8	24	
SN 524	110	4 1/4	4 3/16	185	140	270	410	120	350	45	7/8	M 24	
	526	115	4 1/2	4 7/16	190	150	290	445	130	380	50	1	24
	528	125	5	4 13/16	205	150	305	500	150	420	1 1/4	30	
SN 530	135	5 1/4	5 3/16	220	160	325	530	160	450	60	1 1/4	M 30	
	532	140	5 1/2	5 7/16	235	170	345	550	160	470	1 1/4	30	

Estos soportes pueden también suministrarse con válvula de grasa, ver página 43.

TABLA B-3.- DIMENSIONES DE CUÑAS

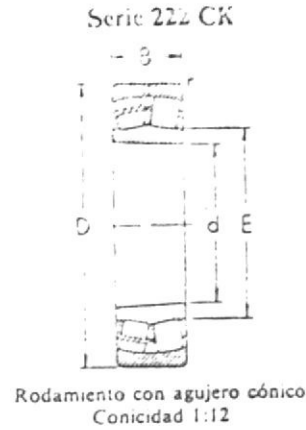
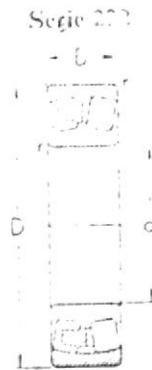
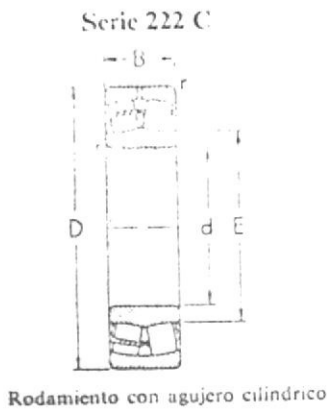
Diámetro del Eje D	Ancho de la cuña w	Altura de la cuña h	Tamaño de perno Sujetador de cuña
1/2 - 9/16	1/8	1/8	1/4
5/8 - 7/8	3/16	3/16	1/4
15/16 - 1-1/4	1/4	1/4	3/8
1-15/16 - 1-3/4	3/8	3/8	3/8
1-13/16 - 2-1/4	1/2	1/2	1/2
2- 5/16 - 2-3/4	5/8	5/8	5/8
2- 7/8 - 3-1/4	3/4	3/4	5/8
3- 3/8 - 3-3/4	7/8	7/8	3/4
3- 7/8 - 4-1/2	1	1	3/4
4- 3/4 - 5-1/2	1-1/4	1-1/4	7/8
5- 3/4 - 7-3/8	1-1/2	1-1/2	1
7- 1/2 - 9-7/8	1-3/4	1-3/4	1-1/4
10 - 12-1/2	2	2	1-1/4

TABLA B-4.- RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA
(serie 222 C)



RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA

Serie de dimensiones 22.



Rodamiento con agujero cilíndrico núm.	Rodamiento con agujero cónico núm.	Milímetros					Capacidad de base en kg		Velocidad máxima permitida rpm
		d	D	B	E ≈	r ≈	estática C ₀	dinámica C	
22205 C		25	52	18	32	1,5	2200	3000	8000
06 C		30	62	20	38	1,5	3100	4500	6000
07 C	22207 CK	35	72	23	44	2	4050	5200	6000
22208 C	22208 CK	40	80	23	50	2	4800	6200	5000
09 C	09 CK	45	85	23	55	2	5200	6400	5000
10 C	10 CK	50	90	23	60	2	5500	6700	4000
22211 C	22211 CK	55	100	25	66	2,5	6800	8300	4000
12 C	12 CK	60	110	28	73	2,5	8500	10000	4000
13 C	13 CK	65	120	31	79	2,5	10200	11800	3000
22214 C	22214 CK	70	125	31	84	2,5	10800	12200	3000
15 C	15 CK	75	130	31	90	2,5	11200	12700	3000
16 C	16 CK	80	140	33	95	3	14000	15300	2500
22217 C	22217 CK	85	150	36	100	3	16300	18000	2500
18 C	18 CK	90	160	40	107	3	19600	20800	2500
19 C	19 CK	95	170	43	113	3,5	22400	24500	2000
22220 C	22220 CK	100	180	46	120	3,5	25500	27000	2000
22 C	22 CK	110	200	53	132	3,5	34500	34500	2000
24 C	24 CK	120	215	58	143	3,5	40000	40000	1600
22226 C	22226 CK	130	230	64	153	4	48000	46500	1600
28 C	28 CK	140	250	68	167	4	54000	53000	1600
30 C	30 CK	150	270	73	179	4	65500	64000	1300
22232 C	22232 CK	160	290	80	191	4	78000	73500	1300
34 C	34 CK	170	310	86	204	5	90000	83000	1000
36 C	36 CK	180	320	86	213	5	95000	88000	1000
22238 C	22238 CK	190	340	92	226	5	102000	95000	
40 C	40 CK	200	360	98	238	5	116000	108000	800
44 C	44 CK	220	400	108	264	5	143000	129000	800
22248	22248 K	240	440	120		5	153000	118000	800
52	52 K	260	480	130		6	180000	137000	800
56	56 K	280	500	130		6	193000	146000	600
22260	22260 K	300	540	140		6	220000	166000	600
64	64 K	320	580	150		6	255000	190000	600

Los rodamientos 22248-22264 y 22248 K-22264 K son de la ejecución original con pestañas en el aro interior, ver la figura central de esta página y de la página siguiente.

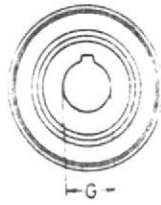
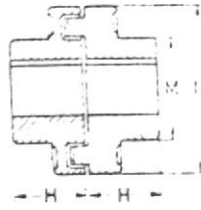
Los rodamientos 22236 C-22244 C y 22236 CK-22244 CK tienen agujeros para lubricación en el aro exterior, ver la página 43.

TABLA B-5.- DIMENSIONES DE ACOPLAMIENTOS

BEK



KEA



Dimensions in mm

Type	G min.	G max.	H max.	M	N	Weight kg
KEA 34	14	24	50	45	72	1.6
KEA 38	22	38	60	70	92	3.5
KEA 42 A	22	35	60	70	115	4.7
KEA 42 B	35	48	80	85	115	6.3
KEA 46 A	32	45	80	85	148	9.7
KEA 46 B	45	60	100	105	148	13.9
BEK 260	28	68	80	110	220	24
BEK 310	32	74	95	125	235	30
BEK 360	38	80	100	135	245	35
BEK 410	42	90	110	145	255	40
BEK 460	45	100	115	160	280	50
BEK 510	48	110	125	185	310	68
BEK 560	54	140	135	215	395	130
BEK 610	58	150	150	235	425	160
BEK 660	64	170	160	260	435	185

TABLA B-6.- VIGAS I

PROPIEDADES

DE LAS

VIGAS I

Altura o grosor de la viga	Peso por pie	Area de la sección	Ancho del ala o parin	Espesor del alma	Eje 1-1			Eje 2-2		
					<i>I</i>	<i>r</i>	<i>I/c</i>	<i>I</i>	<i>r</i>	<i>I/c</i>
					puig. 4	puig.	puig. 3	puig. 4	puig.	puig. 3
27	90.0	26.34	9.000	0.524	2958.3	10.60	219.1	75.3	1.69	16.7
24	120.0	35.13	8.048	0.798	3010.8	9.26	250.9	84.9	1.56	21.1
24	79.9	23.33	7.000	0.500	2087.2	9.46	173.9	42.9	1.36	12.2
24	74.2	21.70	9.000	0.476	1950.1	9.48	162.5	61.2	1.68	13.6
21	60.4	17.68	8.250	0.428	1235.5	8.36	117.7	43.5	1.57	10.6
20	100.0	29.20	7.273	0.873	1648.3	7.51	164.8	52.4	1.34	14.4
20	65.4	19.08	6.250	0.500	1169.5	7.83	116.9	27.9	1.21	8.9
18	90.0	26.29	7.236	0.796	1256.5	6.91	139.6	51.9	1.40	14.3
18	54.7	15.94	6.000	0.460	795.5	7.07	88.4	21.2	1.15	7.1
18	48.2	14.09	7.500	0.380	737.1	7.23	81.9	30.0	1.46	8.0
15	75.0	21.85	6.278	0.868	687.2	5.61	91.6	30.6	1.18	9.8
15	47.9	12.49	5.500	0.410	441.8	5.95	58.9	14.6	1.08	5.3
15	37.3	10.91	6.750	0.332	405.5	6.10	54.1	19.9	1.35	5.9
12	55.0	16.04	5.000	0.810	319.3	4.46	52.2	17.3	1.04	6.2
12	40.8	11.84	5.250	0.460	268.9	4.77	44.8	13.8	1.08	5.3
12	31.8	9.26	5.000	0.350	215.8	4.83	36.0	9.5	1.01	3.8
12	27.9	8.15	6.000	0.284	199.4	4.95	33.2	12.6	1.24	4.2
10	40.0	11.69	5.091	0.741	158.0	3.68	31.6	9.4	0.90	3.7
10	30.0	8.75	4.797	0.447	133.5	3.91	26.7	7.6	0.93	3.2
10	25.4	7.38	4.660	0.310	122.1	4.07	24.4	6.9	0.97	3.0
10	22.4	6.54	5.500	0.252	113.6	4.17	22.7	9.0	1.17	3.3
9	35.0	10.22	4.764	0.724	111.3	3.30	24.7	7.3	0.84	3.0
9	30.0	8.76	4.601	0.561	101.4	3.40	22.5	6.4	0.85	2.8
9	21.8	6.32	4.330	0.290	84.9	3.67	18.9	5.2	0.90	2.4
8	25.5	7.43	4.262	0.532	68.1	3.03	17.0	4.7	0.80	2.2
8	18.4	5.34	4.000	0.270	56.9	3.26	14.2	3.8	0.84	1.9
7	20.0	5.83	3.860	0.450	41.9	2.66	12.0	3.1	0.74	1.6
7	15.3	4.43	3.000	0.250	36.2	2.86	10.4	2.7	0.78	1.5
6	17.25	5.02	3.565	0.465	26.0	2.28	8.7	2.3	0.68	1.3
6	12.5	3.61	3.330	0.230	21.8	2.46	7.3	1.8	0.72	1.1
5	10.0	2.87	3.000	0.210	14.1	2.03	4.8	1.2	0.65	0.82
4	10.3	3.05	3.070	0.400	7.1	1.52	3.5	1.0	0.57	0.70
4	7.6	2.17	2.500	0.349	2.9	1.15	1.9	0.59	0.52	0.47
4	5.7	1.64	2.330	0.170	2.5	1.23	1.7	0.46	0.53	0.40

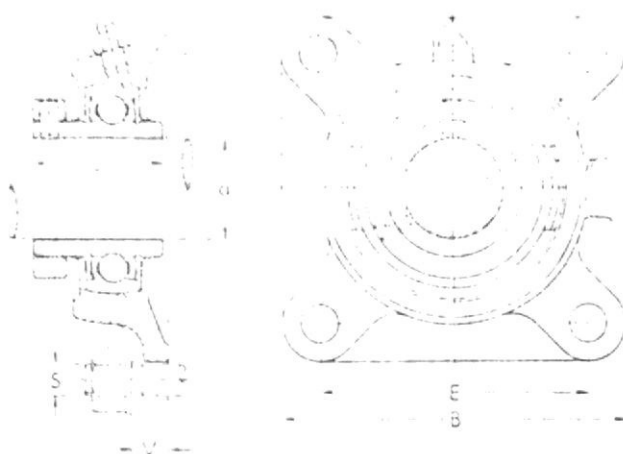
TABLA B-7.- SOPORTES DE BRIDA

SEP

SOPORTES DE BRIDA

con rodamiento

Serie FY



Soporte con rodamiento núm.	Rodamiento de bolas núm.	Diámetro de eje d		Milímetros							S		Capacidad de base dinámica C del rodamiento kg
		pulg.	mm	B	E	H	J	L	V	pulg.	mm		
FY 012 20	479204-012 479204	3/4 —	20	86	63,5	33	31,0	24	11	3/8	10	1000	
FY 014 015 25 100	479205-014 479205-015 479205 479205-100	7/8 15/16 — 1	25	95	70,0	37	34,1	27	13	7/16	10	1100	
FY 102 30 103	479206-102 479206 479206-103	1 1/8 — 1 3/16	30	108	82,5	40*	38,1	30	13	7/16	10	1530	
FY 104 105 106 35 107	479207-104 479207-105 479207-106 479207 479207-107	1 3/4 1 5/8 1 3/4 — 1 7/16	35	118	92,0	45	42,9	33	14	1/2	12	2000	
FY 108 40	479208-108 479208	1 1/2 —	40	130	101,5	51	49,2	37	14	1/2	12	2280	
FY 110 111 112 45	479209-110 479209-111 479209-112 479209	1 5/8 1 11/16 1 3/4 —	45	137	105,0	52	49,2	39	16	9/16	14	2550	
FY 115 50	479210-115 479210	1 13/16 —	50	143	111,0	55	51,6	40	16	9/16	14	2750	
FY 200 55 203	479211-200 479211 479211-203	2 — 2 3/16	55	162	130,0	59	55,6	44	17	5/8	16	3400	
FY 204 60 207	479212-204 479212 479212-207	2 1/4 — 2 7/16	60	175	143,0	68	65,1	51	17	5/8	16	4050	
FY 208 65 211	479213-208 479213 479213-211	2 1/2 — 2 11/16	65	187	149,0	71	68,3	52	17	5/8	16	4400	

Tolerancias de eje adecuadas para estos rodamientos: h7 en condiciones de marcha normales, h6 en condiciones más severas, h8 a velocidades bajas y montajes sencillos.

TABLA B-8.- VIGAS U

PROPIEDADES
DE LAS
CANALES

Peralte de la canal	Peso por pie	Area de la sección	Ancho del patín	Espesor del alma	Eje 1-1			Eje 2-2			
					<i>I</i>	<i>r</i>	<i>I/e</i>	<i>I</i>	<i>r</i>	<i>I/e</i>	<i>n</i>
					puig.4	puig.	puig.8	puig.4	puig.	puig.8	puig.
15	55.0	16.11	3.814	0.814	429.0	5.16	57.2	12.1	0.87	4.1	0.82
15	45.0	13.17	3.618	0.618	373.9	5.33	49.8	10.3	0.88	3.6	0.79
15	33.9	9.90	3.400	0.400	312.6	5.62	41.7	8.2	0.91	3.2	0.79
12	40.0	11.73	3.415	0.755	196.5	4.09	32.8	6.6	0.75	2.5	0.72
12	20.7	6.03	2.940	0.280	128.1	4.61	21.4	3.9	0.81	1.7	0.70
10	35.0	10.27	3.180	0.820	115.2	3.34	23.0	4.6	0.67	1.9	0.69
10	15.3	4.47	2.600	0.240	66.9	3.87	13.4	2.3	0.72	1.2	0.64
9	25.0	7.33	2.812	0.612	70.5	3.10	15.7	3.0	0.64	1.4	0.61
9	13.4	3.89	2.430	0.230	47.3	3.49	10.5	1.8	0.67	0.97	0.61
8	21.25	6.23	2.619	0.579	47.6	2.77	11.9	2.2	0.60	1.1	0.59
8	11.5	3.36	2.260	0.220	32.3	3.10	8.1	1.3	0.63	0.79	0.58
7	19.75	5.79	2.509	0.629	33.1	2.39	9.4	1.8	0.56	0.96	0.58
7	9.8	2.85	2.090	0.210	21.1	2.72	6.0	0.98	0.59	0.63	0.55
6	15.5	4.54	2.279	0.559	19.5	2.07	6.5	1.3	0.53	0.73	0.55
6	8.2	2.39	1.920	0.200	13.0	2.34	4.3	0.70	0.54	0.50	0.52
5	11.5	3.36	2.032	0.472	10.4	1.76	4.1	0.82	0.49	0.54	0.51
5	6.7	1.95	1.750	0.190	7.4	1.95	3.0	0.48	0.50	0.38	0.49
4	7.25	2.12	1.720	0.320	4.5	1.47	2.3	0.44	0.46	0.35	0.46
4	5.4	1.55	1.580	0.180	3.8	1.56	1.9	0.32	0.45	0.29	0.46
3	6.0	1.75	1.596	0.356	2.1	1.08	1.4	0.31	0.42	0.27	0.46
3	4.1	1.19	1.410	0.170	1.6	1.17	1.1	0.20	0.41	0.21	0.44

TABLA B-9 .- ANGULOS

PROPIEDADES
DE LOS ÁNGULOS
DE LADOS IGUALES

Dimensiones pulgadas	Peso por pie lb.	Area de la sección pulg. ²	Eje 1-1 y Eje 2-2				Eje 3-3*
			I pulg. ⁴	r pulg.	I/c pulg. ³	x pulg.	r pulg.
8 × 8 × 1 3/8	56.9	16.73	98.0	2.42	17.5	2.41	1.55
8 × 8 × 3/8	26.4	7.75	48.6	2.51	8.4	2.19	1.58
6 × 6 × 1	37.4	11.00	35.5	1.80	8.6	1.86	1.16
6 × 6 × 3/8	14.9	4.36	15.4	1.88	3.5	1.64	1.19
5 × 5 × 1	30.6	9.00	19.6	1.48	5.8	1.61	0.96
5 × 5 × 3/8	12.3	3.61	8.7	1.56	2.4	1.39	0.99
4 × 4 × 1 3/16	19.9	5.84	8.1	1.18	3.0	1.29	0.77
4 × 4 × 3/8	6.6	1.94	3.0	1.25	1.0	1.09	0.79
3 3/8 × 3 3/8 × 1 3/16	17.1	5.03	5.3	1.02	2.3	1.17	0.67
3 3/8 × 3 3/8 × 3/8	5.8	1.69	2.0	1.09	0.79	0.97	0.69
3 × 3 × 3/8	11.5	3.36	2.6	0.88	1.3	0.98	0.57
3 × 3 × 3/16	9.4	2.75	2.2	0.90	1.1	0.93	0.58
3 × 3 × 1/8	7.2	2.11	1.8	0.91	0.83	0.89	0.58
3 × 3 × 1/4	4.9	1.44	1.2	0.93	0.58	0.84	0.59
2 3/8 × 2 3/8 × 3/8	7.7	2.25	1.2	0.74	0.73	0.81	0.47
2 3/8 × 2 3/8 × 1/8	2.08	0.61	0.38	0.79	0.20	0.67	0.50
2 × 2 × 3/16	5.3	1.56	0.54	0.59	0.40	0.66	0.39
2 × 2 × 1/8	1.65	0.48	0.19	0.63	0.13	0.55	0.40
1 3/8 × 1 3/8 × 3/8	3.35	0.96	0.19	0.44	0.19	0.51	0.29
1 3/8 × 1 3/8 × 1/8	1.23	0.56	0.08	0.46	0.07	0.42	0.30
1 × 1 × 3/8	1.40	0.44	0.04	0.29	0.06	0.34	0.19
1 × 1 × 1/8	0.80	0.23	0.02	0.31	0.03	0.30	0.19

* El eje 3-3 es el principal con respecto al cual es minimo el radio de giro.

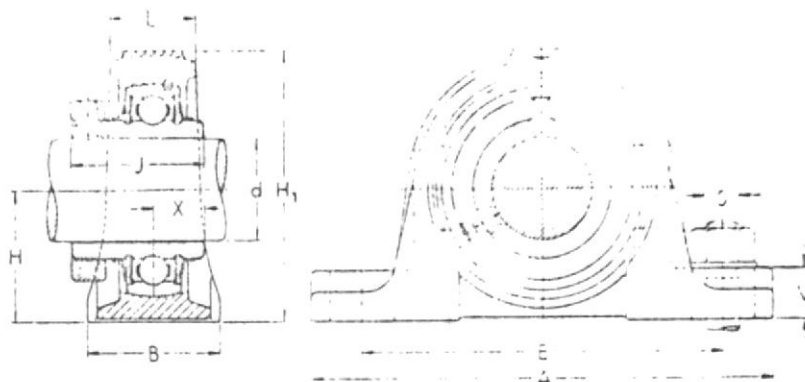
TABLA B-10.- SOPORTES DE PIE

SKF

SOPORTES DE PIE

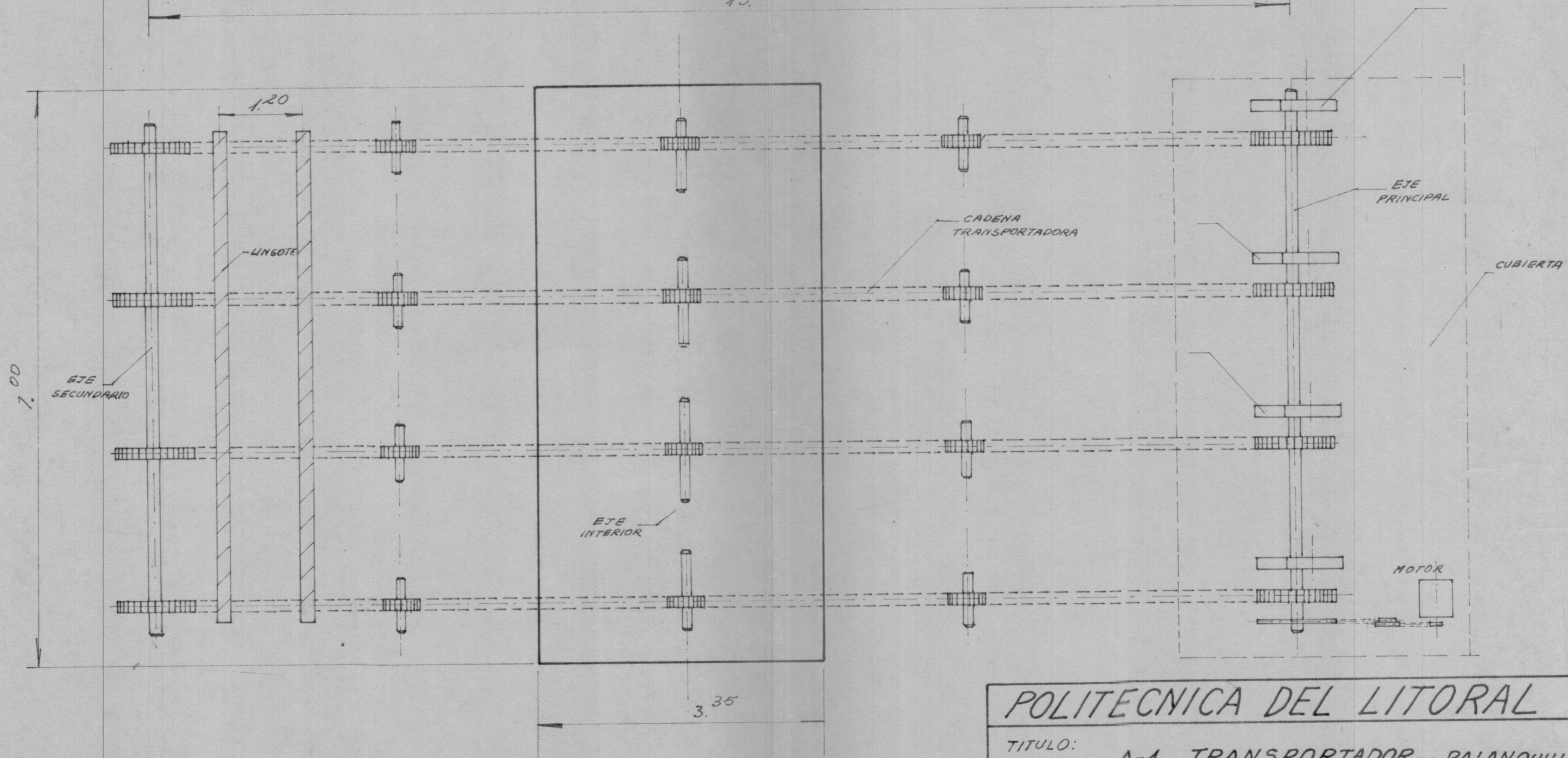
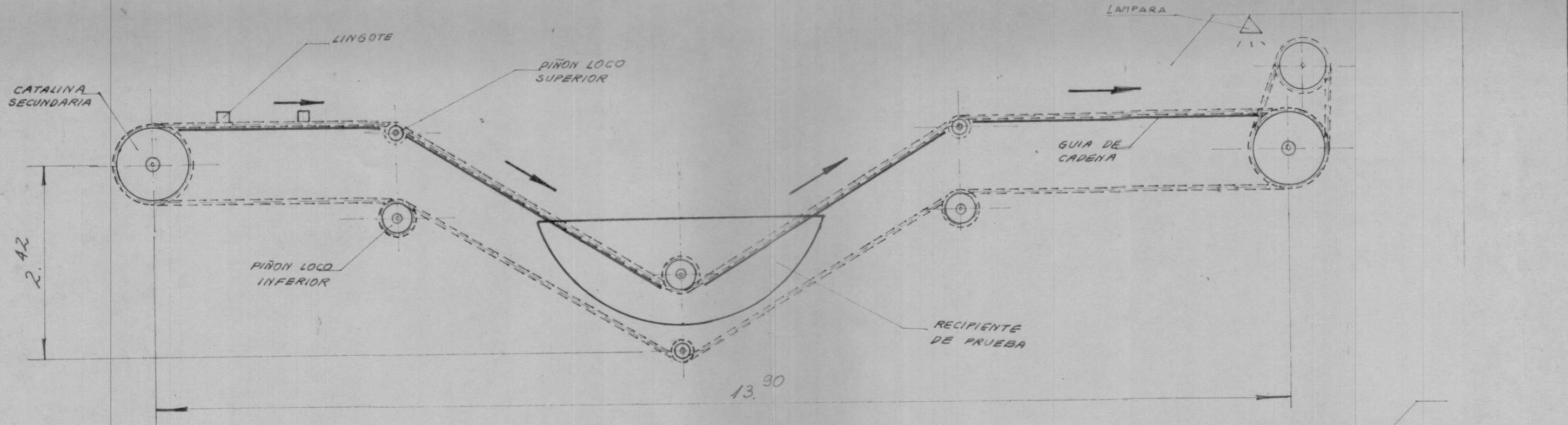
con rodamiento

Serie SY

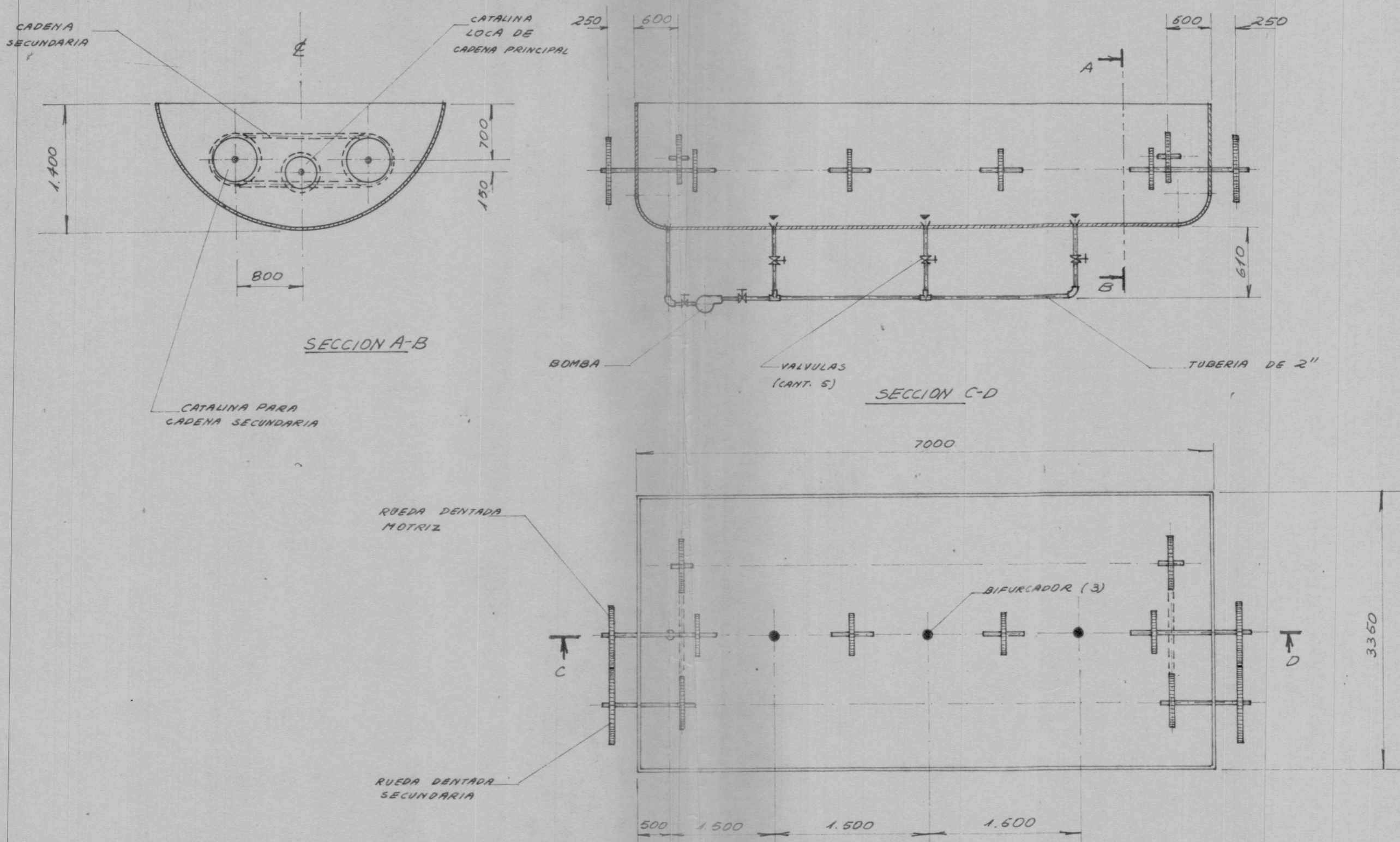


Soporte con rodamiento núm.	Rodamiento de bolas núm.	Diámetro de eje d		Milímetros											S		Capacidad de base dinámica C del rodamiento kg
		pulg.	mm	H	H ₁	A	B	E		L	J	X	V	pulg.	mm		
SY 012 20	479204-012 479204	3/4 —	20	33,3	65	130	35	90	105	19	31,0	12,7	14	3/8	10	1000	
SY 014 015 25 100	479205-014 479205-015 479205 479205-100	7/8 15/16 — 1	25	36,5	73	130	38	95	110	22	34,1	14,3	14	3/8	10	1100	
SY 102 30 103	479206-102 479206 479206-103	1 1/8 — 1 3/16	30	42,9	86	155	45	110	125	25	38,1	15,9	17	1/2	12	1530	
SY 104 105 106 35 107	479207-104 479207-105 479207-106 479207 479207-107	1 1/4 1 5/16 1 3/8 — 1 7/16	35	47,6	95	160	48	120	130	29	42,9	17,5	19	1/2	12	2000	
SY 108 40	479208-108 479208	1 1/2 —	40	49,2	102	175	50	125	145	32	49,2	19,1	19	1/2	12	2280	
SY 110 111 112 45	479209-110 479209-111 479209-112 479209	1 5/8 1 11/16 1 3/4 —	45	54,0	110	190	50	135	150	35	49,2	19,1	21	1/2	12	2550	
SY 115 50	479210-115 479210	1 15/16 —	50	57,2	118	205	55	150	165	37	51,6	19,1	22	5/8	16	2750	
SY 200 55 203	479211-200 479211 479211-203	2 — 2 3/16	55	63,5	130	220	60	165	180	37	55,6	22,2	24	5/8	16	3400	
SY 204 60 207	479212-204 479212 479212-207	2 1/4 — 2 7/16	60	68,3	140	240	65	180	200	44	65,1	25,4	25	5/8	16	4050	
SY 208 65 211	479213-208 479213 479213-211	2 1/2 — 2 11/16	65	76,2	154	260	70	190	215	46	68,3	25,4	29	3/4	20	4400	

Tolerancias de eje adecuadas para estos rodamientos: h7 en condiciones de marcha normales, h6 en condiciones más severas, h8 a velocidades bajas y montajes sencillos.

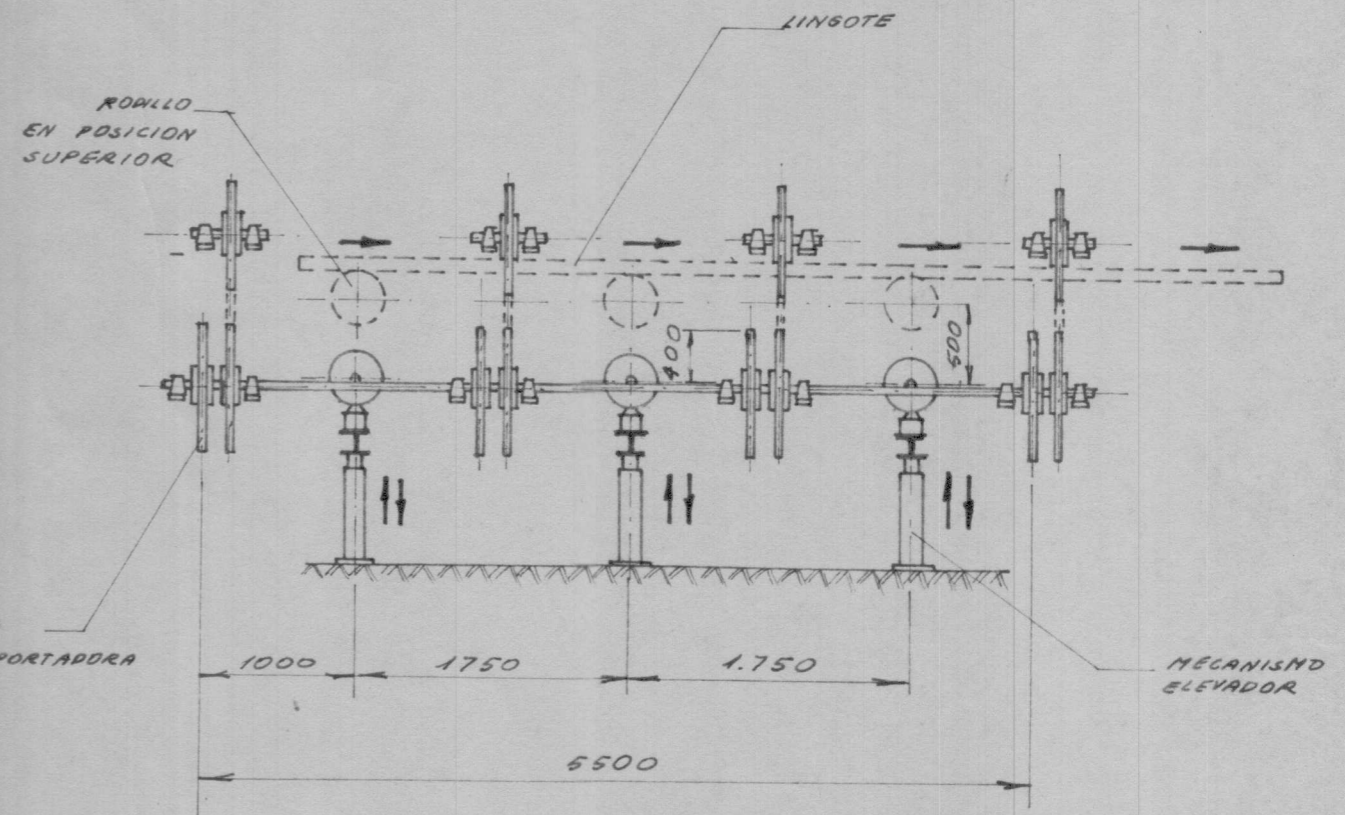
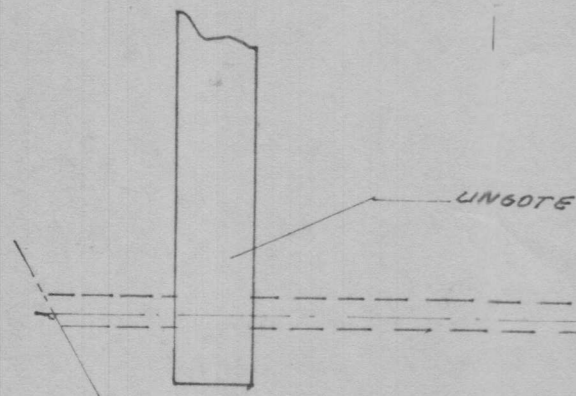
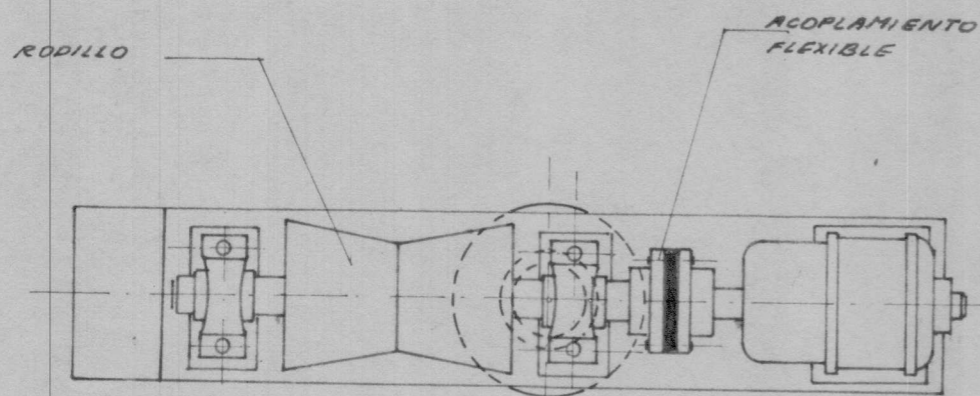
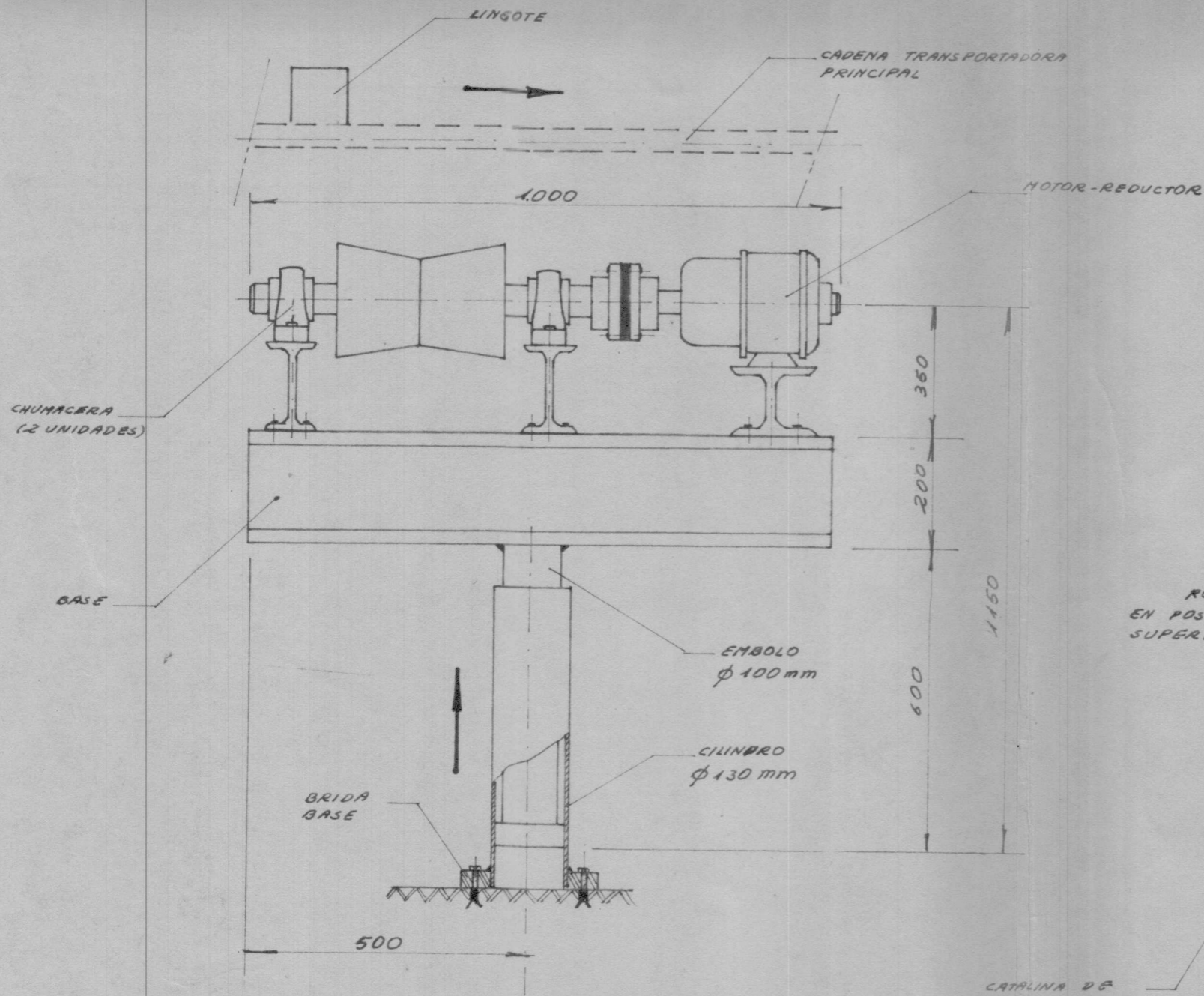


POLITECNICA DEL LITORAL		
TITULO: A-1 TRANSPORTADOR DE PALANQUILLA		
DIBUJADO	CRISTOBAL VILLACIS	MATERIAL
ESCALA	1:50	DISEÑADO: CHAR SERRANO Y.
FECHA	XI-1973	



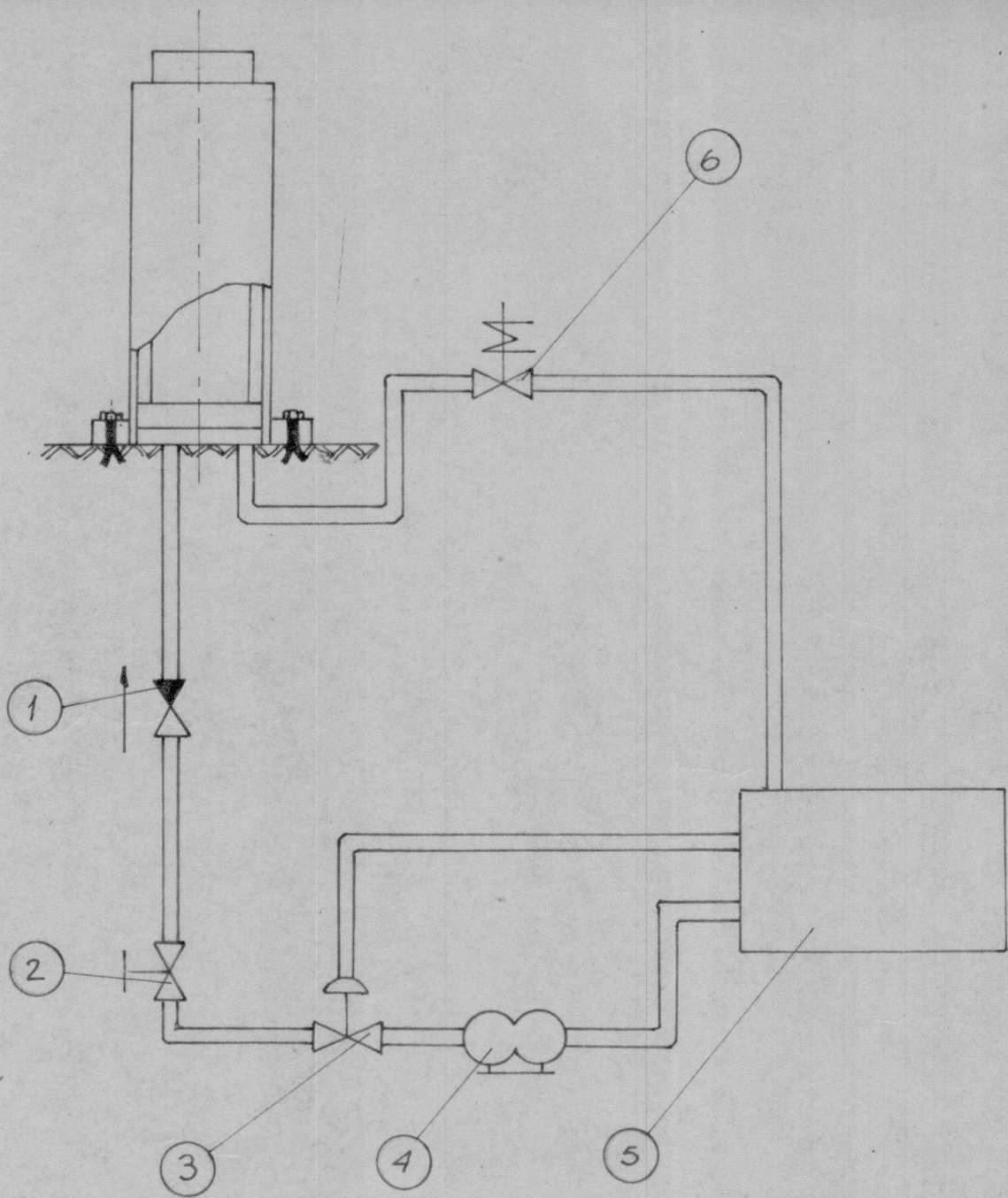
NOTA: UNIDADES EN MILIMETROS

POLITECNICA DEL LITORAL		
TITULO:		A-2 SISTEMA DE BAÑO MAGNETICO
DIBUJADO	CRISTOBAL VILLACIS	MATERIAL
ESCALA	1:50	DISEÑADO: OMAR SERRANO V.
FECHA	NOVIEMBRE - 1973	



UBICACION DE SISTEMA DE ELEVACION
ESCALA 1:50

POLITECNICA DEL LITORAL		
TITULO: A-4 SISTEMA DE ELEVACION		
DIBUJADO	CRISTOBAL VILLALIS	MATERIAL: _____
FECHA	NOVIEMBRE 1973	
ESCALA	1:10	DISEÑADO: OMAR SERRANO V.

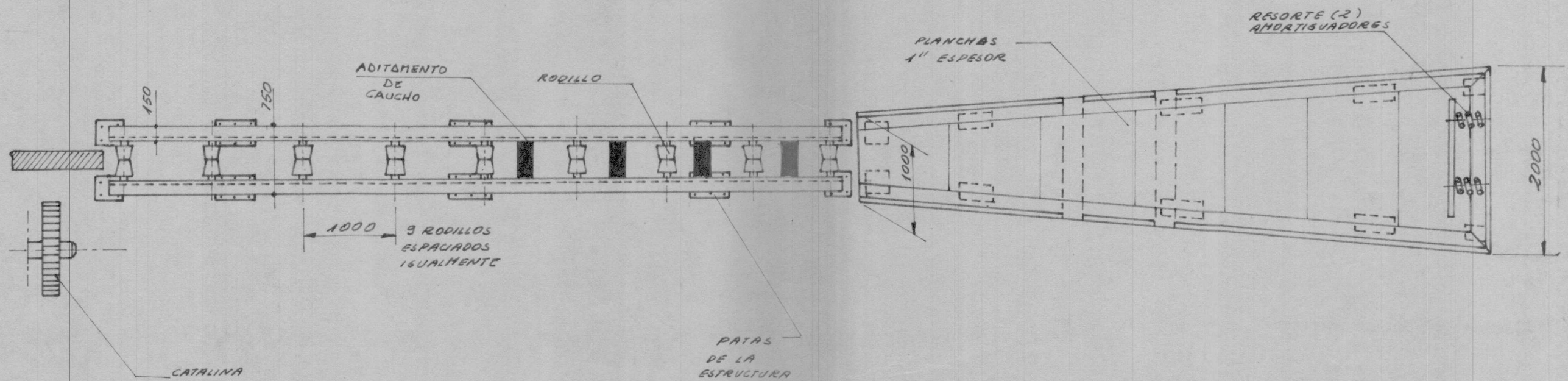
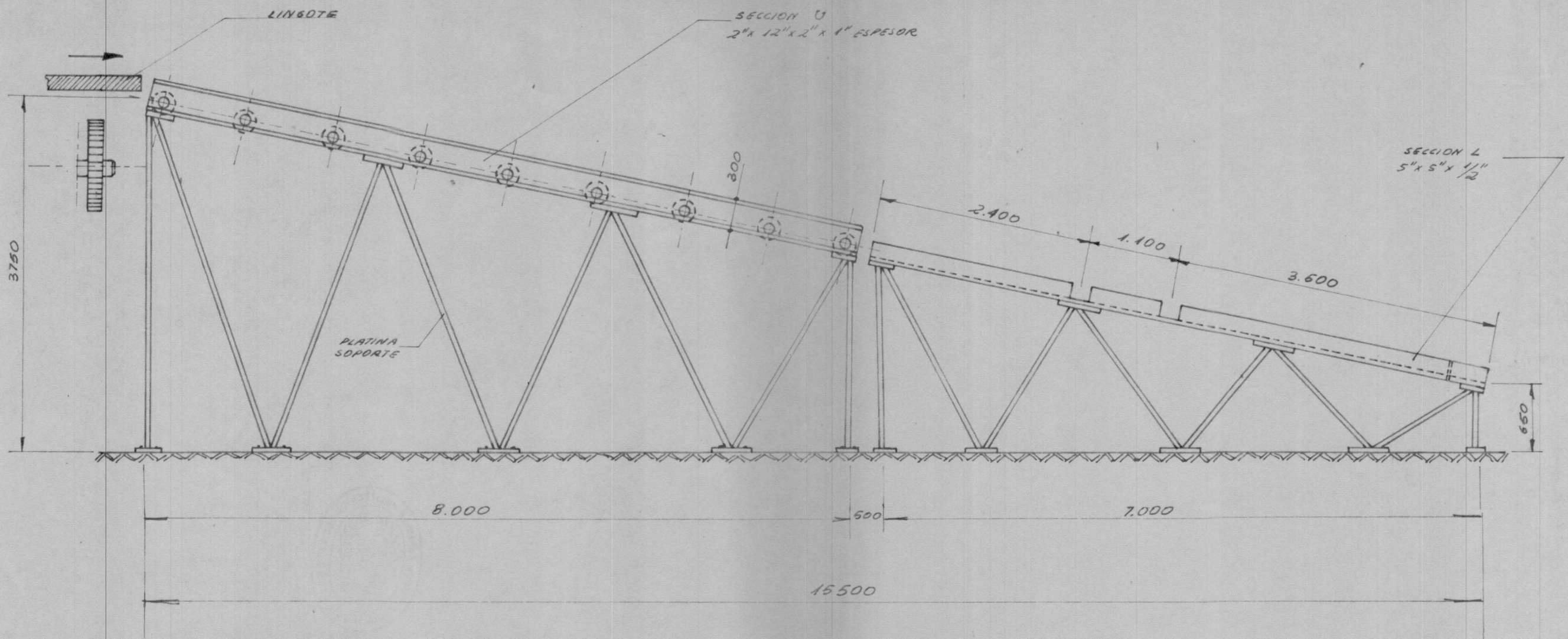


- ① VALVULA NO RETORNO
- ② VALVULA CONTROL DE CAUDAL
- ③ VALVULA SOBRE PRESION
- ④ BOMBA DE ENGRANAJES
- ⑤ DEPOSITO
- ⑥ VALVULA SOLENOIDE

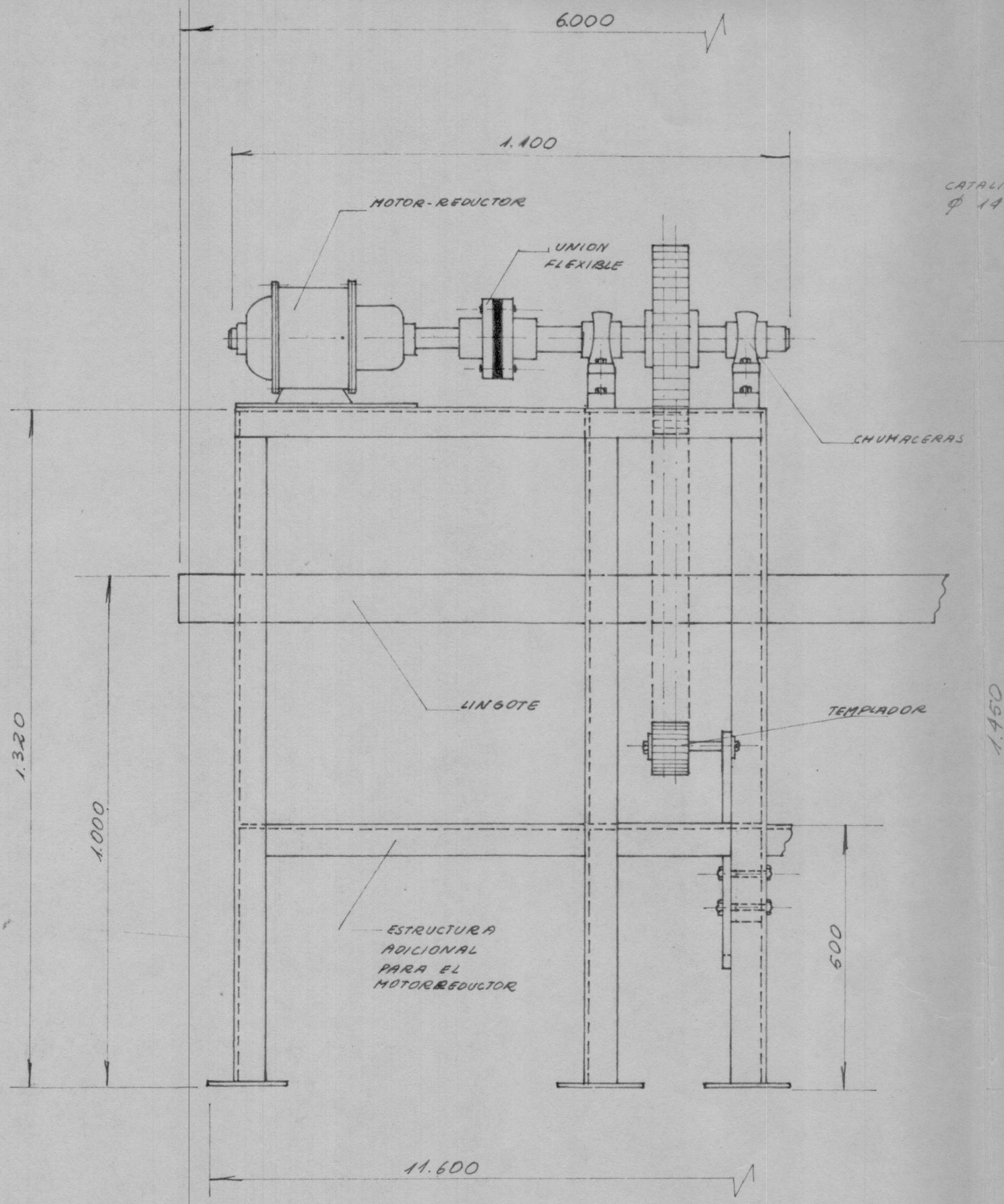
POLITECNICA DEL LITORAL

TITULO: **A-5. INSTALACION HIDRAULICA**

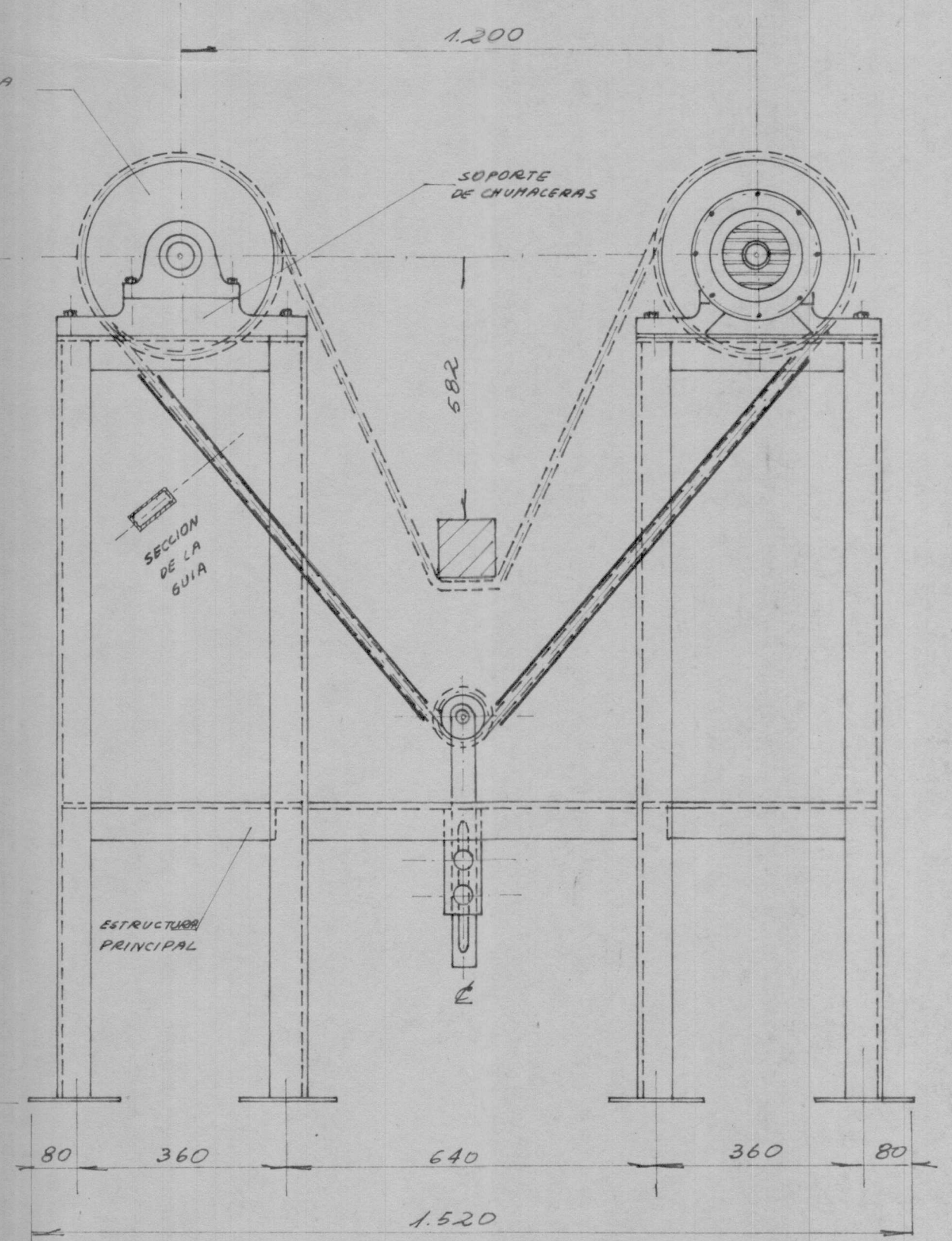
DIBUJADO	CRISTOBAL VILLACIS	MATERIAL. _____
FECHA	NOVIEMBRE 1973	DISEÑADO: OMAR SERRANO
ESCALA	_____	



POLITECNICA DEL LITORAL		
TITULO: A6 PLATAFORMA DE SALIDA		
DIBUJADO	CRISTOBAL VILLALBA	MATERIAL:
FECHA	NOVIEMBRE 1973	
ESCALA	1:50	
		DISEÑADO: OMAR SERRANO V.

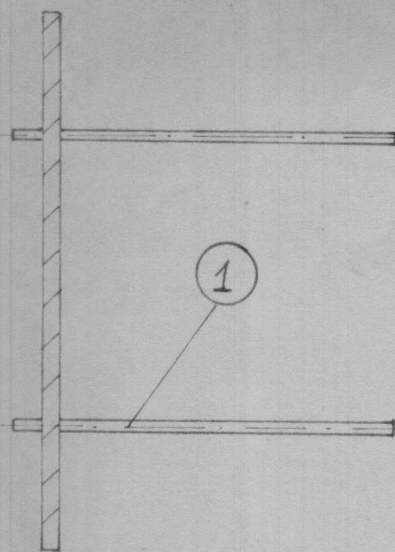
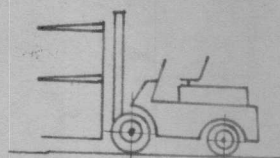


CATALINA
 ϕ 14"

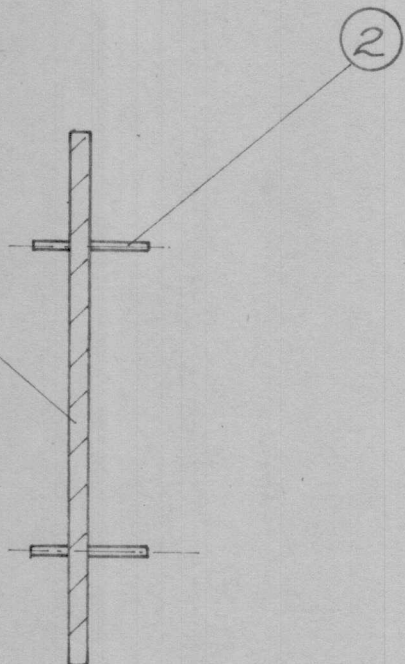


POLITECNICA DEL LITORAL		
TITULO: A-7 SISTEMA DE AMOLACION		
DIBUJADO	CRISTOBAL VILLACIS	MATERIAL:
FECHA	NOVIEMBRE 1973	DISEÑADO: OMAR SERRANO V.
ESCALA	1:10	

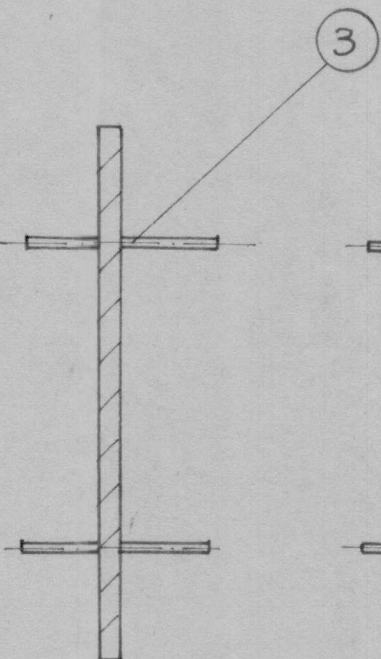
ALMACENAMIENTO
DE
PALANQUILLAS



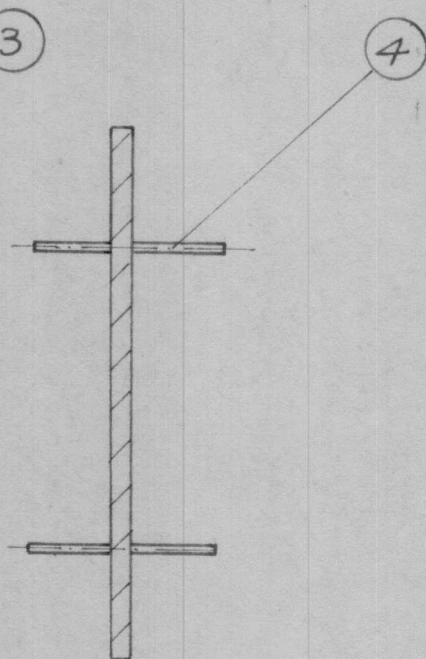
1



2



3



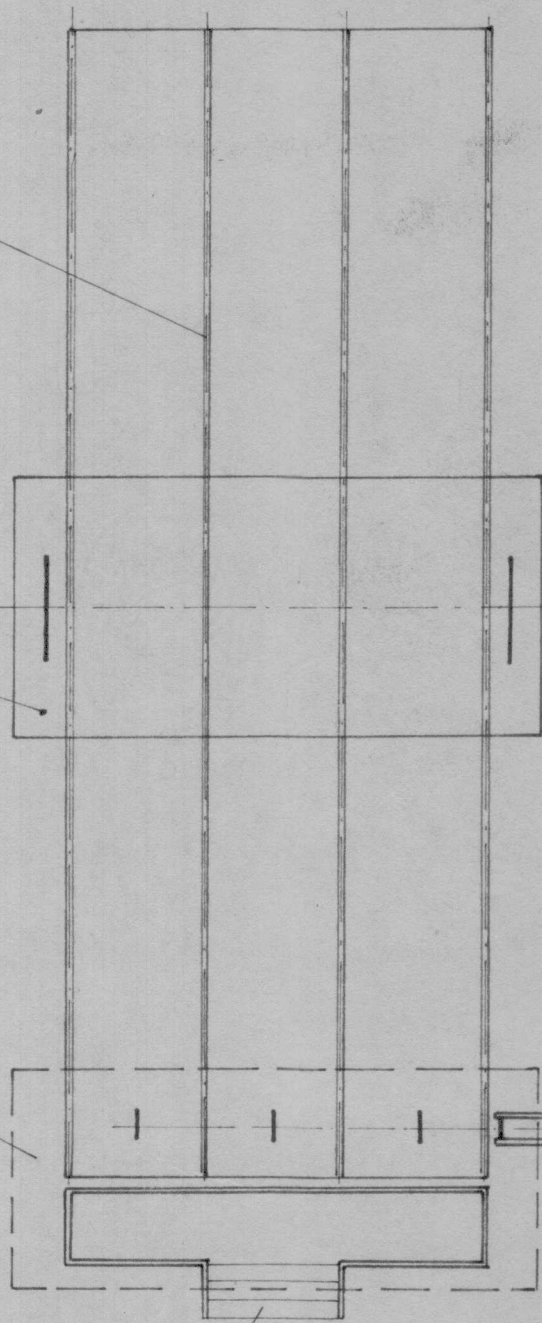
4

- 1 GENERAL
- 2 DE AMOLACION
- 3 DE BUENAS
- 4 DE MALAS

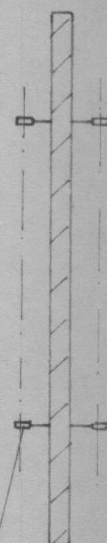
TRANSPORTADOR

RECIPIENTE DE BAÑO

CUARTO DE LUZ NEGRA

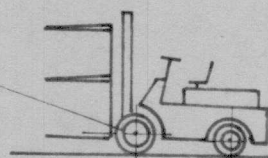


SISTEMA DE AMOLACION



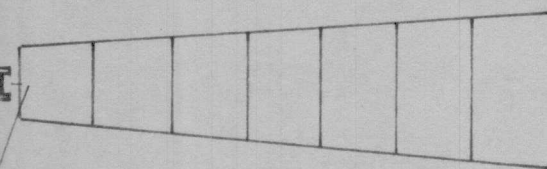
LINGOTE

MONTACARGA



SISTEMA DE SALIDA

ACCESO



POLITECNICA DEL LITORAL

TITULO:
A-8 DIAGRAMA DEL PROCESO

DIBUJADO	CRISTOBAL VILLACIS	MATERIAL
FECHA	NOVIEMBRE - 1973	
ESCALA	1:100	DISEÑADO: ONAR SERRANO V.