



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

RESIDENCIA PROFESIONAL

**“CALCULO Y DISEÑO DE UN BRAZO-PLUMA CON
CAPACIDAD DE 15 TONELADAS PARA INSTALARSE EN
BALSA FLOTANTE DE OBRE DE TOMA”**

PRESENTA

ALEJANDRO LEYVA DÍAZ

ESPECIALIDAD

INGENIERIA MECÁNICA

ASESOR INTERNO

ING. RUTILO MORALES ÁLVAREZ

ASESOR EXTERNO

ING. NÉSTOR JOAQUÍN CRUZ

REVISORES

M.C. ROBERTO CARLOS GARCÍA

M.I. RODOLFO COELLO ALBORES

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN -----	1
CAPITULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO -----	2
1.1 Generalidades -----	3
1.2 Justificación -----	3
1.3 Objetivos -----	4
1.3.1 Objetivo general -----	4
1.3.2 Objetivos específicos -----	4
1.4 Caracterización del área de trabajo -----	4
1.4.1 Descripción general de la planta -----	6
1.4.2 Datos técnicos de la planta -----	7
1.4.3 Misión -----	11
1.4.4 Visión -----	12
1.4.5 Objetivos -----	12
1.4.6 Organigrama de la planta -----	13
1.5 Problemas a resolver -----	14
1.6 Alcances -----	14
1.7 Limitaciones -----	14
CAPITULO II FUNDAMENTO TEÓRICO -----	15
2.1 Grúas pluma -----	16
2.1.1 Generalidades -----	16
2.2 Estructura -----	17
2.2.1 Clasificación de aparatos en función del servicio -----	18
2.2.1.1 Vida del mecanismo -----	18
2.2.1.2 Estado de carga -----	18
2.2.1.3 Clasificación -----	19
2.3 Elementos de suspensión -----	20
2.3.1 Ganchos -----	20
2.3.1.1 Dimensiones de ganchos -----	23
2.3.2 Cables -----	24

2.3.2.1 Notación de las estructuras -----	27
2.3.2.2 Dimensionado y selección del cable -----	28
2.3.3 Poleas -----	30
2.3.3.1 Selección de poleas -----	36
2.3.4 Aparejos -----	38
2.3.5 Tambores -----	40
2.3.6 Motores eléctricos -----	41
CAPITULO III DISEÑO DE LA GRÚA -----	43
3.1 Justificación de diseño -----	44
3.2 Características geométricas y físicas de la balsa -----	45
3.3 Prestaciones de la grúa -----	47
3.3.1 Dimensiones principales -----	47
3.3.2 Movimientos -----	48
3.3.3 Capacidad de carga -----	48
3.3.4 Vida esperada -----	48
3.3.5 Clasificación del aparato -----	48
3.4 Estructura -----	49
3.4.1 Pluma -----	49
3.4.2 Columna -----	50
3.4.3 Anclaje -----	52
3.4.4 Montaje -----	53
3.5 Elementos de suspensión -----	55
3.5.1 Gancho -----	55
3.5.2 Cable -----	55
3.5.3 Poleas -----	56
3.5.4 Motor eléctrico -----	56
3.6 Mantenimiento -----	57
3.6.1 Mantenimiento de la estructura -----	57
3.6.2 Mantenimiento al cable de acero -----	57
3.6.3 Mantenimiento al motor eléctrico -----	58
3.6.4 Recomendaciones -----	58

CAPITULO IV MEMORIA DE CÁLCULO -----	59
4.1 Cable -----	60
4.1.1 Cálculo del diámetro -----	60
4.1.2 Vida estimada del cable -----	61
4.2 Polea -----	62
4.2.1 Diámetro de la polea -----	62
4.2.2 Espesor de la llanta -----	63
4.2.3 Espesor de los radios -----	65
4.3 Aparejo -----	67
4.3.1 Cálculo de la traviesa de poleas -----	67
4.4 Pluma -----	70
4.4.1 Selección de perfil -----	70
4.4.2 Deflexión en la pluma -----	72
4.5 Columna -----	74
4.5.1 Selección de la columna -----	74
4.6 Placas de unión -----	76
4.6.1 Tornillos de fijación -----	76
4.6.2 Espesor de la placa -----	76
CONCLUSIÓN -----	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES -----	79
ANEXOS -----	80

INTRODUCCIÓN.

Una central hidroeléctrica se puede definir como el conjunto de elementos destinados a utilizar la energía potencial del agua para transformarla en energía eléctrica. El agua que se aprovecha proviene de los ríos a los que se interrumpe su curso para almacenarla en gran volumen utilizando así la caída que se genera entre el embalse y la turbina, elemento motor para la generación de energía eléctrica.

La obra de toma son construcciones adecuadas que permiten dirigir el agua hacia la turbina mediante canales o tuberías. Se hallan en la pared anterior a la presa que entra en contacto con el agua embalsada. Estas tomas además de unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas, poseen unas rejillas que impiden que elementos extraños como troncos, ramas, etc., puedan llegar a los alabes y producir desperfectos. Estas rejillas con el paso del tiempo llegan a acumular una cantidad significativa de troncos y ramas los cuales disminuyen la cantidad de agua que ingresa hacia la turbina.

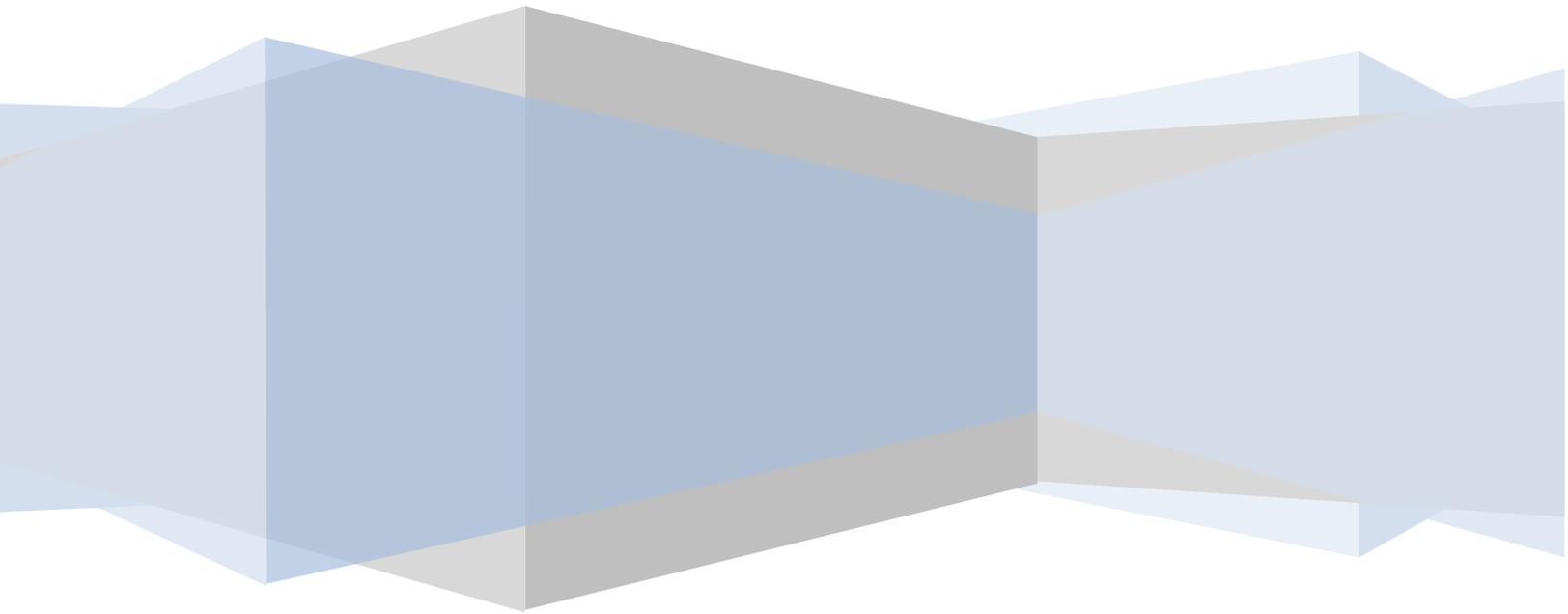
El presente proyecto “Cálculo y diseño de un brazo-pluma con capacidad de 15 toneladas para instalarse en balsa flotante de obra de toma” surge de la necesidad de contar con un dispositivo que facilite las maniobras de limpieza de rejillas y el área de obra de toma de la C.H. Manuel Moreno Torres. Dicho brazo facilitara el levantamiento del fondo del embalse de la carga que se genere de la limpieza de rejillas y del área aledaña.

En este reporte se resaltan las ventajas que ofrece contar con brazo-pluma montado en una balsa para la realización de la maniobra de limpieza en obra de toma.

Finalmente se muestran los cálculos y parámetros de diseño tomados en cuenta durante la realización del proyecto y se dejan las facilidades para la construcción.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO





1.1 GENERALIDADES.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Actualmente en la C.H. Manuel moreno Torres las labores de limpieza de rejillas así como del área que comprende la obra de toma se realizan mediante maniobras que implican el llenado de una canastilla con troncos, ramas, etc., en el fondo del embalse.

Para el levantamiento de la carga generada se utiliza una grúa telescópica sobre camión desde el piso superior de obra de toma, la canastilla una vez fuera del agua es vaciada sobre tierra firme para su nuevo ingreso. Al apoyarse sobre esta grúa limita la maniobra a la cobertura que llega a tener el brazo telescópico.

Al contar con una grúa pluma montada sobre una balsa permitirá desplazarse por todo el embalse de obra de toma, para poder levantar la canastilla cargada sobre cualquier punto del área, una vez la carga fuera del agua se podrá vaciar sobre la misma balsa, o acercarse a la grúa telescópica para que esta la eleve a tierra firme. Con esto las labores de desazolve y limpieza se podrán extender a otras áreas a las que la grúa telescópica no puede llegar.

Para este dispositivo se aplicaran los parámetros de diseño que mejor se adapten a la función a desempeñar, tomando en cuenta factores de seguridad, económicos y eficiencia.

1.3 OBJETIVOS.

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

Calcular y diseñar un brazo-pluma con capacidad de 15 toneladas que valla montado en una balsa para su utilización en obra de toma.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Reconocimiento de la balsa sobre la que se montara el brazo-pluma, para la recopilación de datos (capacidad de carga, diseño, material de construcción, etc.).
2. Elección del diseño del brazo-pluma con mayor adaptación a la balsa, tomando en cuenta factores como dimensión, peso, ahorro de material y construcción.
3. Elección del motor eléctrico que elevara la carga fuera del agua.
4. Elección de material de construcción.

1.4 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 35.1 millones de clientes al mes de agosto, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos

La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 209 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 52,515 megawatts (MW).

En la CFE se produce energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoelectrica.

La C.H. Manuel Moreno Torres también conocida como “Chicoasen” pertenece a la CFE y forma parte de un programa de construcción de cuatro plantas hidroeléctricas sobre el río Grijalva, primero se construyó la de Malpaso, después la angostura, posteriormente la de Chicoasén y por último la de Peñitas.



Fig. 1.1 C.H. Manuel Moreno Torres.

1.4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.

La central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres es uno de los grandes logros de la Comisión Federal de Electricidad, producto de la ingeniería mexicana y ejemplo del aprovechamiento de los recursos naturales en beneficio del país.

Se encuentra localizada al sureste de la república mexicana a 42 Km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas. Esta central, utiliza las aguas del río Grijalva para generar energía eléctrica, la cuenca de este río se inicia en Guatemala y se interioriza a nuestro país en la región denominada “Alto Grijalva”, se embalsa en el cañón del sumidero por la cortina de la presa. Debido a su gran capacidad de generación de energía eléctrica es una de las más importantes a nivel nacional.

La construcción de la central consistió de dos etapas, la primera inicio en el año de 1975 durante el gobierno del presidente de la República José López Portillo, durante esta etapa de construcción se realizaron los trabajos de las obras principales del proyecto como: obra de toma, tubería de presión, galería de transformadores, obra de excedencia, galería de oscilación y subestación, durante estos trabajos se realizó la excavación, prácticamente en su totalidad de: la casa de máquinas, las galerías de transformadores y de oscilación y el túnel de desfogue.

Esta primera etapa se concluyó en 1980 cuando entraron en operación 5 turbinas marca Mitsubishi, tipo Francis vertical, con una capacidad de generación de 300 MW cada una.

La segunda etapa inicio en el año 2000, concluyendo en el 2004. Consistió en la implantación de un nuevo grupo de unidades generadoras 6, 7 y 8 formadas por turbinas Francis de eje vertical de la marca Alstom, con una capacidad de generación de 300 MW.



Fig. 1.2 Construcción de la segunda etapa de la C.H. Manuel Moreno Torres.

La central cuenta actualmente con 8 unidades generadoras, dando un total de 2400 MW de capacidad, lo cual representa uno de los más grandes soportes para el sistema interconectado nacional.

1.4.2 DATOS TÉCNICOS DE LA PLANTA.

Embalse.

ÁREA cuenca	7940 Km ²
Escorrentamiento Medio Anual	1347 M m ³
Gasto Medio Anual	413 m ³ /s
Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME)	395 MSNM
Nivel de Aguas Máximas de Operación (NAMO)	392 MSNM
Nivel de Aguas Mínimas de Operación (NAMINO)	380 MSNM



Fig. 1.3 Embalse.

Obra de toma.

Número de tomas	8
Gasto máximo por toma	189 m ³ /s
Compuerta	7.45m x 6.8m
Diámetro túnel	6.70 m
Longitud promedio de túneles	235 m
Diámetro Tubería de presión	4.58 m



Fig. 1.4 Obra de toma.

Cortina.

Tipo	Enrocamiento
Elevación Corona	402 MSNM
Altura	262 m
Ancho Corona	25 m
Longitud Corona	480 m
Volumen total	15.37 M m ³



Fig. 1.5 Cortina.

Vertedores.

Túneles	3
Compuertas por túnel	3
Longitud	1300 m
Diámetro	15 m
Longitud de la cresta	75.60 m
Elevación de la cresta	373 m
Descarga Máxima	15000 m ³ /s



Fig. 1.6 Vertedores abiertos C.H. Manuel Moreno Torres.

Turbinas.

Primera Etapa (5 Turbinas)

Marca	Mitsubishi
Diámetro rodete	5300 mm
Caída de agua	185 m
Caudal nominal	184.1 m ³ /s
Potencia	318 MW
Velocidad	163.64 rpm

Segunda Etapa (3 Turbinas)

Marca	ALSTOM
Diámetro rodete	4540 mm
Caída de agua	179 m
Caudal nominal	184.75 m ³ /s
Potencia	310 MW
Velocidad	180 rpm



Fig. 1.7 Turbina Hidráulica Mitsubishi.

1.4.3 MISIÓN.

Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente.

Asegurar, dentro de un marco de competencia y actualizado tecnológicamente, el servicio de energía eléctrica, en condiciones de cantidad, calidad y precio, con la adecuada diversificación de fuentes de energía.

Optimizar la utilización de su infraestructura física, comercial y de recursos humanos.

Proteger el medio ambiente, promover el desarrollo social y respetar los valores de las poblaciones donde se ubican las obras de electrificación.



GENERALIDADES DEL PROYECTO



1.4.4 VISIÓN.

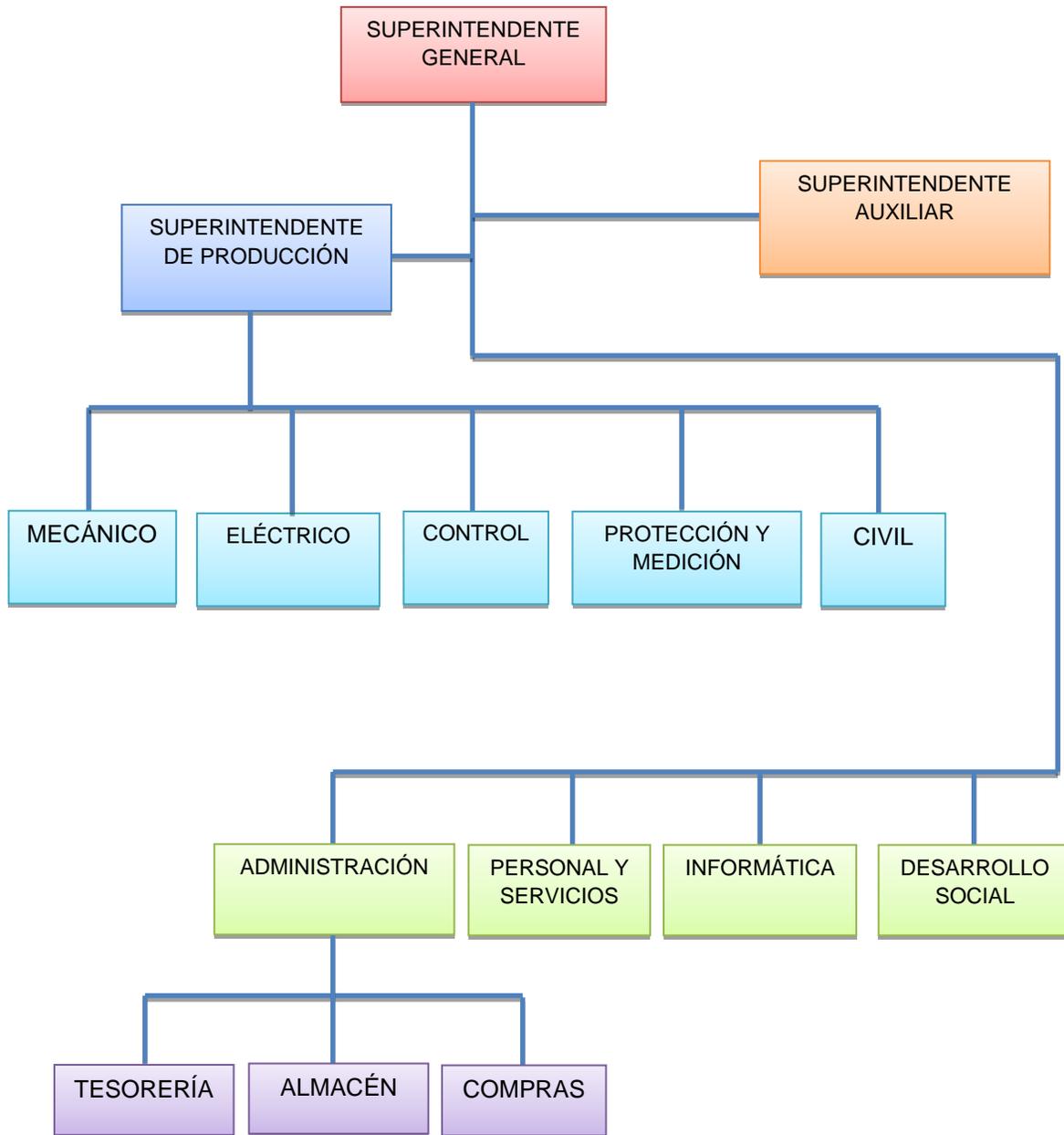
Ser una empresa de energía, de las mejores en el sector eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial.

Una empresa reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

1.4.5 OBJETIVOS.

- Mantenernos como la más importante empresa de energía eléctrica nacional.
- Operar sobre las bases de indicadores internacionales en materia de productividad, competitividad y tecnología.
- Ser reconocida por nuestros usuarios como una empresa de excelencia que se preocupa por el medio ambiente, y está orientada al servicio al cliente.
- Promover la alta calificación y desarrollo profesional de trabajadores y directivos de CFE.

1.4.6 ORGANIGRAMA DE LA PLANTA.





GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.5 PROBLEMAS A RESOLVER.

- Recopilar información necesaria para el desarrollo del proyecto.
- Cálculo de resistencia de materiales (esfuerzos, momentos, etc.).
- Selección de un diseño funcional y óptimo, que garantice su buen funcionamiento.
- Selección del motor eléctrico.
- Modelado en software de la balsa y la grúa.

1.6 ALCANCES.

Posibilidad de que la grúa sea usada también en tierra firme.

Mayor cobertura en el embalse de la presa.

Optimización de las maniobras de limpieza en obra de toma.

Fácil montaje y desmontaje.

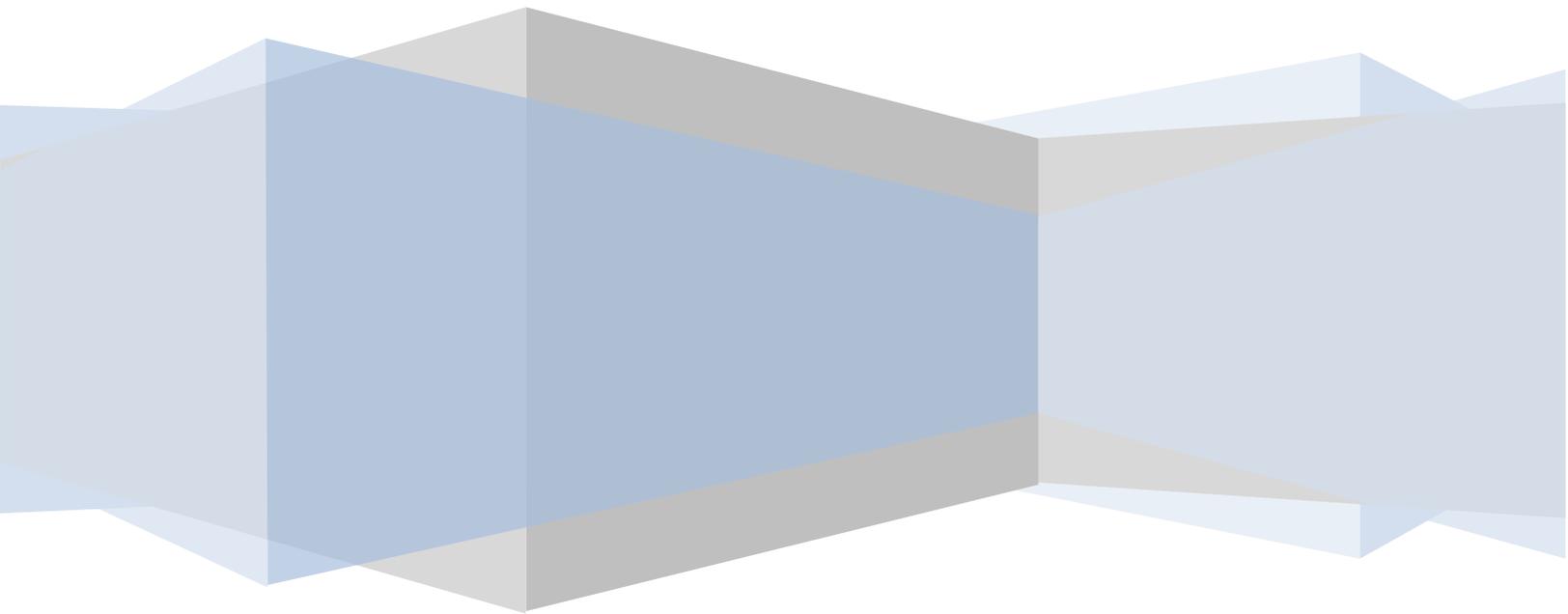
1.7 LIMITACIONES.

Grúa limitada a levantar una carga máxima de 15 toneladas.

Limitada a solo subir y bajar la carga.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO



2.1 GRÚAS PLUMA.

2.1.1 GENERALIDADES.

Este tipo de grúa, consta de una estructura formada por una pluma anclada a una columna fija.



Fig. 2.1 Grúa tipo pluma.

La columna es la encargada de absorber el momento de vuelco y el peso de la pluma y la carga.

En los primeros diseños de estas grúas se utilizaba contrapeso para reducir el momento de vuelco, pero en la hoy en día, la estructura y la cimentación se calculan para absorber todo el par de vuelco.

En cuanto a la forma de fabricación de la estructura, hace unos años se utilizaban celosías remachadas, la tendencia actual en cambio, debido fundamentalmente al coste del proceso de fabricación, es utilizar estructuras viga cajón.

Este tipo de grúas son autosuficientes y pueden ser impermeabilizadas completamente, esto las convierte en una buena opción para el trabajo al aire libre.

2.2 ESTRUCTURA.

Se entiende por estructura de un aparato de elevación, el conjunto de elementos resistentes del mismo, que tienen por objeto absorber los esfuerzos generados por las diferentes sollicitaciones, y transmitirlos a la estructura fija.

La estructura principal de una grúa giratoria de columna fija es:

- Pluma
- Columna
- Sistema de anclaje
- Cimentación

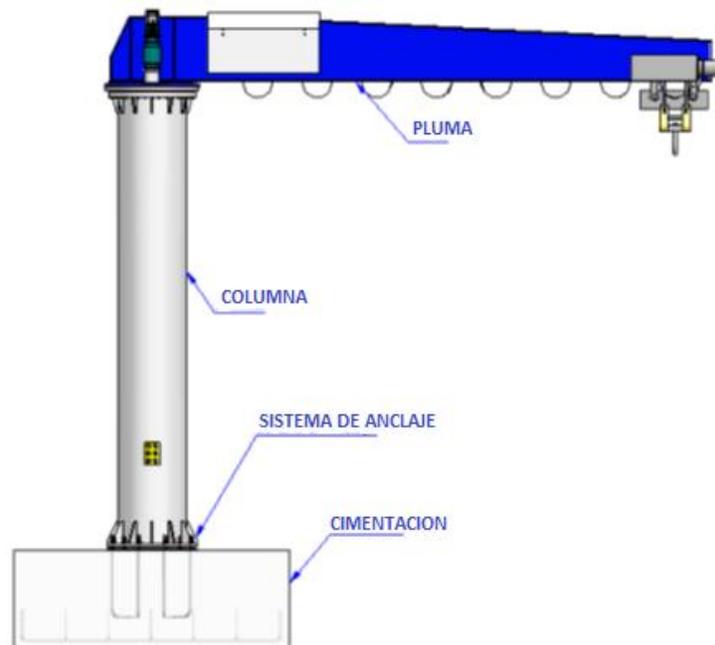


Fig. 2.2 Estructura Principal de una grúa pluma.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE APARATOS EN FUNCIÓN DEL SERVICIO.

Los factores que se consideran para determinar el grupo son la vida del mecanismo y el estado de carga.

2.2.1.1 VIDA DEL MECANISMO.

La vida del mecanismo representa el número de horas de funcionamiento real que estimamos va a tener el mecanismo a lo largo del servicio y se clasifica en grupos como muestra la siguiente tabla [1].

Grupo	A	B	C	D	E	F	G
Vida en horas	800	1600	3200	6300	12500	25000	50000

Tabla 2.1 Definición de la vida del mecanismo.

2.2.1.2 ESTADO DE CARGA.

El estado de carga representa en qué medida, el aparato levanta la carga máxima o solamente una carga reducida.

Se considera en la práctica, cuatro estados convencionales de carga, caracterizadas por el valor k , representando la frecuencia de la carga máxima, durante el servicio en un número de ciclos determinado. El factor k lo podemos obtener de la siguiente tabla [1].

ESTADO DE CARGA	SERVICIO	FACTOR K
1	Frecuencia muy reducida del estado de carga.	0.125
2	Frecuencia reducida de la carga máxima.	0.250
3	Frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas.	0.500
4	Frecuencia elevada de la carga máxima.	1.000

Tabla 2.2 Definición del estado de carga.

2.2.1.3 CLASIFICACIÓN.

Las normas FEM realizan la clasificación con la siguiente notación. Mn , donde n es el número del grupo al que pertenece el aparato de elevación y va del 3 al 8, mientras que las normas DIN utilizan la siguiente notación: nm , donde n es el número del grupo al que pertenece el aparato de elevación y varía de 1 a 5, siendo el grupo 1m doble (1Am y 1Bm). Esta clasificación viene dada en función de la vida en horas de funcionamiento real del mecanismo y del estado de la carga [1].

ESTADO DE CARGA		VIDA EN HORAS DE FUNCIONAMIENTO REAL DEL MECANISMO													
FACTOR K	SERVICIO	800		1600		3200		6300		12500		25000		50000	
0.125	Frecuencia muy reducida de la carga máxima.					M3	1Bm	M4	1Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m
0.250	Frecuencia reducida de la carga máxima			M3	1Bm	M4	1Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m
0.500	Frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas.	M3	1Bm	M4	1Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m	M8	5m
1.00	Frecuencia elevada de la carga máxima.	M4	1Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m	M8	5m	M8	5m

Tabla 2.3 Grupo del mecanismo FEM/DIN15020.

2.3 ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN.

2.3.1 GANCHOS.

En el ciclo completo realizado por un aparato de elevación una parte importante la compone la operación de enganche y desenganche de la carga. A partir de la afirmación anterior, es preciso un diseño adecuado del elemento de suspensión. En la actualidad, existe una normativa vigente, que define completamente el diseño de los ganchos. Por lo tanto, la tarea del ingeniero de grúas se compone básicamente de seleccionar de forma adecuada el gancho de acuerdo con la normativa.

Existen diferentes tipos de ganchos:

- Gancho simple
- Gancho doble
- Gancho de hojas
- Gancho de seguridad

El gancho simple se utiliza en grúas de capacidad de carga media o baja. Se realizan en acero pobre en carbono mediante una operación de forja o estampación. El empleo de acero rico en carbono y fundición es inadmisibles debido a la existencia de problemas de fractura en base a la fragilidad del material

En aparatos de elevación de capacidad de carga alta, se recurre a ganchos dobles cuya sollicitación simétrica es más favorable. Se realizan en acero forjado o estampado.

En ambos casos, la caña o parte cilíndrica superior del gancho puede tener dos longitudes. Se tomará la menor en aquellos casos donde la carga deba ser elevada a una cota muy próxima a la del aparato de elevación. En aquellos casos, donde la geometría de la pieza a elevar no permita su amarre con el gancho de cancha corta, se tomará el de mayor longitud.

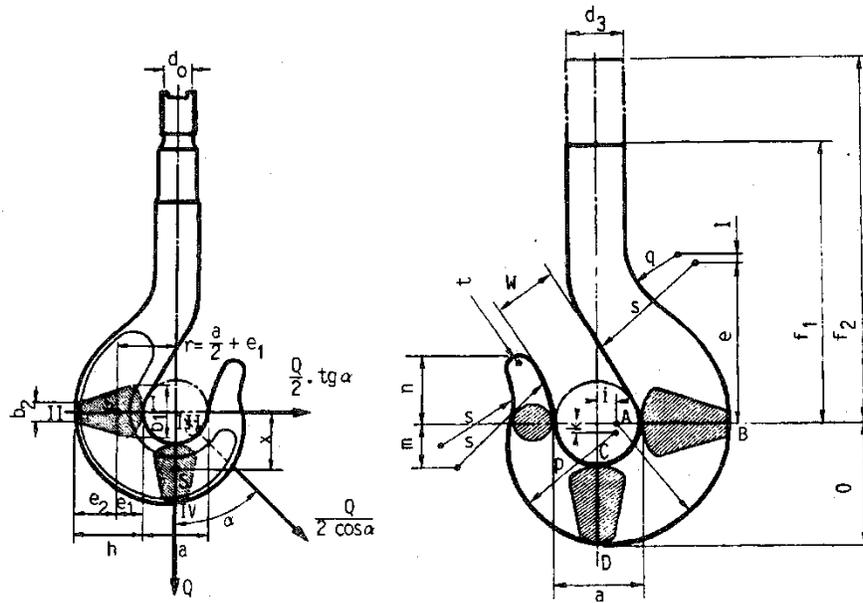


Fig. 2.3 Gancho simple de carga.

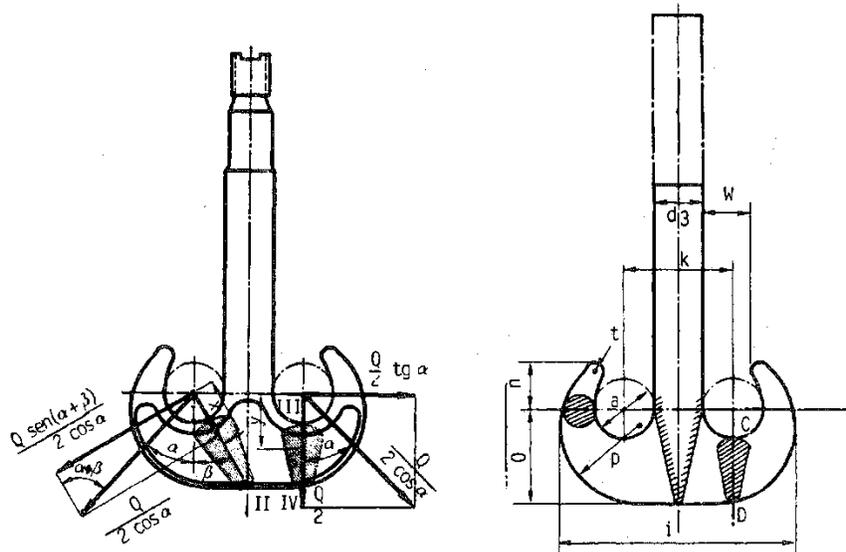


Fig. 2.4 Gancho doble de carga.

En puentes-grúa de acería y cucharas de colada se utilizan ganchos de hojas. Son más ligeros que los forjados, se realizan mediante chapas de acero de fusión. En el caso de una rotura de una hoja por exposición permanente al calor radiante, concentración de tensiones, el resto es suficientemente resistente para soportar la plena carga.

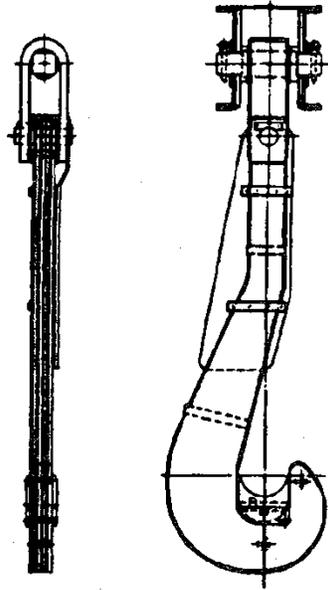


Fig. 2.5 Gancho de hojas.

En casos de alta seguridad, se dispone una pieza articulada que cierra el espacio existente entre el extremo y la parte recta del gancho. De esta forma, se impide la salida de la eslinga a través del gancho. El desenganche de la carga se lleva a cabo mediante la retirada manual de la pieza metálica articulada

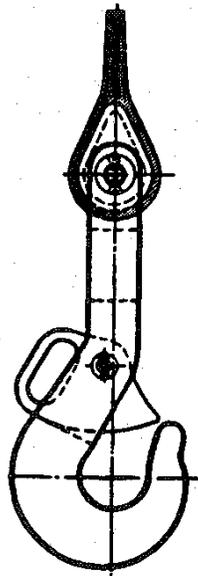


Fig. 2.6 Gancho de seguridad.

2.3.1.1 DIMENSIONES DE GANCHOS.

Los ganchos corresponden a las normas DIN 15401 y 15402 y se construyen en acero forjado de calidad ASt-52 (clase P, la norma DIN 15400). Todos los ganchos están dotados con pestillo de seguridad para impedir la salida de la eslinga.

La norma DIN 15401 y 15402 establecen las dimensiones de ganchos simples y dobles de forja (tabla 2.1).

La tabla 2.4 [1] está referida a la figura 2.7.

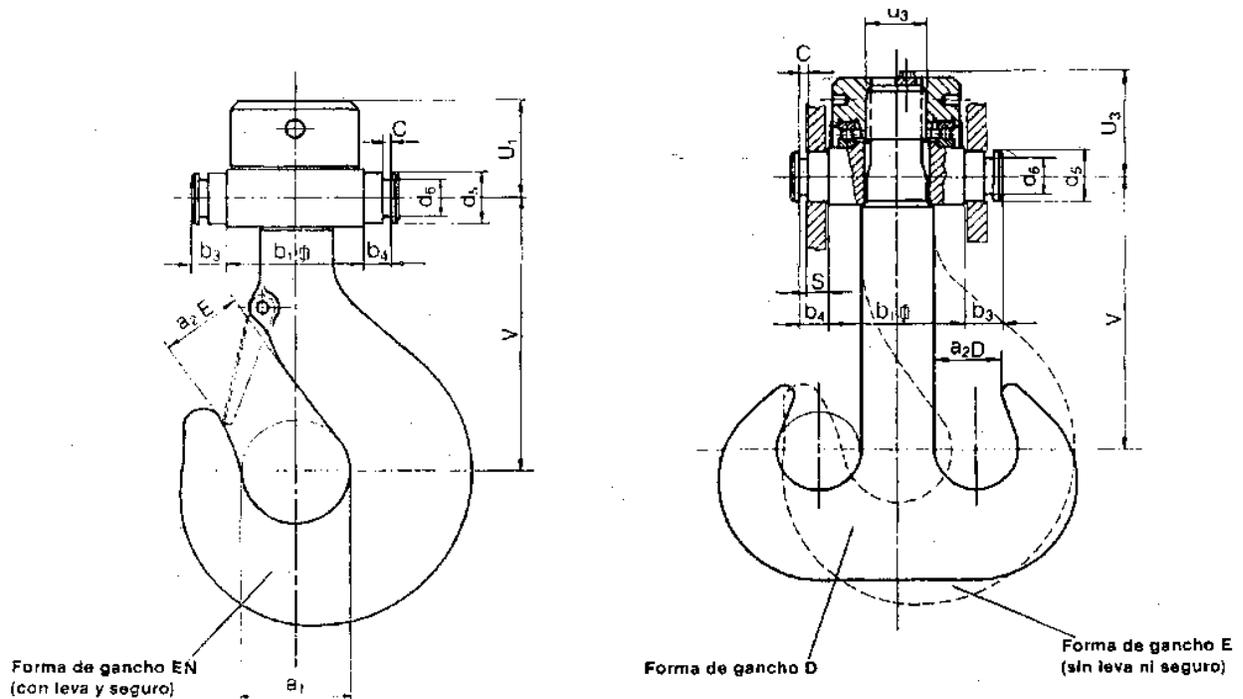


Fig. 2.7 Gancho simple y gancho doble.

Gancho No.	a_1	a_2E	a_2D	b_1	b_3	b_4	c	d_3	d_5	d_6	s	u_1	u_3	v	Rodam.	Peso (Kg)	Referencia
2.5	63	50	40	80	22.5	17	8	M 36	30	19	10	64		170	51108	9	001.2.5
4	71	56	45	90	25	19	8	M 42	35	23	12	71		190	51110	14	001.4
5	80	63	50	100	27.5	22	8	M 45	40	27	15	80		210	51112	20	001.5
6	90	71	56	125	30	24	10	Rd 50	45	32	15	95	95	240	51214	29	001.6
8	100	80	63	140	35	29	10	Rd 56	50	36	20	104	104	265	51216	40	001.8
10	112	90	71	160	35	29	10	Rd 64	55	40	20	110	116	280	51218	57	001.10
12	125	100	80	180	42.5	34	10	Rd 72	60	42	25	127	133	315	51220	85	001.12
16	140	112	90	190	42.5	36	12	Rd 80	70	50	25	136	143	370	51222	110	001.16
20	160	125	100	200	47.5	41	12	Rd 90	80	56	30	150	157	415	51224	160	001.20
25	180	140	112	220	49	41	12	Rd 100	90	64	30	166	173	460	51226	228	001.25
32	200	160	125	260	59	51	12	Rd 110	100	72	40	188	195	500	51232	312	001.32
40	224	180	140	285	65	58	14	Rd 125	110	80	45	208	215	565	51236	445	001.40
50	250	200	160	335	65	58	14	Rd 140	125	92	45	224	232	620	51244	612	001.50
63	280	224	180	380	71	63	14	Rd 160	140	104	50	260	267	700	51248	870	001.63
80	315	250	200	420	72.5	63	14	Rd 180	160	120	50	287	294	800	51256	1230	001.80
100	355	280	224	470	87.5	77	18	Rd 200	180	136	60	326	333	885	51260	1750	001.100
125	400	315	250	510	87.5	77	18	Rd 225	200	150	60	365	374	1000	51268	2520	001.125
160	450	355	280	550	100	87	18	Rd 250	220	164	70	406	416	1130	51272	3580	001.160
200	500	400	315	610	100	87	18	Rd 280	240	184	70	492	502	1270	51372	4850	001.200
250	560	450	355	700	110	97	18	Rd 320	260	200	80	552	562	1440	51384	6850	001.250

Tabla 2.4 Dimensiones de ganchos simples de forja según la norma DIN 15401 y 15402.

2.3.2 CABLES.

Como órganos flexibles de las máquinas para elevar carga se emplean preferentemente los cables metálicos. Un cable metálico es un elemento constituido por alambres agrupados formando cordones, que a su vez se enrollan sobre un alma formando un conjunto apto para resistir esfuerzos de extensión.

Los elementos componentes del cable son:

- **Alambres:** generalmente de acero trefilado al horno, con carga de rotura a tracción entre 1200 y 1800 MPa.
- **Almas:** Son los núcleos en torno a los cuales se enrollan los alambres y los cordones. Suelen ser metálicas, textiles o incluso amianto.
- **Cordones:** son las estructuras más simples que podemos constituir con alambres y almas: se forman trenzando los alambres, bien sobre un alma o incluso sin alma.
- **Cabos:** son agrupaciones de varios cordones en torno a un alma secundaria utilizados para formar otras estructuras.

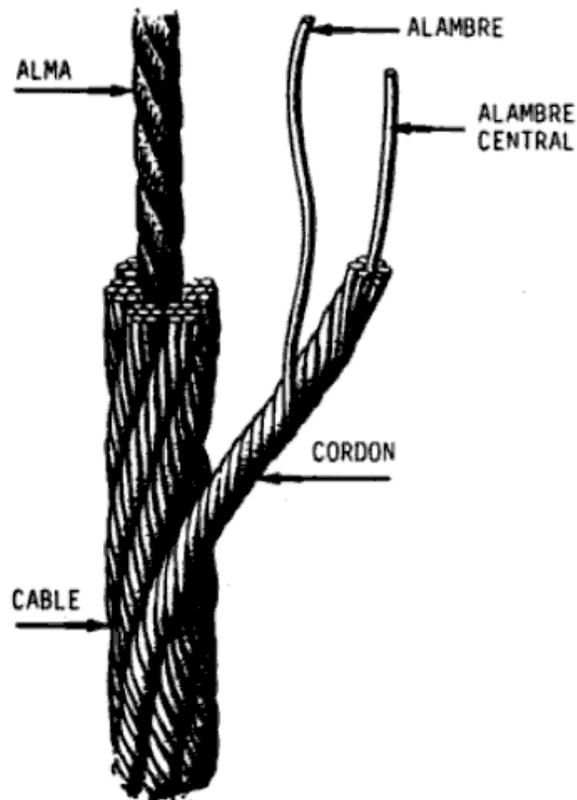


Fig. 2.8 Constitución de un cable.

La estructura transversal de los cordones está estrechamente relacionada con el trenzado longitudinal de los alambres, pudiendo ser éste:

De pasos iguales en cordones con alambres diferentes. En ellos los alambres no se entrecruzan si no que se apoyan unos en otros en toda su longitud, consiguiéndose una mayor flexibilidad, mayor resistencia a la compresión y mayor capacidad de carga.

Normal o de ángulos iguales: todos los alambres son de igual diámetro, formando el mismo ángulo de cableado, por lo que los pasos de cada capa de alambres son distintos y proporcionales a los diámetros medios de cada capa.

Tanto en unos como en otros, el torcido de los cordones sobre el alma se puede realizar a derechas o a izquierdas.

Podemos clasificar los cordones en:

- De alambres de igual diámetro
- De alambres de diferente diámetro
- De alambres de forma especial
- De forma no circular

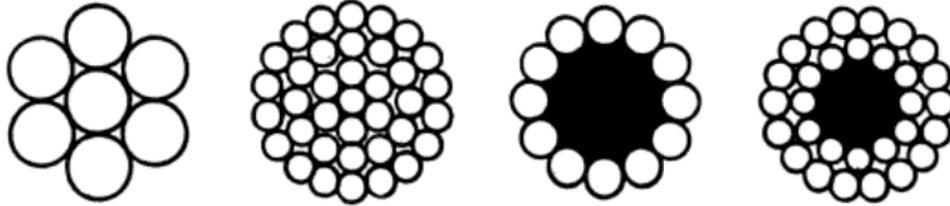


Fig. 2.9 Diferentes tipos de cables de igual diámetro.

Los cables de varios cordones son los más utilizados en la práctica. El número de cordones oscila entre 3 y 8, siendo el más común 6 por ser bastante redondo y con buena superficie de apoyo. Los cables con número de cordones bajos presentan aristas en las que se concentran los desgastes del cable, y en los de más de 6 cordones, se obtiene una buena flexibilidad, pero aparecen problemas de aplastamiento del alma.

Los cables durante su uso están sometidos a diferentes factores que pueden afectar su vida útil.

Encurvación: El paso de los cables por las poleas y su enrollamiento sobre los tambores generan en estos una fatiga por flexión, tanto mayor cuanto más rígido sea el cable.

Aplastamiento: Se produce aplastamiento cuando los cables se apoyan en las gargantas de poleas y tambores, desplazándose los alambres de sus posiciones con lo que se debilita el cable. Los cables de alambres gruesos resisten mejor el aplastamiento que los de alambres finos.

Estrepada: Son los fuertes estirones repentinos del cable que provocan en este deformaciones respecto de su condición inicial. Fundamentalmente se producen estos fenómenos en las máquinas de minería y obras públicas.

Abrasión: La resistencia de un cable al desgaste es la que se opone a la abrasión del mismo. Como el desgaste es función de la presión específica, y esta función de la superficie de contacto, los cables más apropiados son los que con igual diámetro presenten la máxima superficie de apoyo.

Corrosión: Sobre los cables, que generalmente se encuentran en instalaciones al aire libre, se presenta el fenómeno de la corrosión. Para evitar en la medida de lo posible de este deterioro, los cables se engrasan.

2.3.2.1 NOTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.

La notación de manera abreviada está constituida por tres cifras, las dos primeras separadas por el signo “X” y las dos últimas por el signo “+”.

1. No. De cordones del cable
2. No. de alambres de los cordones
3. No. de almas del cable

Ejemplo: $6 \times 19 + 1$ según la figura 2.9

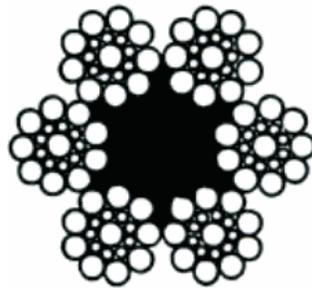


Figura 2.10 Cable de 6 cordones, 19 alambres y 1 alma.

De una manera más desarrollada se añade al segundo número un paréntesis que contiene la disposición de los alambres dentro del cordón.

Ejemplo: $6 \times 19 (1 + 9 + 9) + 1$

Si el cable no tiene almas textiles, la última cifra es un cero (Figura 2.11).

Ejemplo: $7 \times 7 + 0$

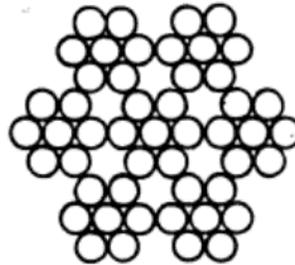


Fig. 2.11 Cable de 7 cordones, 7 alambres y 0 almas.

2.3.2.2 DIMENSIONADO Y SELECCIÓN DEL CABLE.

La norma DIN 15.400 marca unas reglas para el dimensionamiento basadas en ensayos y experiencias prácticas.

Es necesario tener en cuenta las condiciones de trabajo de la máquina. Se distinguen seis grupos para las normas DIN y otros seis para las normas FEM, según la duración real del mecanismo y de la frecuencia de la carga máxima.

La tracción máxima S en el cable de elevación se obtiene considerando:

Q_u = Carga máxima nominal del aparejo.

Q_{es} = Peso propio del aparejo o elemento de suspensión de la carga.

i = Relación del aparejo.

n = Rendimiento del aparejo.

Por lo tanto:

$$S = \frac{Q_u + Q_{es}}{i \times n} \quad (2.1)$$

El diámetro del cable se calcula de la siguiente manera.

$$\text{FEM: Seguridad } Z_p \geq \frac{F_0}{S} \frac{(\text{carga de rotura del cable})}{(\text{tracción máxima del cable})}$$

DIN:

$$d = K_C \sqrt{S} \quad (2.2)$$

K_C = Coeficiente indicado en tabla 2.5 [1].

FEM			DIN				
GRUPO	SEGURIDAD MINIMA Z_p		GRUPO	COEFICIENTE K_C			
	NORMAL	CARGAS PELIGROSAS CABLE ANTIGIRATORIO		NORMAL	CARGAS PELIGROSAS Y CABLE ANTIGIRATORIO		
					180	200	180
M3	3.55	4	1Bm	0.250	0.235	0.265	0.250
M4	4	4.5	1Am	0.265	0.250	0.280	0.265
M5	4.5	5.6	2m	0.280	0.265	0.315	0.280
M6	5.6	7.1	3m	0.315	0.280	0.335	0.325
M7	7.1	9	4m	0.335	0.325	0.375	0.365
M8	9	11.2	5m	0.375	0.365	0.425	0.400

Tabla 2.5 Coeficientes Z_p y K_C .

Rendimiento del aparejo [1].

No. De Ramales	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Poleas con n rendimiento	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90	0.89	0.88

Tabla 2.6 Rendimiento del aparejo.

Rendimiento de una polea de cable $n = 0.98$

2.3.3 POLEAS.

La polea es un elemento de un aparato de elevación cuyo objeto es cambiar la dirección del cable servir de elemento de acoplamiento entre aparato y carga como componente de un aparejo. En la actualidad se realizan poleas en acero y en plástico.

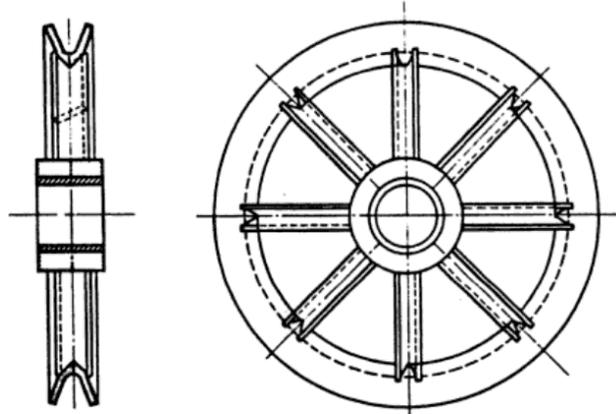


Fig. 2.12 Representación de una polea.

Existen dos tipos de poleas, las de radios o las de alma central. Sus partes principales se exponen en la figura 2.13.

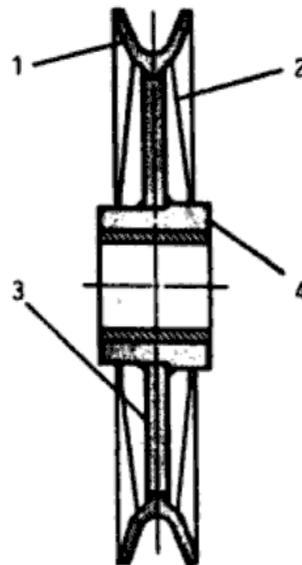


Fig. 2.13 Partes principales de una polea.

1. Llanta
2. Radios
3. Alma
4. Cubo

Las poleas en la actualidad pueden realizarse partiendo de los siguientes materiales:

- Fundición nodular
- Acero moldeado
- Acero soldado
- Acero laminado

Las poleas de fundición de dimensiones pequeñas son de alma llena. Las de mayor diámetro tienen entre cuatro y seis radios. Las poleas de fundición no resisten bien el desgaste, por lo que en casos de servicio duro, se deben utilizar poleas de acero moldeado, cuyo precio es bastante mayor.

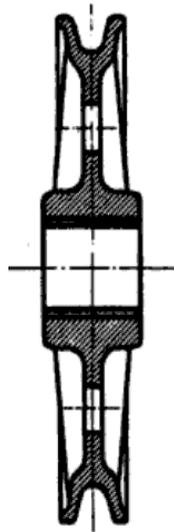


Fig. 2.14 Polea de fundición.

Las poleas soldadas, son ligeras, son más utilizadas que las poleas fundidas en función de la maquinaria disponible y de la magnitud de la serie fabricar. En este proceso, los

radios son pletinas o varillas. El caso de existir alma, esta se compone de una o dos placas, que pueden estar aligeradas en función de los esfuerzos existentes.

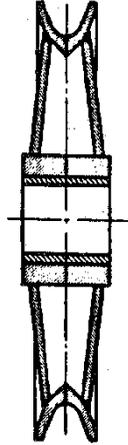


Fig. 2.15 Polea soldada.

Las poleas laminadas requieren para su fabricación, maquinaria específica. Una placa de forma es trabajada en frío o en caliente en su línea exterior hasta conformar el perfil de garganta de la polea. Posteriormente se ejecuta el cubo y su inclusión por soldadura en el conjunto del elemento.

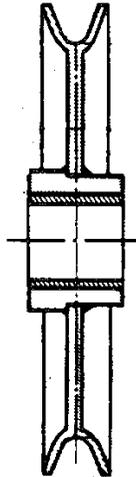


Fig. 2.16 Polea laminada.

Existen así mismo poleas de garganta especial, preparadas para el paso del cable y de la pera de unión. La garganta está formada por dos laterales soldados a un anillo central, mecanizado para el paso del cable. El cubo y los radios están unidos por soldadura.

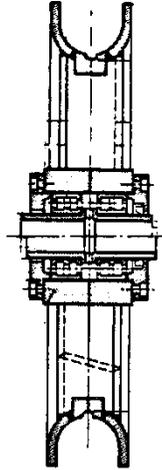


Fig. 2.17 Polea de garganta especial.

El material de la garganta de la polea determina la vida del cable. Debido a la existencia de mayores tensiones de contacto entre los alambres del cable y de la garganta, y a las peores condiciones de deslizamiento del cable por las poleas de acero, el cable se desgasta mas es estas poleas que en las de fundición. A veces, con el fin de aumentar la vida del cable, se emplean poleas con la garganta forrada de otros materiales como aluminio, goma o plásticos.

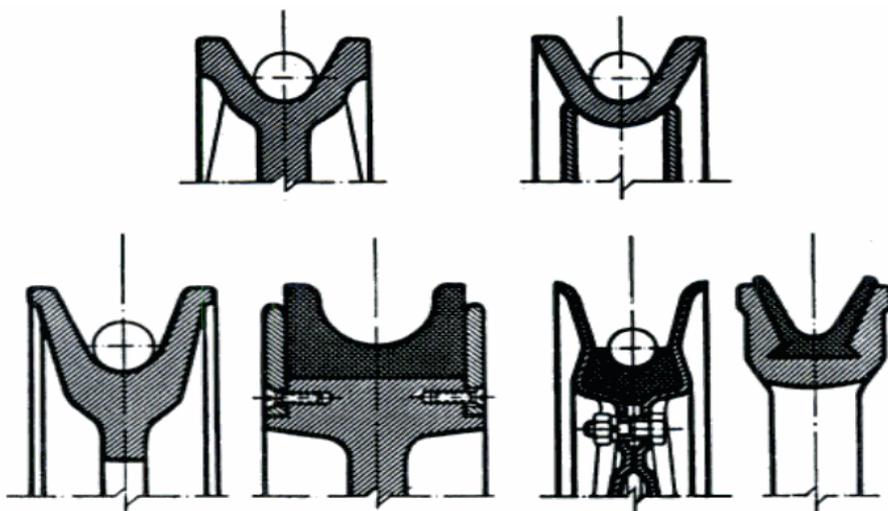


Fig. 2.18 Diferentes tipos de gargantas de polea.

Para que no exista fricción se usan rodamientos en las poleas, siendo estos de bolas o de rodillos.

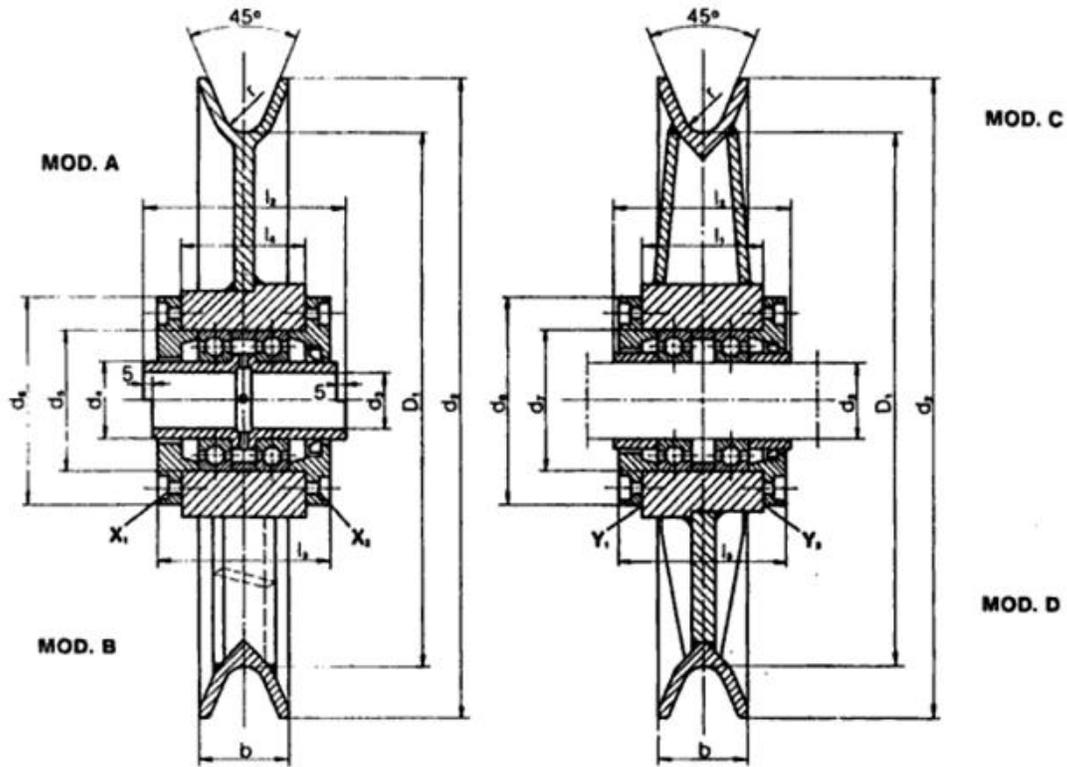


Fig. 2.19 Definición de variables de poleas de rodamientos de bolas.

La tabla 2.7 [1] se representa en la figura 2.19 e indica las dimensiones de poleas con rodamientos.

D ₁	Ø Cables	r	d ₂	b	E ₉ d ₃	d ₄ h ₆	M ₇ d ₅	d ₆	M ₇ d ₇	d ₈	l ₁ -0.2	l ₂	l ₃	l ₄ -0.2	l ₅	Rodam.		Peso Kg	referencia
																X	Y		
225	10-11	5.6	260	32	45	60	110	145	85	120	55	100	77	60	82	6212	6209	10	010.22.09
250	10-13	5.6	285	34	40	50	90	125	80	115	55	100	76	56	76	6210	6208	11	010.25.08
		6.3	290	38	50	60	110	145	90	125	55	100	77	60	82	6212	6210	12	010.25.10
		7	295	44	60	70	125	165	110	145	60	110	82	65	87	6214	6212	14	010.25.12
280	10-13	5.6	315	34															
		6.3	320	38	55	70	125	165	100	135	60	110	82	65	87	6214	6211	17	010.28.11
315	13-15	7	360	38	50	60	110	145	90	125	55	100	77	60	82	6212	6210	18	010.31.10
		8	359	40	60	70	125	165	110	145	60	110	82	65	87	6214	6212	20	010.31.12
		70	80	140	180	125	165	65	110	87	70	92	6216	6214	22	010.31.14			
355	15-17	8	399	40	60	70	125	165	110	145	60	110	82	65	87	6214	6212	22	010.35.12
		9	411	48	70	80	140	180	125	165	65	110	87	70	92	6216	6214	24	010.35.14
		80	100	180	230	140	180	70	130	96	85	113	6220	6216	30	010.35.16			
400	17-19	9	456	48	60	70	125	165	110	145	60	110	82	65	87	6214	6212	26	010.40.12
		10	456	50	70	80	140	180	125	165	65	110	87	70	92	6216	6214	28	010.40.14
		75	90	160	210	130	175	70	130	96	80	108	6218	6215	30	010.40.15			
		80	100	180	230	140	180	70	130	96	85	113	6220	6216	34	010.40.16			
450	19-21	10	506	50	70	80	140	180	125	165	65	110	87	70	92	6216	6214	35	010.45.14
		11	526	60	80	100	180	230	140	180	70	130	96	85	113	6220	6216	40	010.45.16
		90	110	200	250	160	210	80	140	108	95	123	6222	6218	44	010.45.18			
500	20-24	11	576	60	80	100	180	230	140	180	70	130	96	85	113	6220	6216	41	010.50.16
		12.5	570	60	90	110	200	250	160	210	80	140	108	95	123	6222	6218	44	010.50.18
		100	120	215	265	180	230	85	150	113	100	128	6224	6220	48	010.50.20			
560	20-26	11	636	60	90	110	200	250	160	210	80	140	108	95	128	6222	6218	55	010.56.18
		12.5	630	60	100	120	215	265	180	230	85	150	113	100	128	6224	6220	58	010.56.20
		14	630	60	110	130	230	290	200	250	95	160	123	100	132	6226	6222	63	010.56.22
		120	140	250	305	215	265	100	160	134	100	132	6228	6224	65	010.56.24			
		140	160	240	290	210	265	85	140	119	95	127	9032	6028	68	010.56.28			
630	24-31	12.5	700	60	100	120	215	265	180	230	85	150	113	100	128	6224	6220	70	010.63.20
		14	700	60	110	130	230	290	200	250	95	160	123	100	132	6226	6222	74	010.63.22
		16	710	70	120	140	250	305	215	265	100	160	134	100	132	6228	6224	77	010.63.24
		150	170	260	320	225	275	90	150	124	100	132	6034	6030	79	010.63.30			
710	25-34	14	780	60	110	130	230	290	200	250	95	160	123	100	132	6226	6222	88	010.71.22
		16	790	70	120	140	250	305	215	265	100	160	134	100	132	6228	6224	98	010.71.24
		18	810	80	140	160	240	290	210	265	85	140	119	95	127	6032	6028	100	010.71.28
		170	190	290	350	260	320	100	160	134	110	142	6038	6034	105	010.71.34			
800	29-38	16	880	70	120	140	250	305	215	265	100	160	134	100	132	6228	6224	125	010.80.24
		18	900	80	130	150	270	330	230	290	100	160	134	110	142	6230	6226	130	010.80.26
		20	900	83	140	160	240	290	210	265	85	140	119	95	127	6032	6028	135	010.80.28
		180	200	310	370	280	340	110	170	144	120	152	6040	6036	140	010.80.36			
900	33-38	18	1000	80	140	160	290	350	250	310	105	160	139	115	147	6232	6228	152	010.90.28
		20	1000	83	180	200	310	370	280	340	110	170	144	120	152	6040	6036	167	010.90.36
		200	220	340	400	310	370	120	180	154	130	162	6044	6040	175	010.90.40			
		220	240	360	420	340	400	130	180	164	130	162	6048	6044	182	010.90.44			
1000	37-43	20	1100	83	200	220	340	400	310	370	120	180	154	130	162	6044	6040	210	010.100.40
		22.5	1124	100	220	240	360	420	340	400	130	180	164	130	162	6048	6044	220	010.100.44
		240	260	400	480	360	420	130	210	174	150	194	6052	6048	235	010.100.48			
1120	41-46	22.5	1244	100	220	240	360	420	340	400	130	180	164	130	162	6048	6044	260	010.112.44
		25	1255	110	240	260	400	480	360	420	130	210	174	150	194	6052	6048	280	010.112.48
1250	46-52	25	1385	110	240	260	400	480	360	420	130	210	174	150	194	6052	6048	330	010.125.48
		28	1385	115	260	280	420	500	400	480	150	210	194	150	194	6056	6052	350	010.125.52

Tabla 2.7 Dimensiones de poleas con rodamientos.

2.3.3.1 SELECCIÓN DE POLEAS DE ACERO.

Las poleas de laminado diseñadas y construidas están provistas de rodamientos, perfectamente obturados con retenes especiales. En la ejecución de la polea se presta especial atención a la forma de la garganta. El radio de fondo ($r = 0.54 d$) condiciona en gran medida la vida del cable, que será máximo si hay un buen asentamiento del cable sobre la garganta de la polea.

El diámetro primitivo mínimo de una polea se determina verificando la relación:

$$D \geq d_1 h_1 h_2 \quad (2.3)$$

Siendo:

- D = diámetro de enrollamiento sobre las poleas, tambores o poleas de equilibrio contado desde el eje del cable.
- d_1 = diámetro del cable
- h_1 = coeficiente dependiente del grupo en el que está clasificado el mecanismo de elevación.
- h_2 = coeficiente de mayoración de h_1 (función del montaje).

h_2 Compensa el número de flexiones, de un cable en su peso por las poleas y el tambor. Este coeficiente definido por DIN 15020, no está contemplado en las nuevas normas FEM.

D = diámetro de enrollamiento sobre las poleas, tambores o poleas de equilibrio contado desde el eje del cable.

Los valores del coeficiente h_1 dependen del grupo en que este clasificado el mecanismo, y para tambores, poleas y poleas de equilibrio con cables normales y antigiratorios pueden verse en la tabla 2.8 [1].

GRUPO		CABLE NORMAL			CABLE ANTIGIRATORIO		
FEM	DIN	POLEA CABLE	POLEA COMPENSADORA	TAMBOR	POLEA DE CABLE	POLEA COMPENSADORA	TAMBOR
M3	1BM	16	12.5	16	18	14	16
M4	1AM	18	14	16	20	16	18
M5	2m	20	14	18	22.4	16	20
M6	3m	22.4	16	20	25	18	22.4
M7	4m	25	16	22.4	28	18	25
M8	5m	28	18	25	31.5	20	28

Tabla 2.8 Valores de coeficiente h_1 .

Para los tambores y poleas de equilibrio $h_2 = 1$ sea cual sea el tipo de montaje. Para las poleas, los valores del coeficiente h_2 dependen del número de poleas por las que pasa el cable y del número de inversiones del sentido de enrollamiento (curvaturas en S); las poleas de equilibrio no entran en el cómputo de flexiones.

Contaremos:

- $W=1$ para un tambor.
- $W=2$ para una poleas que no suponga inversión del sentido de enrollamiento en el recorrido del cable (flexión en igual sentido).
- $W=4$ para cada polea que produzca una inversión en el sentido de enrollamiento (curvatura en S), flexión en sentido contrario.
- $W=0$ para poleas de equilibrio.

Con el valor total W_{tot} obtenido sumando todos los W correspondientes a los diversos elementos se obtiene el valor de h_2 de la tabla 2.9 [1].

W_{tot}	≤ 5	6 a 9	> 10
h_2	1	1.12	1.25

Tabla 2.9 Valores del coeficiente h_2 .

Con los resultados obtenidos mediante la aplicación de las normas FEM se obtienen unos valores que admiten un diámetro de cable un 25% superior al diámetro mínimo del cable calculando siempre que el esfuerzo de tracción del cable no resulte superior al utilizado en el cálculo.

2.3.4 APAREJOS.

Los aparatos de elevación de media y alta capacidad, precian frecuentemente el paso múltiple del cable desde la parte superior de la carga hasta el propio aparato. En estas ocasiones, es necesario disponer de un apareo o elemento soporte de las poleas que tiene como finalidad evitar el aflojamiento del cable y estabilizar el movimiento de descenso del gancho sin carga útil.

Existen varias tipologías de aparejos, las configuraciones más utilizadas son;

Aparejos de traviesa única. Son aquellos en los cuales solo existe una traviesa que tiene la función doble de soportar las poleas y sujetara su vez el elemento de suspensión. Debido a su complejidad de fabricación hoy en día están ya en desuso. Son aparatos cortos y de poleas discontinuas.

Aparejos de doble traviesa. Son aquellos con dos traviesas, una para soportar el elemento de suspensión y otra para las poleas, ambas están unidas por unas placas. Dentro de los aparejos de doble traviesa podemos distinguir entre aparejos de poleas continuas y aparejos de poleas discontinua. La diferencia estriba en que en los aparejos de poleas continuas, están todas juntas.

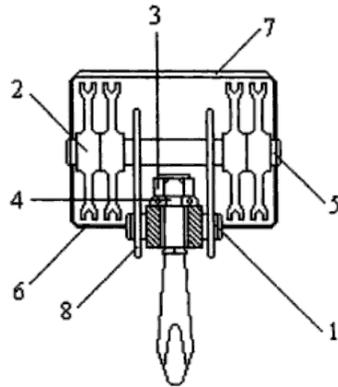


Fig. 2.20 Partes de un aparejo.

- | | | | |
|---|--------------------|---|--------------------|
| 1 | Travesía de gancho | 5 | Travesía de poleas |
| 2 | Poleas | 6 | Carter |
| 3 | Tuerca | 7 | Placa superior |
| 4 | Rodamiento | 8 | Placas de sujeción |

Dependiendo del número de ramales, el aparejo se compone de una o varias poleas. La tuerca del gancho esta fija por medio de una placa que se apoya sobre un soporte a través de un rodamiento axial. El gancho, así pues, puede orientarse fácilmente en vacío o en carga. La travesía del gancho está articulada en los extremos de manera que el gancho puede girar respecto a un eje horizontal cuya dirección coincide con la de la travesía principal.

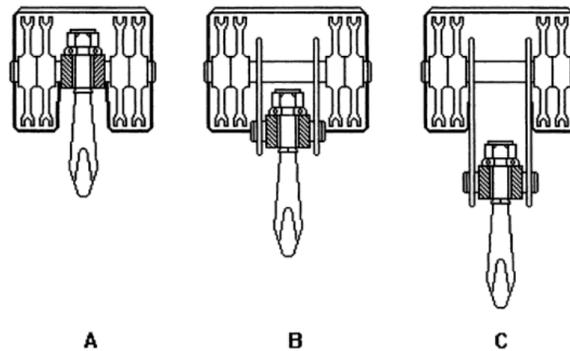


Fig. 2.21 Representación de aparejos de simple y doble travesía.

2.3.5 TAMBORES.

Los tambores de cables han de calcularse de modo que en la posición más alta del medio de transporte no pueda arrollar más capas de cable que las previstas.

Podemos dividir los tambores de elevación en dos grandes grupos:

- **De una capa:** el cable, normalmente ranurado, se enrolla solo en una capa. Son los tambores que generalmente se montan en los aparatos de elevación.
- **De varias capas de cable:** el cable se arrolla en capas sucesivas, normalmente son lisos. Utilizados solo en tambores de obras públicas, en las cucharas mecánicas y en los tambores de almacenamiento que se encuentran detrás de las poleas de fricción.

Los bordes de los tambores deben sobresalir por encima de la capa superior del cable arrollado no menos que dos diámetros del cable y los bordes de los tambores lisos para cadenas soldadas, no menos que la anchura del eslabón de la cadena.

Los tambores se fabrican generalmente, bien en fundición de hierro, de acero fundido, o en construcción de chapa de acero soldada. Son accionados directamente o, en el caso de grades tambores mediante corona dentada.

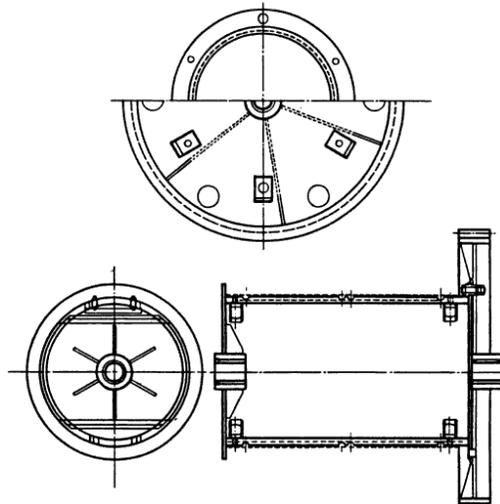


Fig. 2.22 Tambor de cable soldado.

2.3.6 MOTORES ELÉCTRICOS.

Los motores eléctricos empleados en máquinas de elevación son en su mayoría, trifásicos asíncronos de anillos rozantes. En algunos casos se emplean motores en corto y de corriente continua. Los motores síncronos están limitados a usos muy especiales, con grandes potencias y regulación electrónica compleja.

Los motores trifásicos son los más empleados. Su velocidad de sincronismo depende del número de pares de polos. Algunos tipos de motores trifásicos son:

De anillos rozantes: Puede ser regulada su velocidad por medio de resistencias retóricas o por equipos electrónicos. El margen de velocidad obtenida es inferior al conseguido con motores de corriente continua, pero son más compactos, baratos y fiables. El par máximo o par de calado es 2.5 a 3 veces el par nominal.

De colector: Pueden ser regulados decalando a mano las escobillas. Están totalmente fuera de uso.

De jaula de ardilla: se emplean en polipastos, puentes grúas pequeños, traslación de puentes, etc. Solo se emplean en accionamientos de poca potencia. Se conectan sin ningún tipo de regulación. Solo en traslación de puentes o pórticos se instalan arrancadores. Si se quisiera regular la velocidad se debería recurrir a un convertidor estático.

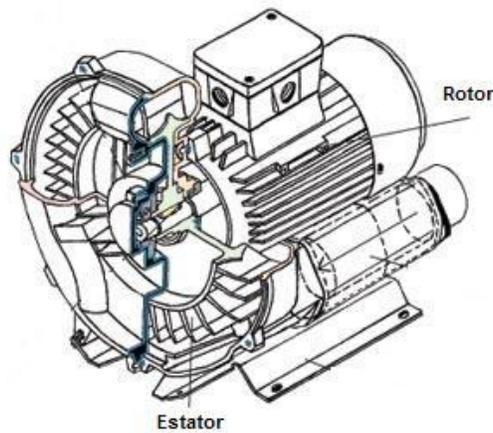


Fig. 2.23 Motor eléctrico.



FUNDAMENTO TEÓRICO

El tipo de motor se selecciona según el movimiento a realizar, la potencia, el margen de velocidades necesario y el índice de utilización.

Los motores de corriente continua se emplean en elevaciones y giros, con potencias elevadas e índices de utilización altos. Son imprescindibles para grandes márgenes de regulación.

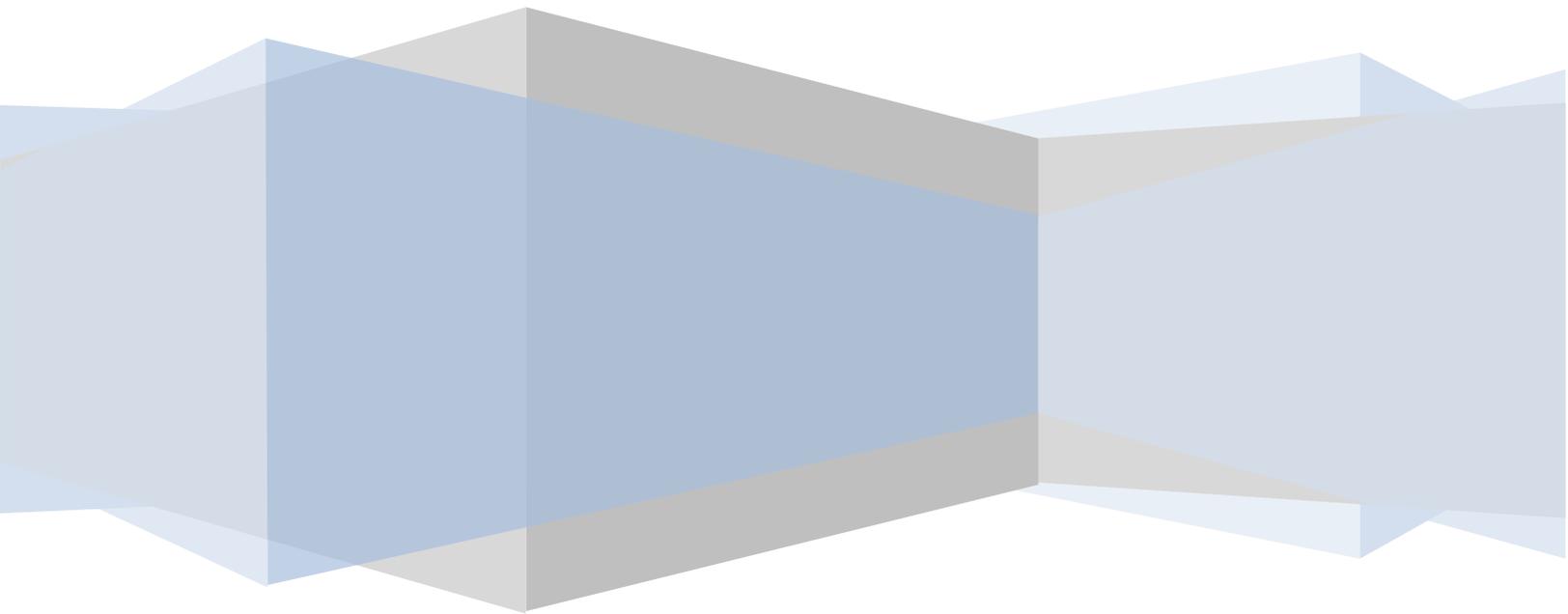
Los motores de jaula se emplean en traslaciones de puentes o pórticos. También se emplean en elevaciones de poca potencia sin variación de velocidad. Para variar la velocidad se recurre a transmisiones hidráulicas o a regulación electrónica en el estator.

Los motores más usados son los de anillos rozantes. El tipo de regulación varía según el tipo de accionamiento.

La potencia del motor, en general se debe procurar que el par resistente máximo no supere el 80% del par máximo que puede dar el motor y que la potencia nominal de este sea mayor o igual que la potencia efectiva que demanda el accionamiento.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA GRÚA



3.1 JUSTIFICACIÓN DE DISEÑO.

El diseño está basado en las grúas tipo pluma que hay en el mercado, pero adecuado a las características de la balsa y a las condiciones de carga. Las dimensiones de altura de la columna y longitud del brazo fueron consideradas de acuerdo a las necesidades a cubrir en el área de trabajo.

Como no siempre habrá necesidad de que la grúa este montada sobre la balsa todo el tiempo, se ha pensado en que sea de un fácil montaje y desmontaje. En el diseño también se considera la utilización de la estructura en tierra firme cuando no este sobre la balsa, aumentando a si su eficiencia.

La grúa está constituida por una columna fija, anclada a una cimentación, se optó por una forma circular para la columna porque nos ofrece el mismo momento de inercia en todos lados. La pluma estará montada sobre la columna, la cual se conformara por un perfil W, ya que es de fácil adquisición y podría usarse como riel para un polipasto cuando la estructura se use sobre tierra firme.

Dado que la carga máxima es alta y será elevada sobre una plataforma inestable cuando se esté operando sobre la grúa, no es recomendable que la grúa realice movimientos giratorios ni traslaciones sobre la viga ya que se podría perder control sobre la carga.

Por lo cual se consideró que solo realice movimientos de ascenso y descenso de la carga. Cuando se opere sobre tierra firme se podrá usar un polipasto que levante la carga y realiza un recorrido sobre la viga

Para la selección de las estructuras que forman la grúa se optó por utilizar elementos de dimensiones lo más pequeñas posibles, sin descuidar la seguridad por lo que se usó un factor de seguridad mínimo de 2. Las estructuras y materiales utilizados son de fácil adquisición y se encuentran disponibles en el mercado.

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y FÍSICAS DE LA Balsa.

La balsa está construida con placas de acero al carbono. Cuenta con una planta estructural sobre todo lo largo, tiene una capacidad de carga de 30 toneladas.

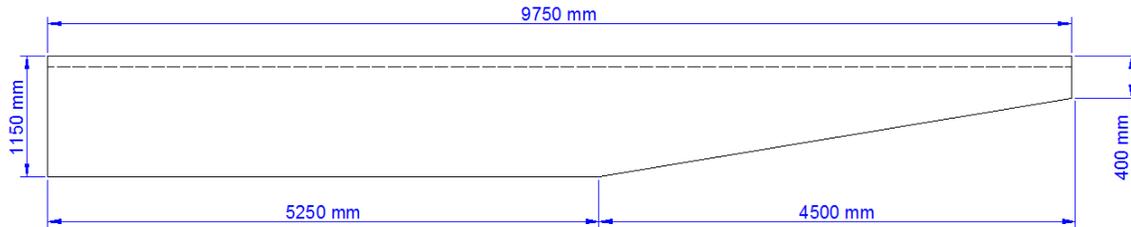


Fig. 3.1 Vista Lateral.



Fig. 3.2 Vista Frontal.



Fig. 3.3 Vista superior.

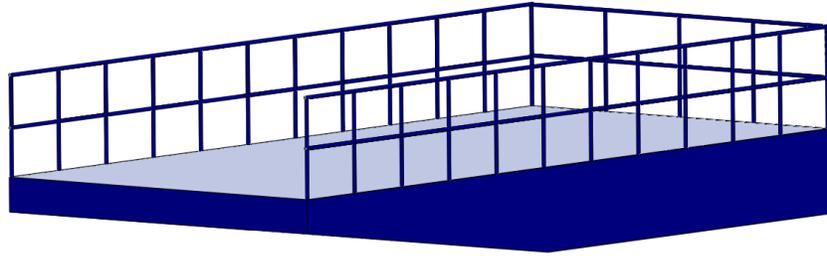


Fig. 3.4 Modelado en Solid Works de la balsa.

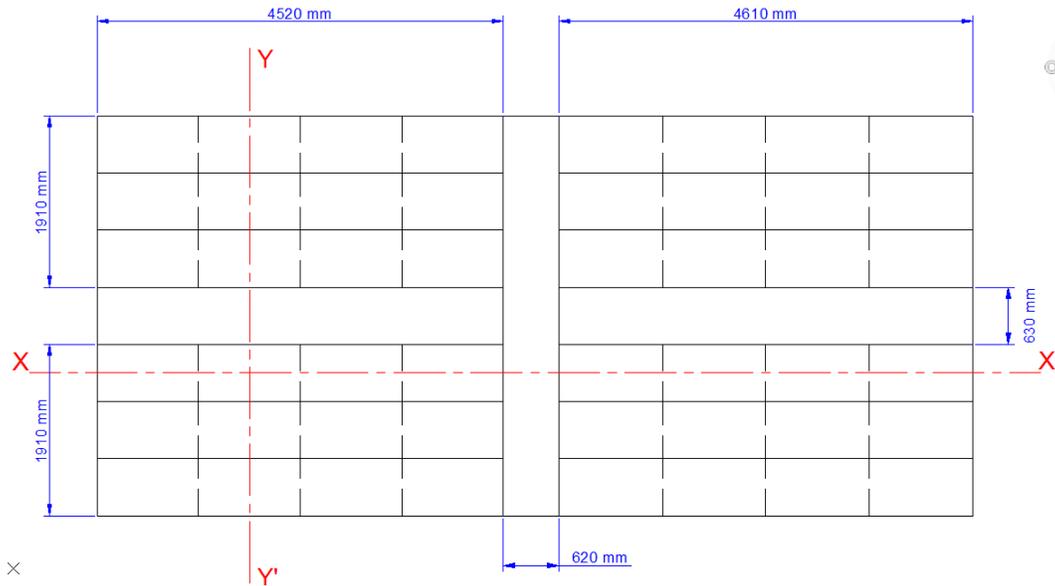


Fig. 3.5 Planta estructural.

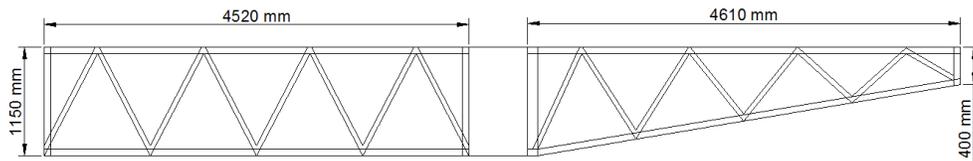


Fig. 3.6 Vista corte X-X'.

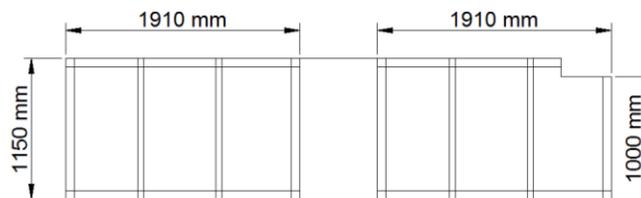


Fig. 3.7 Vista corte Y-Y'.

3.3 PRESTACIONES DE LA GRÚA.

3.3.1 DIMENSIONES PRINCIPALES.

Las dimensiones de la grúa han sido seleccionadas de acuerdo a las necesidades que se deben cubrir y de acuerdo a las condiciones de la balsa.

En la altura útil se toma en cuenta la altura de la columna y de las placas de acoplamiento, el alcance máximo es medido desde el eje de la columna hasta el extremo del brazo.

La grúa se encontrará localizada a 2500 mm de la borda de la balsa tomando como referencia el eje de la columna.

Altura útil	3538.1 mm
Altura total	4081.1 mm
Alcance máximo	4825 mm
Longitud total del brazo	5000 mm

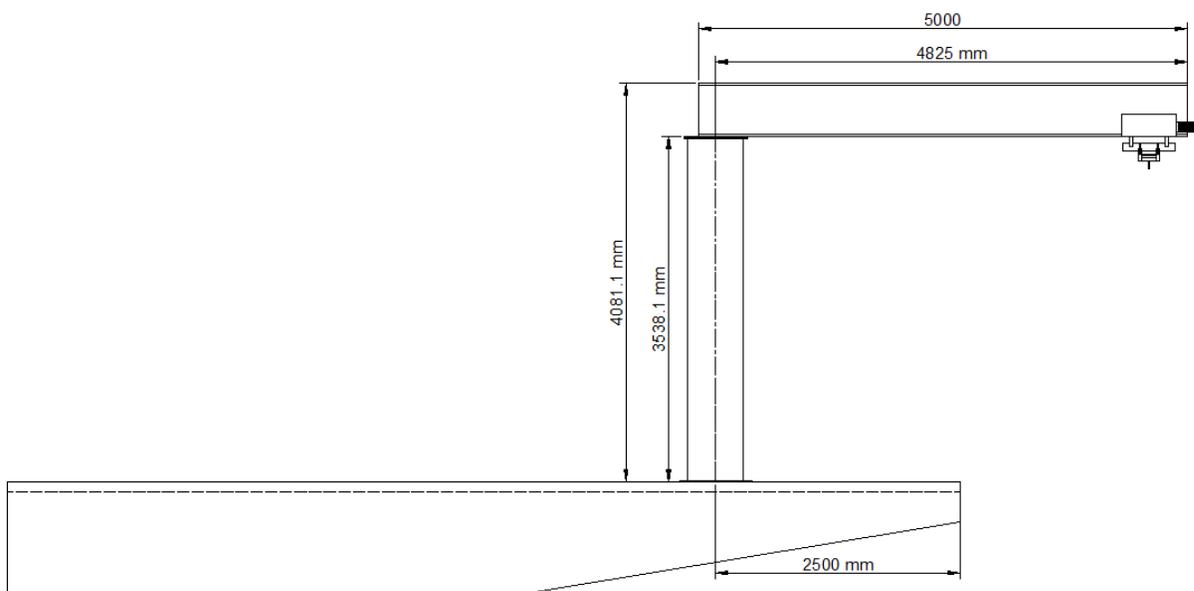


Fig. 3.8 Dimensiones principales de la grúa.

3.3.2 MOVIMIENTOS.

La grúa está restringida a realizar solo movimientos de ascenso y descenso de carga cuando opere sobre la balsa.

Cuando la grúa opere sobre tierra firme podrá realizar movimientos de ascenso y descenso de la carga, así como realizar movimientos de traslación sobre el brazo previo una adaptación de un polipasto.

3.3.3 CAPACIDAD DE CARGA.

La carga máxima es de 15,000 Kg, la capacidad de carga que se le exige a la grúa es variable con una frecuencia igual de cargas pequeñas, medianas y grandes.

3.3.4 VIDA ESPERADA.

Se espera una duración de 10 años, contando una utilización anual de 200 días y 3 horas de trabajo por día. Esta estimación tiene en cuenta que no todos los días laborales son de trabajo, y días en que se dará mantenimiento a la grúa o a la balsa. De todo ello resulta una vida de 6,000 horas.

3.3.5 CLASIFICACIÓN DEL APARATO.

Las solicitaciones existentes sobre una estructura de un aparato de elevación se van a calcular mediante la normativa de la Federación Europea de la Manutención (FEM). El presente método de obtención de solicitaciones es aplicable a aparatos de elevación correspondientes a la sección I de la FEM.

Vida del mecanismo estimada en horas: 6,000 horas.

De la tabla 2.1 vemos que entra dentro del grupo D.

Debido a que a la grúa será sometida a una frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas de la tabla 2.2 obtenemos un factor $K=0.500$.

Observando la tabla 2.3 con el factor K obtenido previamente:

Clasificación FEM: M6

3.4 ESTRUCTURA.

3.4.1 PLUMA.

La pluma está dividida en dos partes, la parte de viga de perfil W y la placa de acero al carbono circular sobre la que esta soldada la viga, que servirá de unión con la columna mediante tornillos. Tiene un peso total de 783.34 kg y está fabricada de acero estructural.

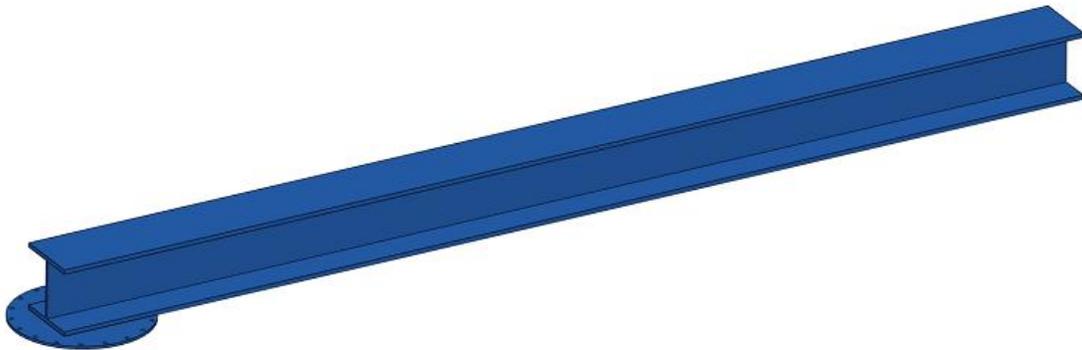


Fig. 3.9 Modelado en Solid Works de la pluma.

La parte principal de la pluma es un perfil $W530X150$ fue seleccionado para resistir a los esfuerzos que será sometido cuando la grúa esté operando utilizando un factor de seguridad de 2, tiene una longitud total de 5 metros y un peso de 750 kg y se encuentra soldado sobre una placa circular.

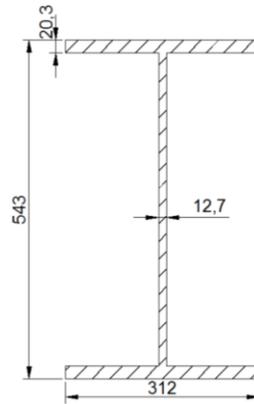


Fig. 3.10 Sección transversal del perfil.

La placa circular es de un diámetro de 650 mm, tiene un peso aproximado de 33.34 kg, y un espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada. Tiene alrededor 15 barrenos de 20 mm de diámetro.

3.4.2 COLUMNA.

La columna se trata principalmente de un tubo de acero estructural de 570 mm de diámetro exterior y un diámetro interior de 520 mm que soportara correctamente el peso de la pluma, la carga, los elementos de suspensión y su propio peso. El peso total de la columna es de 1251.39 Kg.



Fig. 3.10 Modelado en Solid Works de la columna.

La altura de tubo es de 3.5 metros y en la parte superior tiene soldada una placa circular de 650 mm y un espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada, con 15 barrenos de 20 mm alrededor para acoplarse con la placa circular de la columna mediante tornillos. En la parte inferior tiene soldada una placa base de 730 mm y $\frac{1}{2}$ de espesor para poder ser montada sobre una base, tiene 20 barrenos de 20 mm alrededor.

Para la selección del tubo se utilizó el catálogo de los fabricantes PROTUBSA que tienen dentro de sus productos una gran variedad de tubos estructurales de diferentes diámetros (ver Anexo L).

Se ha dado rigidez a la unión de las superficies de acoplamiento de la columna con la pluma mediante cartelas en la placa circular superior de la columna.

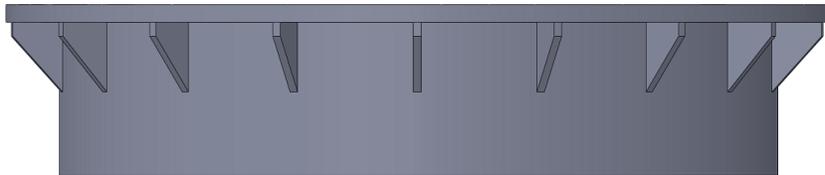


Fig. 3.11 Cartelas superiores.

La parte inferior de la columna también se ha reforzado mediante cartelas entre el tubo y la placa base, para aumentar la resistencia al momento flector producido en la base.

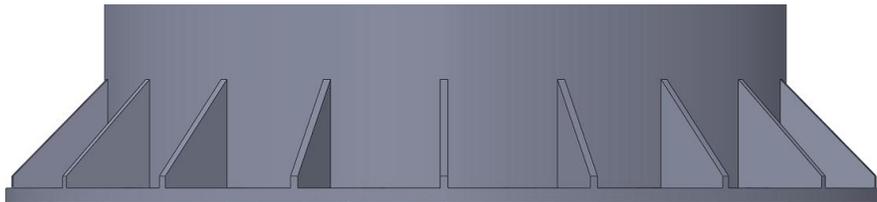


Fig. 3.12 Cartelas inferiores.

3.4.3 ANCLAJE.

Para el anclaje de la grúa con la balsa se requerirá soldar una placa de 860mm X 445mm y $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor la cual lleve 18 barrenos de 20 mm de diámetro para unir la columna con la balsa mediante tornillería. Esto con el propósito dar una mayor solides al piso de la balsa, ya que este no soportara por si solo los esfuerzo generados cuando la grúa opere.

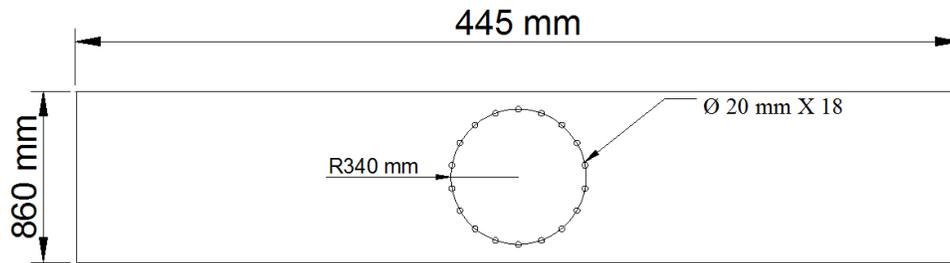


Fig. 3.13 Base de anclaje.

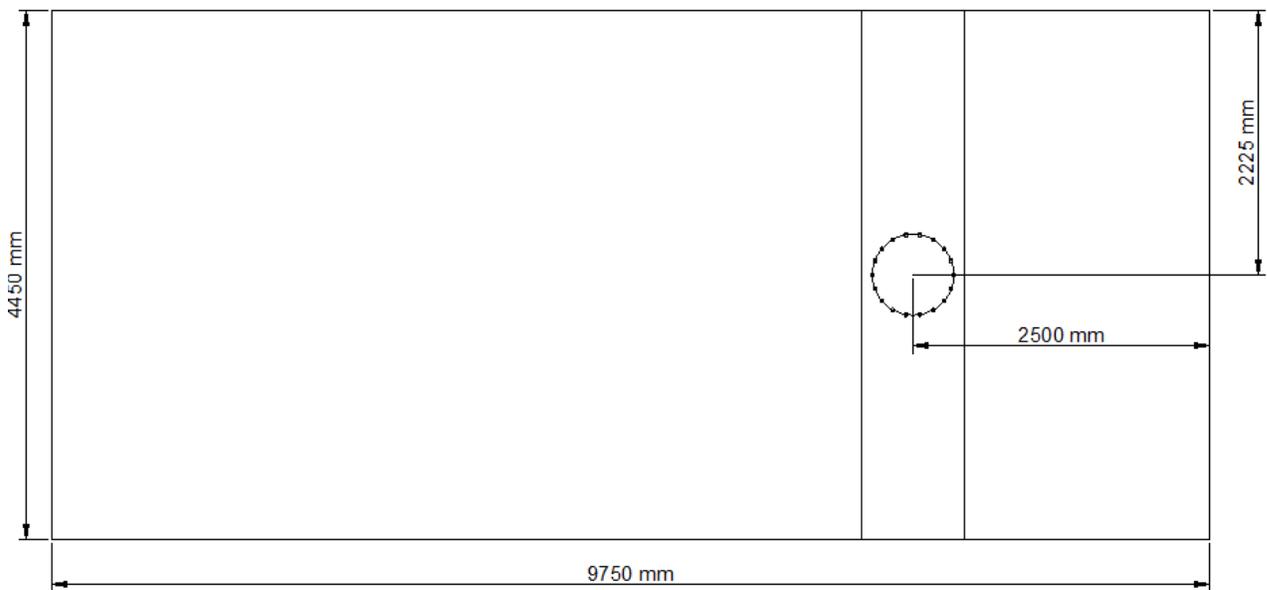


Fig. 3.14 Posición de la base respecto a la grúa.

3.4.4 MONTAJE.

El diseño de grúa permite un ensamblaje sencillo, pero se requiere tener cuidado en cuanto a la nivelación de la columna y de la pluma.

Lo primero a montar será la columna ya sea sobre la balsa o sobre tierra firme, se deberá de sujetar con los 18 tornillos M20 sobre la base en la balsa previamente instalada, cuidando que el eje de la columna forme un ángulo de 90° con respecto al piso. La parte por donde sobre sale la viga debe de apuntar hacia la borda para que sea instalada.

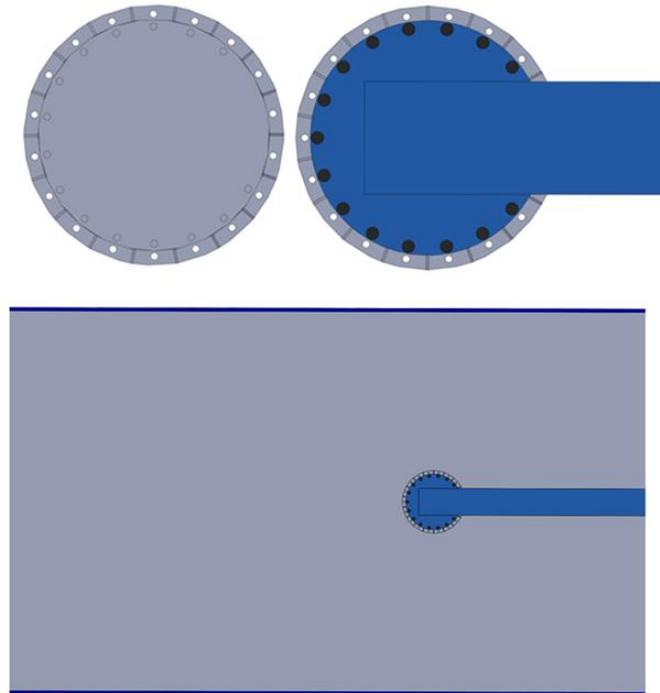


Fig. 3.13 Posición de la columna respecto a la balsa.

Una vez montada la columna se procederá a montar la pluma, verificando que los barrenos de la placa circular de la columna coincidan con los de la placa circular de la pluma. Se procederá a atornillar los 15 tornillos y se cuidara la nivelación haciendo que el eje horizontal de la pluma forme un ángulo de 90° con respecto al eje vertical de la columna.

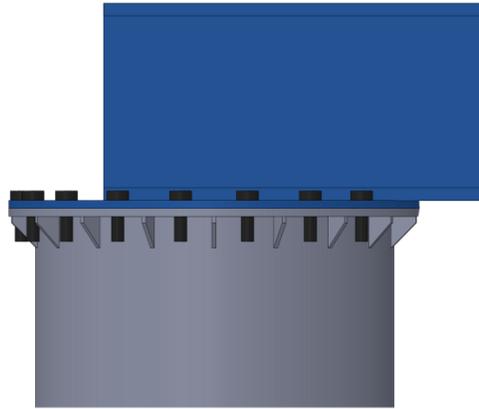


Fig. 3.14 Unión entre la columna y la viga.

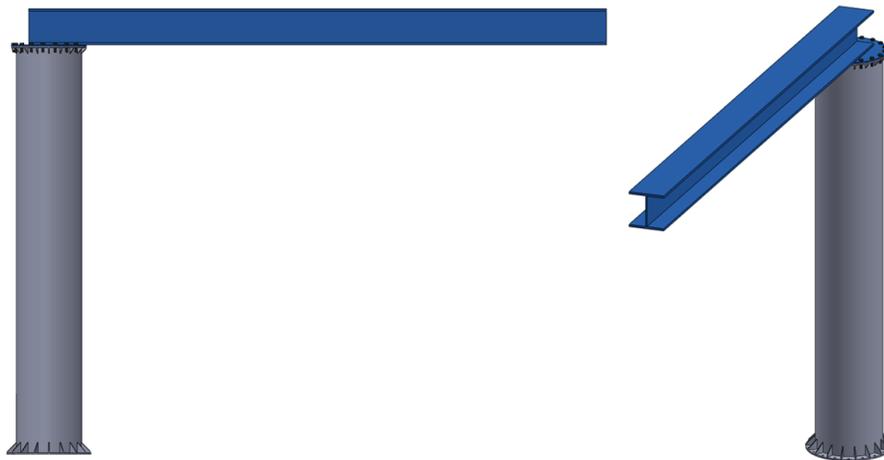


Fig. 3.14 Grúa instalada

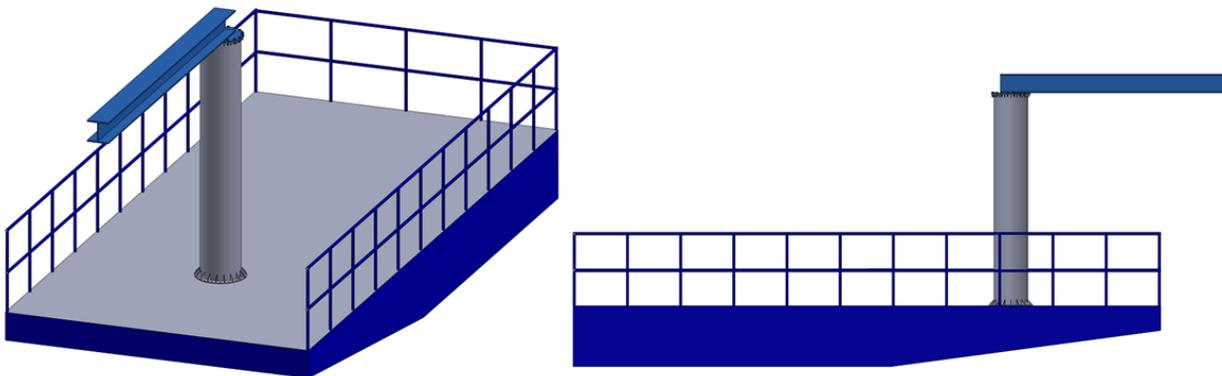


Fig. 3.15 Grúa instalada sobre la balsa

3.5 ELEMENTOS DE SUSPENSIÓN.

3.5.1 GANCHO.

La selección del gancho se ha basado en la norma DIN 15401 (ver tabla 2.4).

No. De gancho: 16

Peso: 110 Kg

Carga máxima: 16,000 Kg

3.5.2 CABLE.

El cable a utilizar es de un calibre de 22 mm, con la característica de ser un cable antigiratorio $35 \times 7 + 0$ para una mayor seguridad al momento de izar la carga. Tiene un peso de 1.94 Kg/m y cada alambre que constituye el cable tiene un diámetro de 1.07 mm. Se le calcula una vida estimada de 38.354.9 flexiones sobre el tambor.

El cable fue seleccionado del catálogo del fabricante TECHNO.

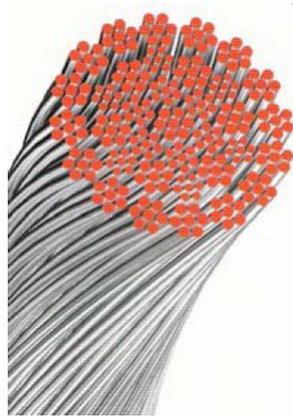


Fig. 3.16 Cable a utilizar marca TECHNO.

3.5.3 POLEA.

Se optó por utilizar poleas con rodamientos de bolas, en el cálculo de la polea se obtuvo un diámetro exterior necesario de 616 mm, normalizando este valor se seleccionó uno de la tabla 2.7 de 630 mm.

El espesor de la llanta de la polea requerido es de 8 mm y el espesor de los radios requerido es 10 mm.

Diámetro Exterior: 630 mm

Diámetro interior: 100 mm

3.5.4 MOTOR ELÉCTRICO.

El motor eléctrico seleccionado es de la marca ABUS de la serie GM500 la cual tiene una gran variedad de productos en cuanto a motores eléctricos para grúas.



Fig. 3.17 Motor eléctrico marca ABUS

Su composición es compacta lo cual permite un mayor aprovechamiento de espacio, incluye un tambor donde se instalara el cable y una polea de apoyo para un arreglo de aparejo de 4 ramales. Cuenta con freno de seguridad incluido.

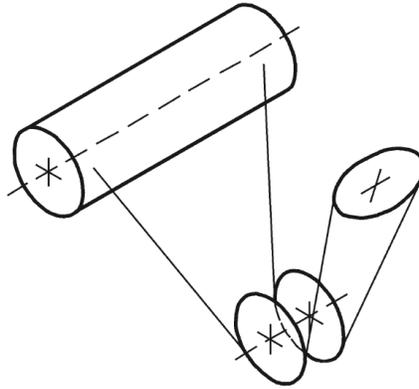


Fig. 3.18 Aparejo con cuatro ramales

La capacidad de carga máxima que puede elevar es de 16,000 Kg y se le puede adaptar ruedas para que realice traslados de la carga sobre la pluma.

3.6 MANTENIMIENTO

3.6.1 MANTENIMIENTO DE LA ESTRUCTURA.

La estructura se ha de pintar con pintura anticorrosiva cada año como medida de prevención. Se deberá realizar una inspección al año para observar el estado de la estructura, así como el estado de los tornillos de unión.

Se debe de revisar el estado de la barcaza, observar que la planta estructural este en buen estado y no comprometa el funcionamiento de la grúa.

3.6.2 MANTENIMIENTO AL CABLE DE ACERO.

En general el mantenimiento se concreta a operaciones de limpieza y engrase. Para el engrase es conveniente proceder previamente a una limpieza a fondo y seguidamente engrasarlo por riego al paso por una polea, pues se facilita la penetración en el interior del cable.

Por la incidencia que tiene el engrase respecto a la duración del cable es conveniente seguir las instrucciones del fabricante y utilizar el lubricante recomendado.

La sustitución de un cable debe efectuarse al apreciar visiblemente:

- Rotura de un cordón.
- Formación de nudos.
- Cuando la pérdida de sección de un cordón del cable, debido a rotura de sus alambres visibles en un paso de cableado alcance el 40% de la sección total del cordón.
- Cuando la disminución de diámetro del cable en un punto cualquiera del mismo alcance el 10% en los cables de cordones o el 3% en los cables cerrados.

3.6.3 MANTENIMIENTO AL MOTOR ELÉCTRICO.

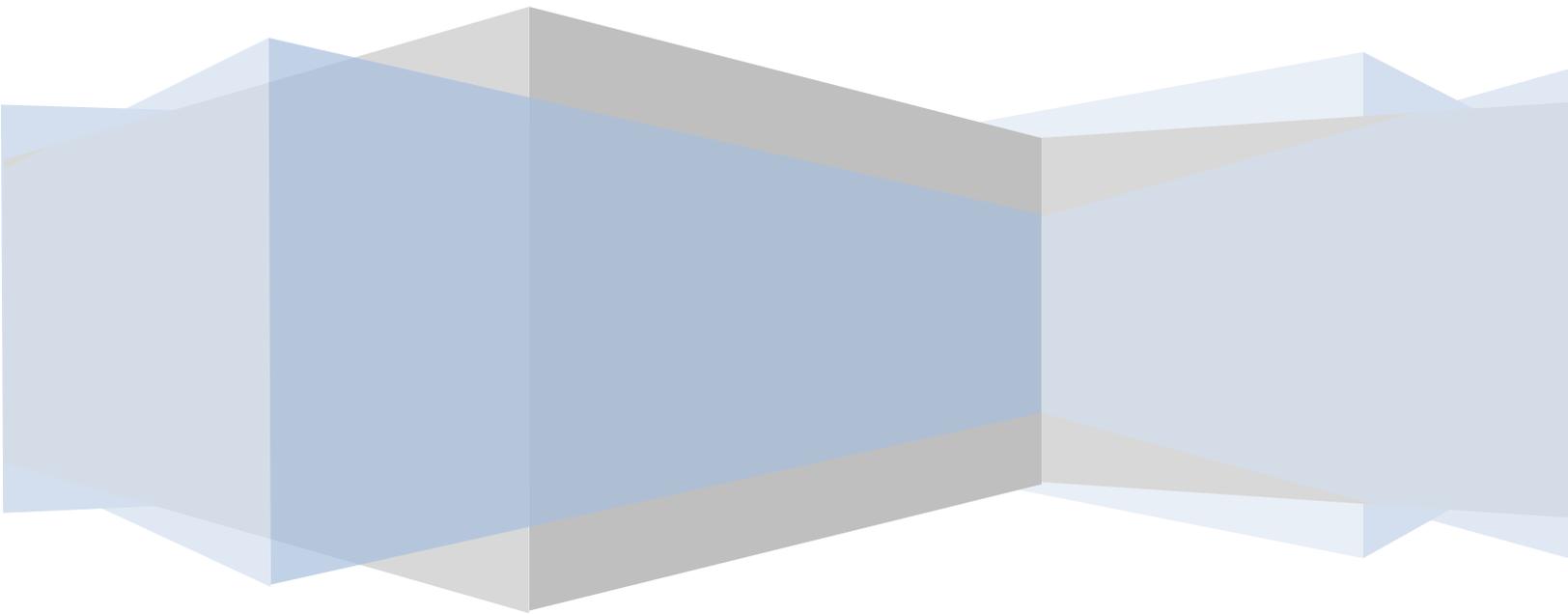
Se revisara su buen funcionamiento así como sus componentes principales. Deberá de estar aislado del polvo y la lluvia en lo mayor posible

3.6.4 RECOMENDACIONES.

1. No se debe sobrecargar la grúa. Se deben respetar las capacidades para la cual fue diseñada.
2. Cuando se vayan a iniciar las maniobras para levantar una carga con la grúa, se debe hacer despacio y si se observa algún daño en el cableado o cualquier parte del sistema de soporte, se debe suspender la maniobra y reportarlo al jefe inmediato
3. No se debe permanecer o transitar bajo cargas suspendidas.
4. Ante de iniciar la maniobra de izamiento, se debe nivelar y asegurar la carga.
5. Al maniobrar con objetos pesados, se hará a baja velocidad evitando los movimientos bruscos.
6. El operador debe mantenerse alerta del movimiento de personas, equipo, materiales, etc., que lo rodean.
7. Al operar la grúa, se debe evitar cualquier distracción estando siempre atento a la maniobra.
8. Siempre se debe de revisar que se encuentre en buen estado los estrobos o eslingas, grilletes y cáncamo, verificando que se encuentre estos al calibre y Angulo adecuado a la carga que se izara.

CAPÍTULO IV

MEMORIA DE CÁLCULO



4.1 CABLE

4.1.1 CALCULO DEL DIÁMETRO.

Peso de la carga:

$$Q_u = 15000 \text{ kg} = 147150 \text{ N}$$

Peso del gancho:

$$Q_{es} = 110 \text{ kg} = 1079.1 \text{ N}$$

Calculamos la tracción máxima en el cable mediante la ecuación 2.1.

$$S = \frac{Q_u + Q_{es}}{i \times n}$$

Para una relación del aparejo de 4 ramales:

$$i = 4$$

De la tabla 2.6

$$n = 0.97$$

Sustituyendo valores

$$S = \frac{147150 \text{ N} + 1079.1 \text{ N}}{4 \times 0.97} = 38203.3762 \text{ N} = 3820.3376 \text{ daN}$$

De la tabla 2.5:

$$K_c = 0.335$$

Calculamos el diámetro mínimo del cable mediante la norma DIN (ecu: 2.2)

$$d = K_c \sqrt{S}$$

Sustituimos valores:

$$d = 0.335 \sqrt{3820.3376} = 20.7059 \text{ mm}$$

Estandarizando el valor:

$$\therefore d = 22 \text{ mm}$$

4.1.2 VIDA ESTIMADA DEL CABLE.

Usando la ecuación de G. Niemman:

$$W = \frac{170000}{n} \left(10 * b_1 * b_2 * \frac{\frac{D}{d} - \frac{9}{b_1}}{\sigma_e + 40} \right) \quad (5.1)$$

W es el número de flexiones (plegado sobre la polea y desplegado), que puede soportar el cable antes de romperse. EL valor W suele estar comprendido para grúas pequeñas y polipastos entre 30000 flexiones

$$D_{Polea} = D = 630 \text{ mm}$$

$$d_{cable} = d = 22 \text{ mm}$$

b_1 = Coeficiente de forma de garganta

Para un cable cruzado:

$$b_1 = 1$$

b_2 = Coeficiente de forma del cable

Para un cable cruzado

$$b_2 = 1.04$$

n = coeficiente de sentido de la flexión

Para una flexión en el mismo sentido

$$n = 1$$

Calculamos el esfuerzo normal en el cable σ_e

$$\sigma_e = \frac{Q_u + Q_{es}}{4A} = \frac{147150 \text{ N} + 1079.1 \text{ N}}{4 \times \frac{\pi(22\text{mm})^2}{4}} = 97.4851 \text{ N/mm}^2$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.1

$$W = \frac{170000}{1} \left(10 \times 1 \times 1.04 \times \frac{\frac{630}{22} - \frac{9}{1}}{97.4851 + 40} \right) = 375082.2082 \text{ flexiones}$$

Como $375082.2082 > 150000$ el cable está bien calculado

4.2 POLEA.

4.2.1 DIÁMETRO DE LA POLEA.

Para el diámetro primitivo usamos la ecuación 2.3

$$D \geq d_1 h_1 h_2$$

El aparato según la norma FEM está dentro del grupo M6. Para este grupo, y sabiendo que se usara un cable antigiratorio según la tabla 2.8:

$$h_1 = 25$$

Para h_2 calculamos el parámetro W_{Tot} buscando en la tabla 2.9

$W_1 = 1$ Por pasar por un tambor.

$W_2 = 6$ Por pasar por tres poleas con flexión en el mismo sentido.

$$W_{Tot} = W_1 + W_2 = 7$$

Por lo tanto $h_2 = 1.12$

$$d_1 = \text{diametro del cable} = 22 \text{ mm}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.3:

$$D \geq 22 \text{ mm} \times 25 \times 1.12$$

$$D \geq 616 \text{ mm}$$

Estandarizando este valor (Tabla 2.7 Polea con rodamiento de bolas)

$$\therefore D = 630 \text{ mm}$$

4.2.2 ESPESOR DE LA LLANTA.

De la tabla 2.7

$$d_2 = 700 \text{ mm}$$

$$b = 60 \text{ mm}$$

$$d_6 = 265 \text{ mm}$$

$N=4$ (Número de ramales)

Número de radios = 8

Espesor estimado = $e = 8 \text{ mm}$

$$\text{Ángulo entre ramales} = \gamma = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

$$\text{Carga por ramal} = S = \frac{Q_U + Q_{es}}{N} = \frac{147150 \text{ N} + 1079.1 \text{ N}}{4} = 37057.275 \text{ N}$$

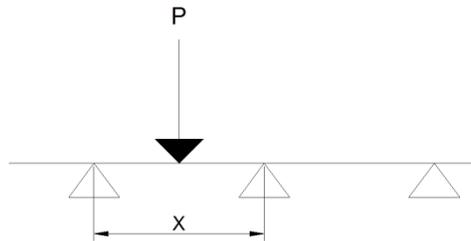


Fig. 5.1

Calculamos la distancia X y la carga P (Figura 5.1)

$$X = \frac{\pi D_1}{8} = \frac{\pi \times 630 \text{ mm}}{8} = 247.40 \text{ mm}$$

Para la carga P usamos la siguiente ecuación:

$$P = 2 \times S \times \text{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (5.2)$$

$$P = 2 * 37057.275 \text{ N} * \text{sen}\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = 28362.4103 \text{ N}$$

$$M_f = \frac{PX}{16} = \frac{28362.4103 \text{ N} \times 247.40 \text{ mm}}{16} = 438553.7693 \text{ N} * \text{mm}$$

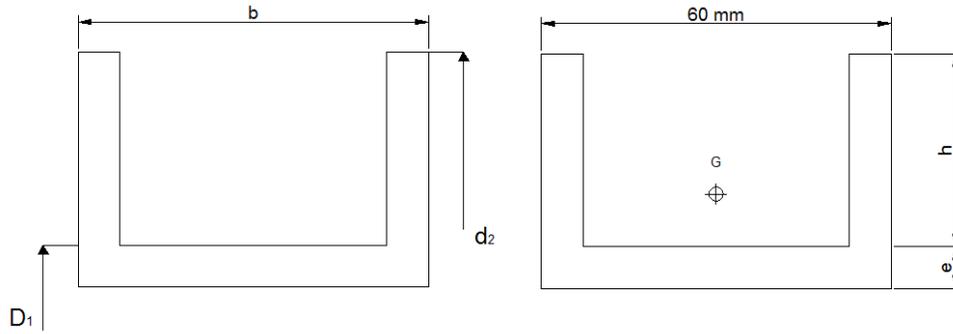


Fig. 5.2

Calculamos la distancia h (Figura 5.2)

$$h = \frac{d_2 - D_1}{2} = \frac{700 - 630}{2} = 35 \text{ mm}$$

Recordando:

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} \quad (5.2)$$

$$\tau = \frac{P}{2 \cdot A_C} \quad (5.3)$$

$$A_C = (43 \text{ mm})(8 \text{ mm})(2) = 688 \text{ mm}^2$$

Calculando el momento de inercia por medio del Teorema de Steiner

$$I = I_G + AZ^2 \quad (5.4)$$

$$h_G = \frac{\sum h_i A_i}{\sum A_i} = \frac{(21.5)(43 \times 8 \times 2) + (4)(44 \times 8)}{(43 \times 8 \times 2) + (44 \times 8)} = 15.577 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12} \{ [8 \text{ mm} \times (43 \text{ mm})^3 \times 2] + [44 \text{ mm} \times (8 \text{ mm})^3] \} \\ + (8 \text{ mm} \times 43 \text{ mm} \times 2)(21.5 \text{ mm} - 15.577 \text{ mm})^2 \\ + (44 \text{ mm} \times 8 \text{ mm})(4 \text{ mm} - 15.577 \text{ mm})^2$$

$$I = 179200.5128 \text{ mm}^4$$

Calculo del modulo de sección.

$$W = \frac{I}{h_{cgmax}} = \frac{179200.5128 \text{ mm}^4}{43 \text{ mm} - 15.577 \text{ mm}} = 6534.6793 \text{ mm}^3$$

De la ecuación 5.2

$$\sigma_f = \frac{438553.7693 \text{ N} \times \text{mm}}{6534.6793 \text{ mm}^3} = 67.1117 \text{ N/mm}^2$$

De la ecuación 5.3

$$\tau = \frac{28362.4103 \text{ N}}{2 \times 688 \text{ mm}^2} = 20.6122 \text{ N/mm}^2$$

Según el criterio de Von Mises:

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(67.1117 \text{ N/mm}^2)^2 + (3)(20.6122 \text{ N/mm}^2)^2} = 76.0168 \text{ N/mm}^2$$

Para un Acero ASTM A-36 su esfuerzo ultimo: $\sigma_{ult} = 250 \text{ MPa}$

De $\sigma_{equ} = \frac{\sigma_{ult}}{F.S.}$ despejamos $F.S.$

$$\therefore F.S. = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{equ}} = \frac{250 \text{ N/mm}^2}{76.0168 \text{ N/mm}^2} = 3.42$$

Un espesor $e = 8 \text{ mm}$ nos otorga un factor de seguridad de 3.28 lo cual es aceptable

4.2.3 ESPESOR DE LOS RADIOS.

Por diseño consideraremos:

$$b = h = 35 \text{ mm}$$

Espesor propuesto:

$$e_2 = 10 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(35 \text{ mm})(10 \text{ mm})^3 = 2916.667 \text{ mm}^4$$

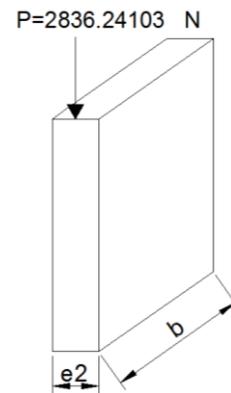


Fig. 5.3

$$A = (10 \text{ mm})(35 \text{ mm}) = 350 \text{ mm}^2$$

$$\text{Radio de giro } K = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{2916.667 \text{ mm}^4}{350 \text{ mm}^2}} = 2.886 \text{ mm}$$

$$L = \frac{D_1 - d_6}{2} - e = \frac{630 \text{ mm} - 265 \text{ mm}}{2} - 8 \text{ mm}$$

$$L = 174.5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L}{K} = \frac{174.5 \text{ mm}}{2.886}$$

$$\sigma = \frac{Pw}{A} \quad (5.5)$$

$w = \text{Factor de pandeo}$

De la tabla de pandeo $w = 1.23$ Anexo F

Sustituyendo datos en la ecuación 5.6:

$$\sigma = \frac{(28362.4103 \text{ N})(1.23)}{350 \text{ mm}^2} = 99.6736 \text{ N/mm}^2$$

$$F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{99.6736 \text{ N/mm}^2} = 2.508$$

Un espesor $e_2 = 10 \text{ mm}$ nos otorga un factor de seguridad de 2.608 lo cual es aceptable.

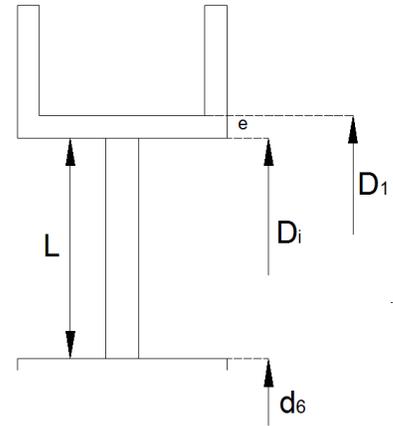


Fig. 5.4

4.3 APAREJO.

4.3.1 CALCULO DE LA TRAVIESA DE POLEAS.

Peso del gancho:

$$Q_g = 110 \text{ Kg} = 1079.1 \text{ N} \text{ (tabla 2.4)}$$

Diámetro de la caña del gancho:

$$d_3 = 80 \text{ mm} \text{ (tabla 2.4)}$$

$$Q = 15,000 \text{ Kg} = 147150 \text{ N}$$

$$Q_T = Q_g + Q = 148229.1 \text{ N}$$

Diámetro interno de la polea:

$$d = 100 \text{ mm} \text{ (tabla 2.7)}$$

Ancho de la garganta:

$$l = 150 \text{ mm} \text{ (tabla 2.7)}$$

Acero ASTM – A992

$$\tau = 145 \text{ MPa} \text{ (fluencia)}$$

$$\sigma = 250 \text{ MPa} \text{ (fluencia)}$$

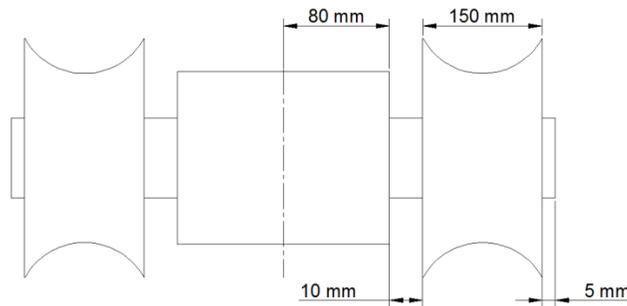


Fig. 5.5

Comprobación de esfuerzos cortantes en el eje:

$$A = \frac{\pi(100 \text{ mm})^2}{4} = 7854 \text{ mm}^2 = 7.854 \times 10^3 \text{ m}^2$$

$$\tau = \frac{Q_T}{2A} = \frac{148229.1 \text{ N}}{(2)(7.854 \times 10^3 \text{ m}^2)} = 9436535.523 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 9.436 \text{ MPa}$$

9.436 MPa < 145 MPa El diámetro es válido.

Comprobación a flexión y cortadura

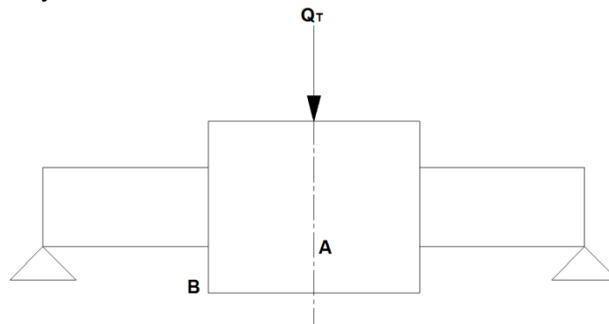


Fig. 5.6

Diagrama de cortante y de momento (Fig. 5.7)

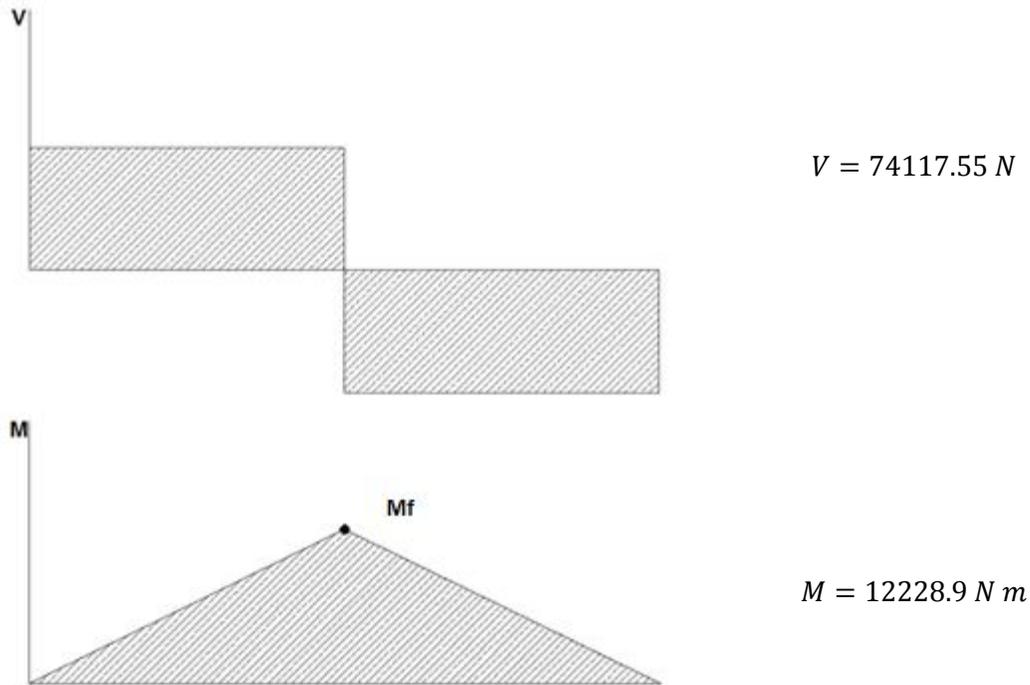


Fig. 5.7

Hay que comprobar la tensión en el punto de mayor momento flector (A) y en el de cambio de sección (B).

La sección central debe cumplir ciertos requerimientos. Las dimensiones a debe ser igual a la de b , y mayor que el diámetro del eje, que es el mismo que el diámetro interior de las poleas (en este caso 100 mm) o mayor que el diámetro de caña del gancho (en este caso 80 mm).

$$a > 100 \text{ mm}$$

$$b > 80 \text{ mm}$$

$$a = b = 110 \text{ mm}$$

$$e = \frac{110 \text{ mm} - 80 \text{ mm}}{2} = 15 \text{ mm}$$

$$A_a = (2)(110 \text{ mm})(15 \text{ mm}) = 3300 \text{ mm}^2$$

$$A_a = 3.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_b = \frac{(\pi)(100 \text{ mm})^2}{4} = 7853.98 \text{ mm}^2$$

$$A_b = 7.8539 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

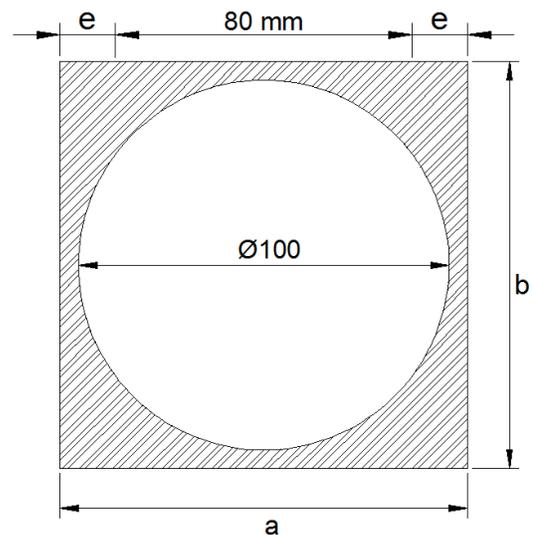


Fig. 5.8

$$S_a = \frac{1}{12} (15 \text{ mm})(110 \text{ mm})^3 (2) = 60500 \text{ mm}^3 = 60.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S_b = \frac{(\pi)(100 \text{ mm})^3}{32} = 98174.77 \text{ mm}^3 = 98.1747 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$M_a = (74117.55 \text{ N}) \left(0.245 \text{ m} - \frac{0.150 \text{ m}}{2} - 0.005 \text{ m} \right) = 12228.9 \text{ Nm}$$

$$M_b = (74117.55 \text{ N}) \left(0.010 \text{ m} + \frac{150 \text{ m}}{2} \right) = 6299.736 \text{ Nm}$$

$$\sigma_a = \frac{M_a}{S_a} = \frac{12228.9 \text{ Nm}}{60.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_a = 202.130 \text{ MPa}$$

$$\tau_a = \frac{Q_T}{2A_a} = \frac{148229.1 \text{ N}}{(2)(7.8539 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_a = 22.458 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{202.130 \text{ MPa}^2 + 3(22.458 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{equivalente} = 205.838 \text{ MPa}$$

$$\therefore 205.838 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{S_b} = \frac{6299.736 \text{ Nm}}{98.1747 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\sigma_b = 64.168 \text{ MPa}$$

$$\tau_b = \frac{Q_T}{2A_b} = \frac{148229.1 \text{ N}}{(2)(7.8539 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}$$

$$\tau_b = 9.436 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{equivalente} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau_b^2} = \sqrt{64.168 \text{ MPa}^2 + 3(9.436 \text{ MPa})^2}$$

$$\sigma_{equivalente} = 66.216 \text{ MPa}$$

$$\therefore 66.216 \text{ MPa} < 250 \text{ MPa}$$

4.4 PLUMA.

4.4.1 SELECCIÓN DE PERFIL.

Para la selección del perfil consideraremos la pluma como una viga empotrada (Fig. 5.5).

$$Q = 15 \text{ Ton} = 147150 \text{ N}$$

$$Q_S = 450 \text{ Kg} = 4414.5 \text{ N} \text{ (Elementos de suspensión)}$$

$$Q_T = 151564.5 \text{ N}$$

$$F.S. = 2$$

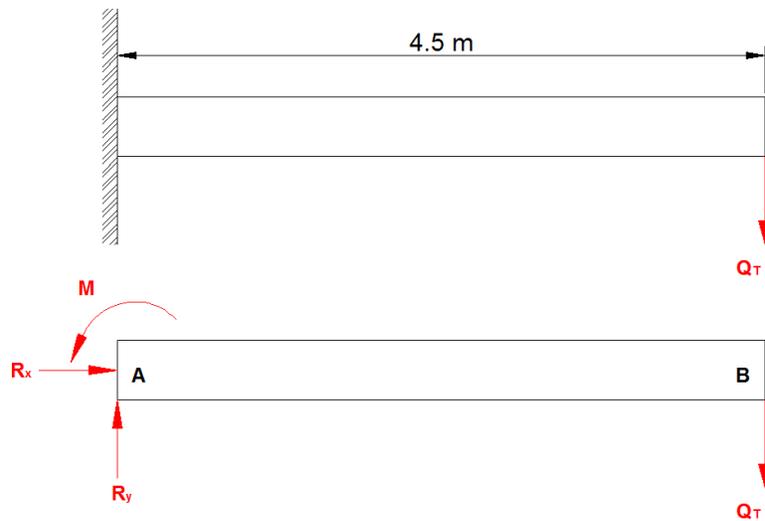


Fig. 5.9

Reacciones:

$$\sum F_X = 0:$$

$$\therefore R_X = 0$$

$$\sum F_Y = 0: R_Y - 151564.5 \text{ N} = 0$$

$$\therefore R_Y = 151564.5 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0: -(151564.5 \text{ N})(4.5 \text{ m}) + M = 0$$

$$\therefore M = 682040.25 \text{ N m}$$

Diagrama de cortante y de momento (Fig. 5.6)

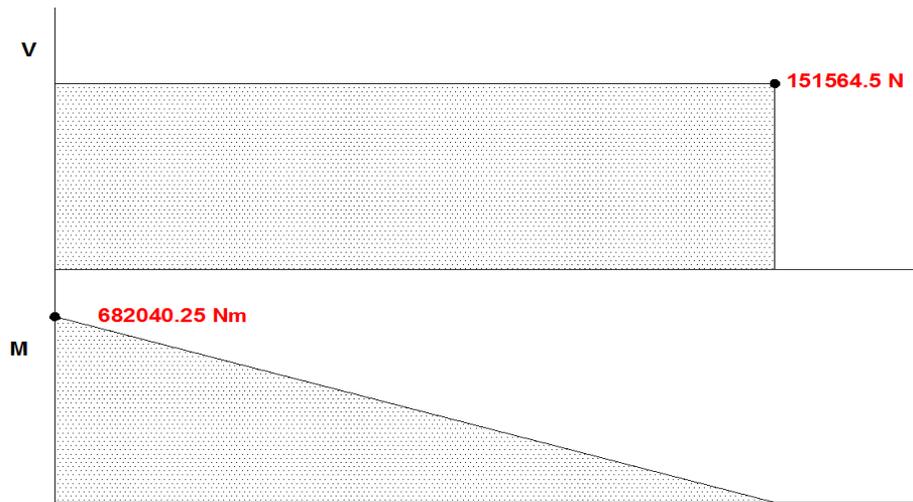


Fig. 5.10

$$|M_{max}| = 682040.25 \text{ N m}$$

$$\sigma_m = \frac{|M_{max}|}{S} \quad (5.6)$$

Para un Acero ASTM – A992 se tiene: $\sigma = 450 \text{ MPa}$

$$\sigma_{perm} = \frac{450 \text{ MPa}}{2} = 225 \text{ MPa}$$

De la ecuación 5.7

$$S = \frac{682040.25 \text{ N m}}{225 \times 10^6 \text{ N/m}^2} = 3.03129 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S = 3031.29 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Opciones (Anexo I)

$$W530X150 \quad S^3 = 3720 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W460X158 \quad S^3 = 3340 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W360X216 \quad S^3 = 3800 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Seleccionamos el siguiente perfil por tener un módulo de sección apropiado y por ser el de menor peso:

W530X150

4.4.2 DEFLEXIÓN EN LA PLUMA.

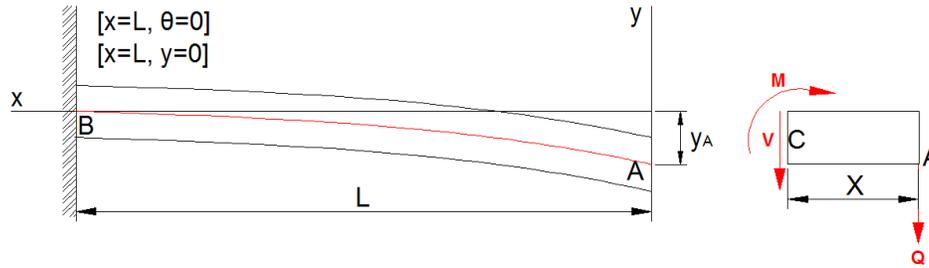


Fig. 11

Datos:

$$Q_T = 151564.5 \text{ N}$$

$$L = 4.5 \text{ m}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$I = 1010 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (5.7)$$

De la figura 5.11:

$$M = -QX$$

Sustituyendo M en la ecuación 5.7:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -QX$$

Integrando respecto a x:

$$EI \int \frac{d^2y}{dx^2} = - \int QX$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2}Qx^2 + C_1 \quad (5.8)$$

Sustituyendo $x = L$ y $\theta = \frac{dy}{dx} = 0$ según las condiciones (Fig. 11) en la ecuación 5.8:

$$0 = -\frac{1}{2}QL^2 + C_1$$

Despejando C_1 :

$$C_1 = \frac{1}{2}QL^2$$

Reemplazando C_1 en la ecuación 5.8:

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2}Qx^2 + \frac{1}{2}QL^2 \quad (5.9)$$

Integrando respecto a x la ecuación 5.9:

$$EI \int \frac{dy}{dx} = - \int \frac{1}{2} Qx^2 + \int \frac{1}{2} QL^2$$

$$EIy = -\frac{1}{6} Qx^3 + \frac{1}{2} QL^2x + C_2 \quad (5.10)$$

Sustituyendo $x = L$ y $y = 0$ (Fig. 5.11) en la ecuación 5.10:

$$0 = -\frac{1}{6} QL^3 + \frac{1}{2} QL^3 + C_2$$

Despejando C_2 :

$$C_2 = -\frac{1}{3} QL^3$$

Sustituyendo C_2 en la ecuación 5.10:

$$EIy = -\frac{1}{6} Qx^3 + \frac{1}{2} QL^2x - \frac{1}{3} QL^3$$

Resolviendo para y :

$$y = \frac{Q}{6EI} (-x^3 + 3L^2x - 2L^3) \quad (5.11)$$

Haciendo $x = 0$ en las ecuaciones 5.9 y 5.11 obtenemos:

$$\theta_A = \frac{QL^2}{2EI} \quad (5.12)$$

$$y_A = -\frac{QL^3}{3EI} \quad (5.13)$$

Sustituyendo datos en la ecuación 5.12 y 5.13:

$$\theta_A = \frac{(151564.5 \text{ N})(4.5 \text{ m})^2}{(2)(200 \text{ GPa})(1010 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}$$

$$\theta_A = 1.6882 \times 10^{-3}$$

$$\therefore \theta_A = 1.688^\circ$$

$$y_A = -\frac{(151564.5 \text{ N})(4.5 \text{ m})^3}{(3)(200 \text{ GPa})(1010 \times 10^{-6} \text{ m}^4)}$$

$$y_A = 1.1254 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\therefore y_A = 1.125 \text{ mm}$$

4.5 COLUMNA.

4.5.1 SELECCIÓN DE LA COLUMNA.

$$r_{ext} = 285 \text{ mm}$$

$$r_{int} = 260 \text{ mm}$$

$$e = 25 \text{ mm}$$

$$L_e = 3.5 \text{ m}$$

$$A = \pi(285^2 - 260^2) \text{ mm}^2 = 42804.2 \text{ mm}^2$$

$$A = 42.8042 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I = \frac{\pi}{4}(285^4 - 260^4) \text{ mm}^4 = 1592.58 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I = 1.5925 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1.5925 \times 10^{-3} \text{ m}^4}{42.8042 \times 10^{-3} \text{ m}^2}} = 0.1928 \text{ m}$$

Para un acero estructural ASTM A-36:

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\sigma = 250 \text{ MPa}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma}} \quad (5.14)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.14:

$$C_c = \sqrt{\frac{(2)(\pi)^2(200 \times 10^9 \text{ MPa})}{250 \times 10^6 \text{ MPa}}} = 125.6637$$

Columna tipo Empotrada-Libre

$$\frac{L_e}{r} = \frac{7 \text{ m}}{0.1928 \text{ m}} = 36.3070$$

$$\frac{L_e}{r} < C_c$$

Por lo tanto se realizan los cálculos como una columna corta:

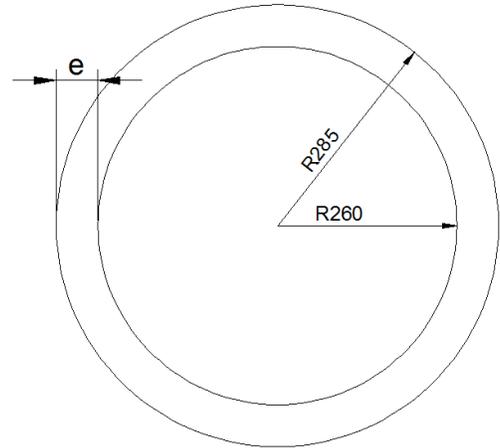


Fig. 5.12

Calculamos el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3L/r}{8c_c} - \frac{1}{8} \left(\frac{L/r}{c_c} \right)^3 \quad (5.15)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.15:

$$F.S. = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \left(\frac{36.3070}{125.6637} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{36.3070}{125.6637} \right)^3$$

$$F.S. = 1.771$$

Calculamos el esfuerzo permisible:

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma}{F.S.} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{L/r}{c_c} \right)^2 \right] \quad (5.16)$$

Sustituyendo valores:

$$\sigma_{perm} = \frac{250MPa}{1.731} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{36.3070}{125.6637} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_{perm} = 138.397 MPa$$

$$Q_t = 151564.5 N + 7357.5 N$$

$$Q_t = 159159.402 N$$

$$M = (151564.5 N \times 4.825 m) + (7357.5 N \times 2.575 m)$$

$$M = 750244.275 N m$$

Basándonos en el método del esfuerzo permisible la columna debe cumplir con la siguiente condición, según [3]:

$$\frac{Q}{A} + \frac{Mc}{I} \leq \sigma_{perm} \quad (5.17)$$

Sustituyendo valores:

$$\frac{159159.402 N}{42.8042 \times 10^{-3} m^2} + \frac{(750244.275 N m)(0.265 m)}{1.5925 \times 10^{-3} m^4} = 124.848 MPa$$

$$124.848 MPa < 138.397 MPa$$

La condición se cumple por lo que la columna es válida.

4.6 PLACAS DE UNIÓN.

4.6.1 TORNILLOS DE FIJACIÓN

Se utilizarán tornillos de grado 8.8 (ver anexo G)

$$Q_t = 159159.402 \text{ N}$$

$$\sigma = 600 \text{ MPa}$$

Aplicaremos la carga a un solo tornillo:

$$A = \frac{Q}{\sigma} = \frac{159159.402 \text{ N}}{600 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$A = 265.2656 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Obtenemos el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{(4)(265.2656 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 0.01837 \text{ m}$$

$$D = 18.377 \text{ mm}$$

Normalizando este valor:

$$D = 20 \text{ mm}$$

4.6.2 ESPESOR DE LA PLACA.

$$\tau = 145 \text{ MPa}$$

$$F.S. = 2$$

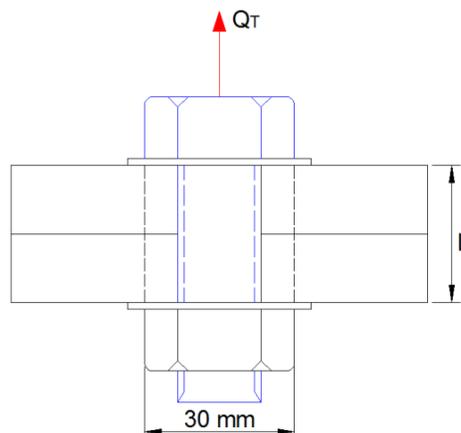


Fig. 5.13

Para la determinación del espesor de placa necesario nos basaremos en el esfuerzo cortante que genera el tornillo sobre la placa por la acción de “palanca” que produce la carga, basándonos en un solo tornillo.

$$\tau_{perm} = \frac{145 \text{ MPa}}{2} = 72.5 \text{ MPa}$$

$$A = \pi dL$$

$$A = (0.03 \text{ m})\pi L \quad (5.18)$$

$$\tau_{perm} = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{Q}{\tau_{perm}} \quad (5.19)$$

Sustituyendo la ecuación 5.18 en la 5.19:

$$0.03\pi L = \frac{Q}{\tau_{perm}}$$

$$0.03\pi L = \frac{159159.402 \text{ N}}{72.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

Despejando L:

$$L = \frac{159159.402 \text{ N}}{(72.5 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(0.03 \text{ m})\pi}$$

$$L = 0.02329 \text{ m}$$

$$L = 23.29 \text{ mm}$$

Normalizando este valor:

$$L = 25.54 \text{ mm} = 1 \text{ pulg.}$$

Espesor de placa:

$$e = L/2$$

$$e = \frac{1}{2} \text{ pulg.}$$

CONCLUSIÓN.

El ingeniero mecánico encuentra en las máquinas y aparatos de elevación un campo de actividad muy interesante y variada, con un carácter particularmente resultante a la vez de una combinación de la mecánica, cálculo de máquinas y resistencia de materiales.

El estudio de la estructura del brazo-pluma tiene como consecuencia una profundización en el análisis de resistencia de materiales.

Para el diseño de los componentes se ha utilizado herramientas informáticas como AutoCAD y Solid Works.

Como conclusión tenemos un brazo-pluma que es capaz de cubrir completamente las necesidades para el que fue diseñado, con eficiencia y seguridad. Además de poder ser adaptado para ser utilizado en tierra firme y así aprovechar aún más la estructura. Los materiales y componentes elegidos para su construcción son completamente normalizados y se encuentran fácilmente en el mercado. Las ventajas que se tendrán al contar con un brazo-pluma montado en la balsa serán muchas, las tareas de limpieza se facilitarán de gran manera y la eficiencia aumentará en un mayor porcentaje.

El poder haber contribuido y aportado algo para la institución en la que realice mi residencia profesional trae una gran satisfacción personal lo cual impulsa a seguir adelante con la preparación como ingeniero mecánico.

El diseño de la estructura ha sido de gran ayuda para poder reafirmar los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera, y poder adquirir una experiencia que será de gran ayuda en la vida profesional.

El cálculo y diseño del brazo-pluma deja un antecedente que puede ser de gran ayuda para un rediseño de la estructura o un diseño nuevo.

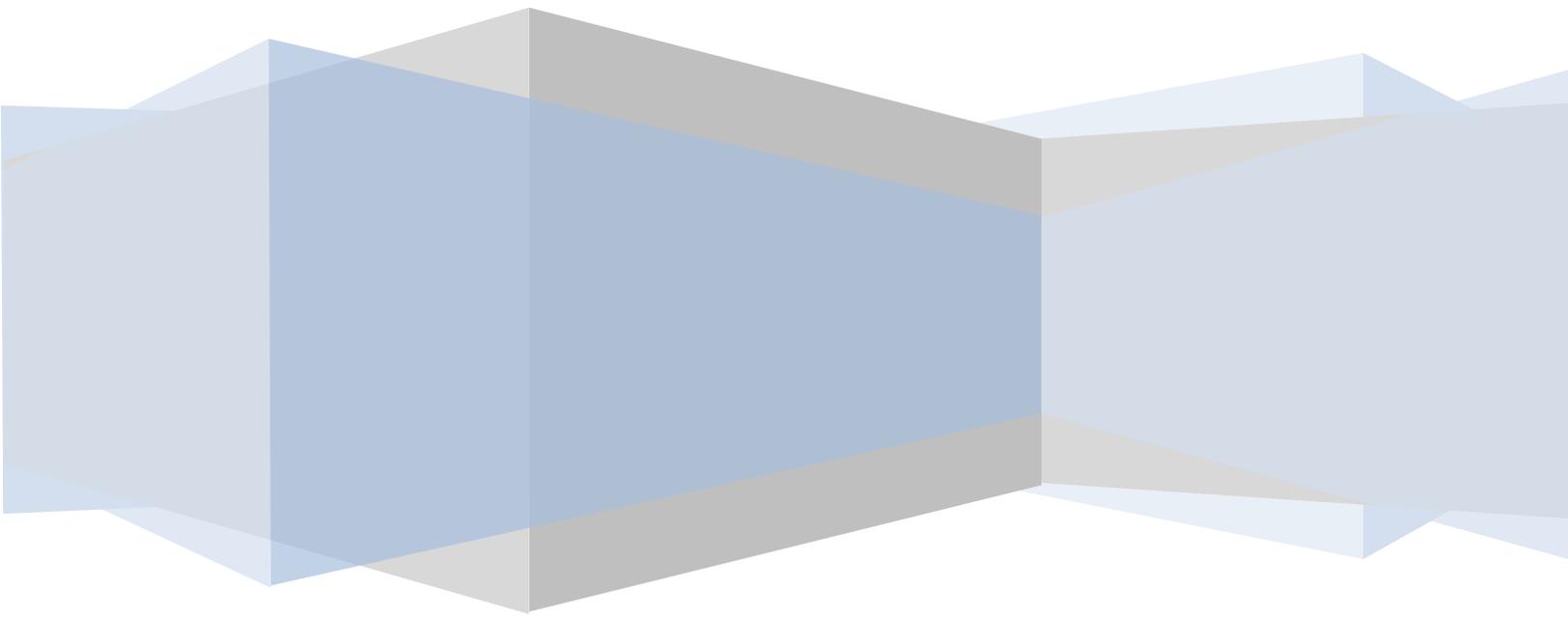
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

1. LARRODE, E., MIRAVETE, A. *Grúas*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 1996.
2. MIRAVETE, A. *Aparatos de Elevación y Transporte*. Antonio Miravete, Zaragoza, 1994.
3. FERDINAND P. BEER, *Mecánica de materiales*. Cuarta edición, Editorial McGraw Hill. México 2007.
4. FERDINAND L. SINGER, *Resistencia de materiales: Introducción a la mecánica de sólidos*. Cuarta edición, Editorial HARLA. México 1994.
5. R.C. HIBBELER, *Mecánica de materiales*. Tercera edición, Editorial PEARSON. México 1998.
6. JOSEHP E. SHIGLEY, *Diseño en ingeniería mecánica*. Tercera edición, Editorial McGraw Hill. México 1995.
7. ROBERT L. MOTT, *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta edición, Editorial PEARSON.
8. A.S. HALL, *Diseño de máquinas, serie Schaum*. Editorial McGraw Hill

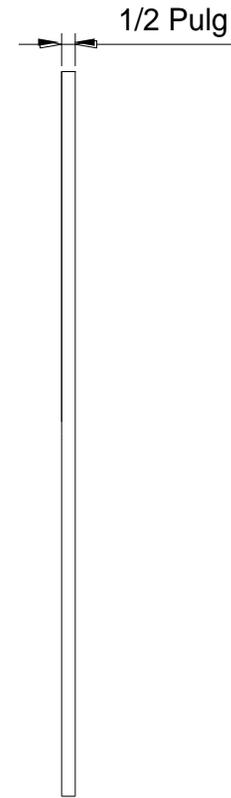
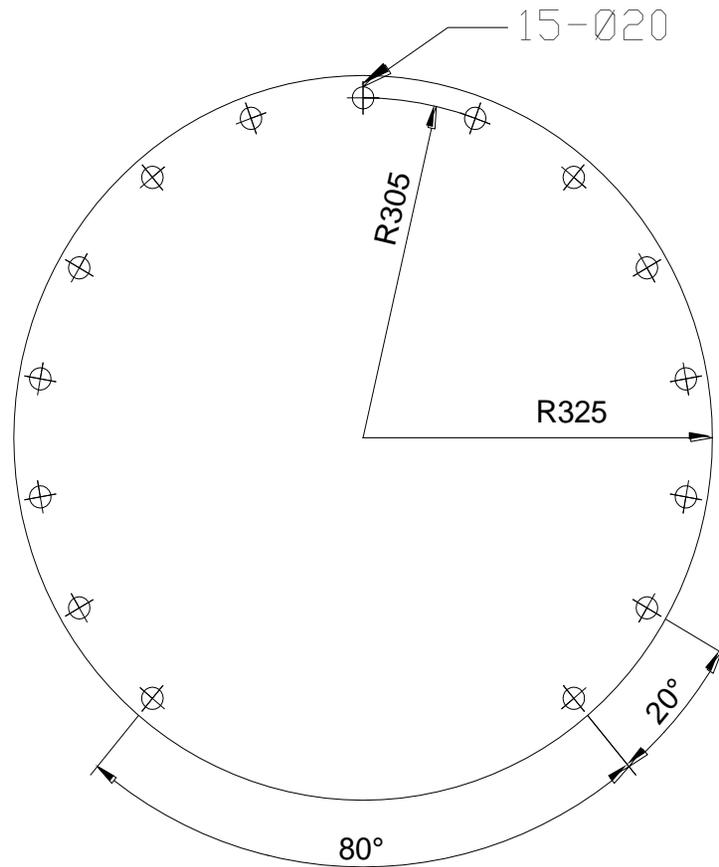
Virtuales.

9. <http://www.revolucionesindustriales.com/maquinasindustriales/gruas-pluma>
10. <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=787>
11. <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=762>
12. http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_de_acero

ANEXOS



ANEXO A



NOTA:
FABRICAR DOS PIEZAS EN PLACA
ACERO AL CARBONO

PLACA DE UNIÓN ENTRE LA PLUMA Y
LA COLUMNA

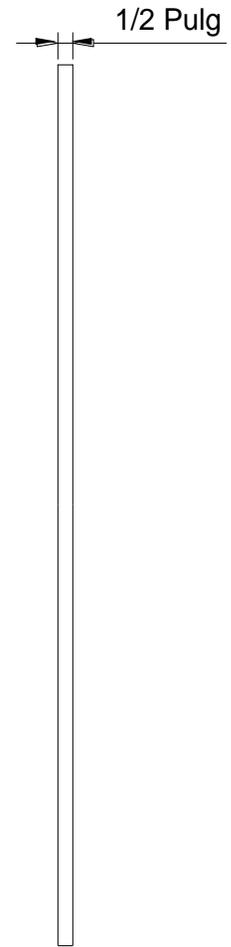
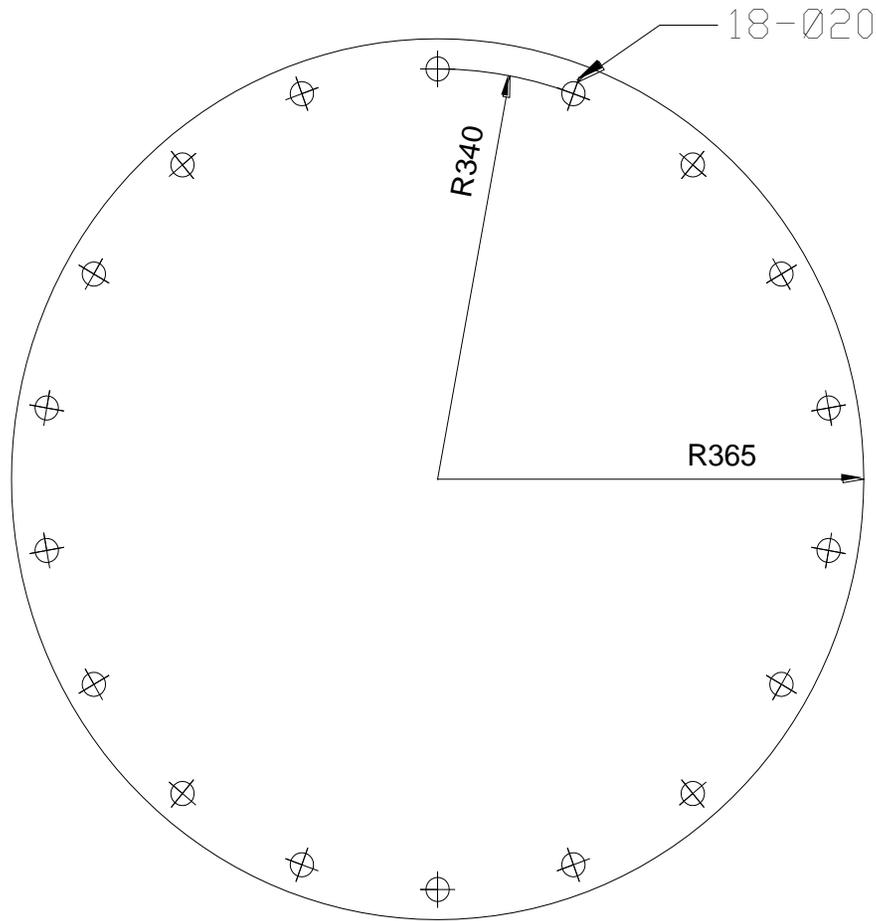
DIBUJO: ALEJANDRO LEYVA DIAZ

CFE

ACOT: MM

DIBUJO: A-1

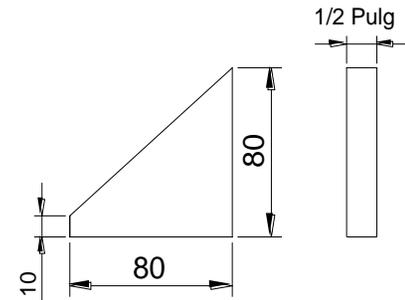
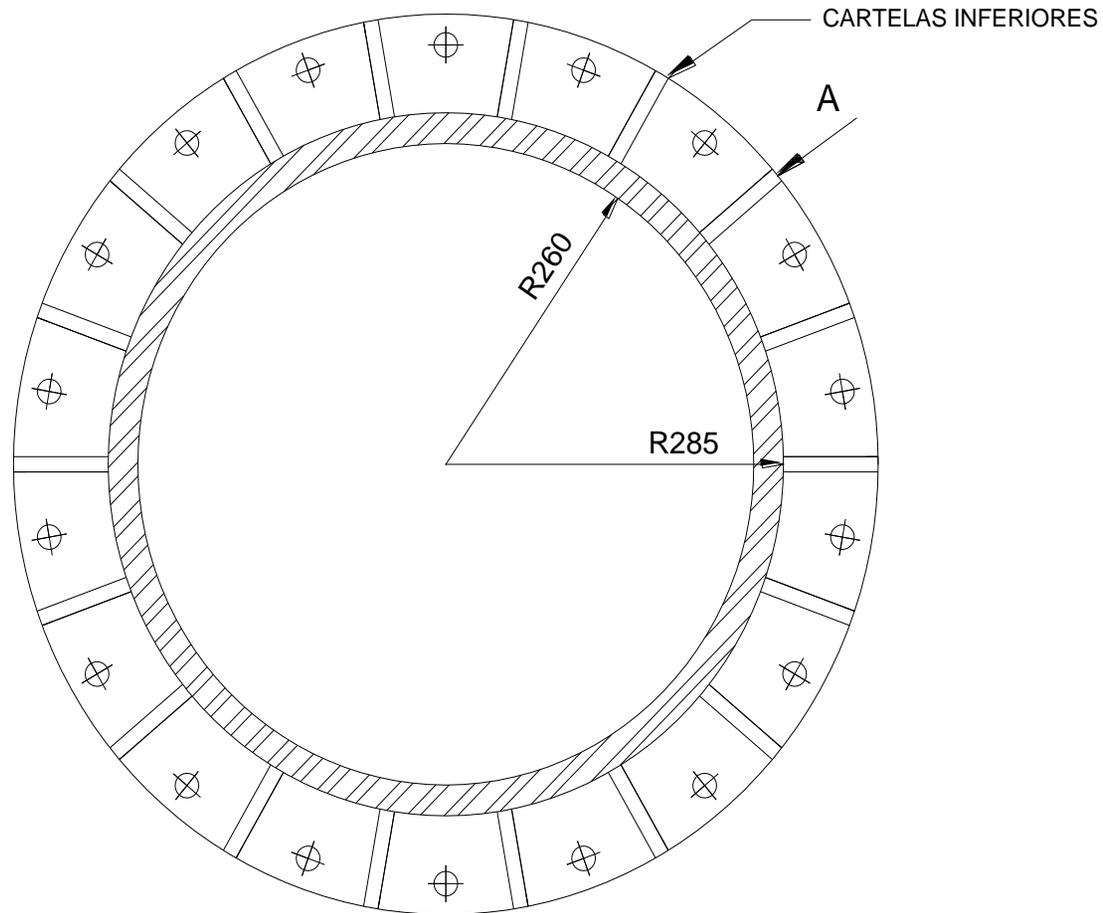
ANEXO B



NOTA:
FABRICAR EN PLACA ACERO AL
CARBONO

PLACA BASE	
DIBUJO: ALEJANDRO LEYVA DIAZ	CFE
ACOT: MM	DIBUJO: A-2

ANEXO C



CARTELAS INFERIORES

NOTA:

TUBO: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36
DE 3500 MM DE LONGITUD

UNIÓN DE COLUMNA CON PLACA
BASE

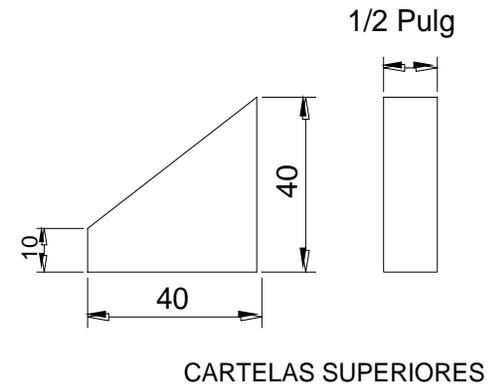
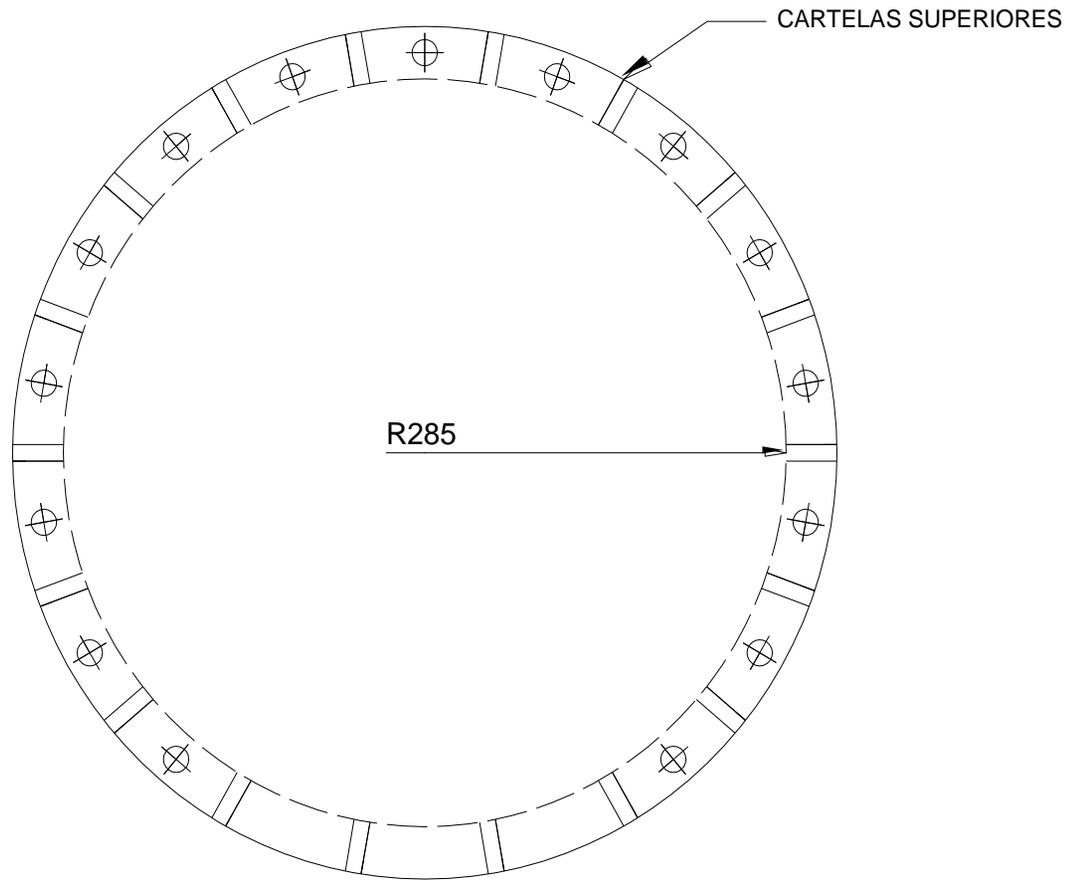
DIBUJO: ALEJANDRO LEYVA DIAZ

CFE

ACOT: MM

DIBUJO: A-3

ANEXO D

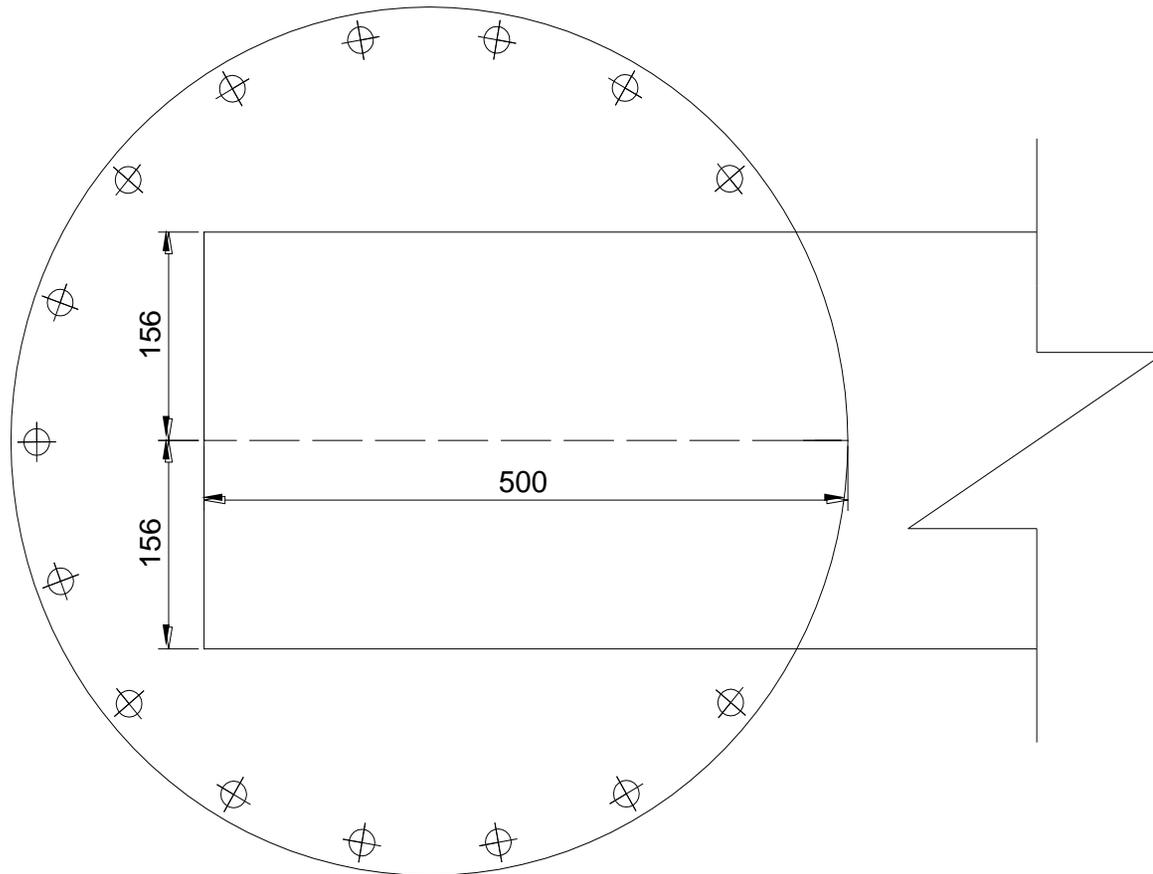


NOTA:

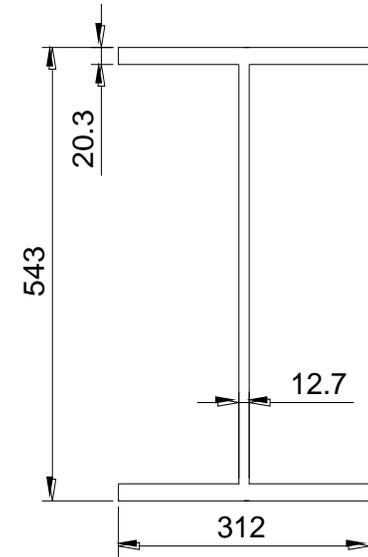
TUBO: ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36
DE 3500 MM DE LONGITUD

UNIÓN DE COLUMNA CON PLACA SUPERIOR	
DIBUJO: ALEJANDRO LEYVA DIAZ	CFE
ACOT: MM	DIBUJO: A-4

ANEXO E



SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PLUMA



NOTA:

PERFIL W530X150

LONGITUD: 5000 MM

UNION DE PLUMA CON PLACA

DIBUJO: ALEJANDRO LEYVA DIAZ

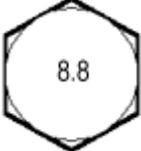
CFE

ACOT: MM

DIBUJO: A-5

ANEXO G

RESISTENCIA DE PERNOS METRICOS

GRADOS MÉTRICOS DE ACEROS PARA PERNOS					
Grado	Rango del diámetro	Resistencia a la Tensión (MPa)	Resistencia de Fluencia (MPa)	Resistencia de Prueba (MPa)	Marcado de cabeza
4.6	M5-M36	400	240	225	
4.8	M1.6-M16	420	340*	310	
5.8	M5-M24	520	415*	380	
8.8	M16-M36	830	660	600	
9.8	M1.6-M36	900	720*	650	
10.9	M6-M36	1040	940	830	
12.9	M1.6-M36	1220	1100	970	

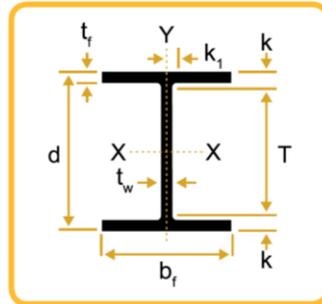
ANEXO H

PROPIEDADES TÍPICAS DE ACEROS

Acero	Resistencia Última			Fluencia		Módulo de elasticidad GPa	Módulo de rigidez GPa
	Tensión MPa	Compresión MPa	Cortante MPa	Tensión MPa	Cortante MPa		
Estructural ASTM-A36	400			250	145	200	77.2
ASTM-A709 Grado 345	450			345		200	77.2
ASTM-A913 Grado 450	550			450		200	77.2
ASTM-A992 Grado 345	450			345		200	77.2
ASTM-A709 Grado 690	760			690		200	77.2
Inoxidable AISI 302							
Laminado en frío	860			520		190	75
Recocido Acero de refuerzo	655			260	150	190	75
Resistencia Media	480			275		200	77
Alta resistencia	620			415		200	77

ANEXO I

PROPIEDADES DE PERFILES LAMINADOS **PERFILES**



Designación	Área mm^2	Altura d mm	Aleta		Espesor del alma t_w mm	Eje X-X			Eje Y-Y		
			Ancho b_f mm	Espesor t_f mm		I_x $\times 10^6$ mm^4	S_x $\times 10^3$ mm^3	r_x mm	I_y $\times 10^6$ mm^4	$S_y \times 10^3$ mm^3	r_y mm
W760X257	32,600	773	381	27.10	16.6	3,420	8,850	324	250	1,310	87.6
147	18,700	753	265	17.00	13.2	1,660	4,410	298	52.9	399	53.2
W690X217	27,700	695	355	24.80	15.4	2,340	6,730	291	185	1,040	81.7
125	16,000	678	253	16.30	11.7	1,190	3,510	273	44.1	349	52.5
W610X155	19,700	611	324	19.00	12.7	1,290	4,220	256	108	667	74.0
101	13,000	603	288	14.90	10.5	764	2,530	242	29.5	259	47.6
W530X150	19,200	543	312	20.30	12.7	1,010	3,720	229	103	660	73.2
92	11,800	533	209	15.60	10.2	552	2,070	216	23.8	228	44.9
66	8,370	525	165	11.40	8.9	351	1,340	205	8.57	104	32.0
W460X158	20,100	476	284	23.90	15.0	796	3,340	199	91.4	644	67.4
113	14,400	463	280	17.30	10.8	556	2,400	196	63.3	452	66.3
74	9,450	457	190	14.50	9.0	333	1,460	188	16.6	175	41.9
52	6,630	450	152	10.80	7.6	212	942	179	6.34	83.4	30.9
W410X114	14,600	420	261	19.30	11.6	462	2,200	178	57.2	438	62.6
85	10,800	417	181	18.20	10.9	315	1,510	171	18.0	199	40.8
60	7,580	407	178	12.80	7.37	216	1,060	169	12.1	136	40.0
46.1	5,890	403	140	11.20	7.0	156	774	163	5.14	73.4	29.5
38.8	4,990	399	140	8.80	6.4	127	637	160	4.04	57.7	28.5
W360X551	70,100	455	418	67.60	42.0	2,260	9,930	180	825	3,950	108
216	27,600	375	394	27.70	17.3	712	3,800	161	283	1,440	101
122	15,500	363	257	21.70	13.0	365	2,010	153	61.5	479	63.0
101	12,900	357	255	18.30	10.5	302	1,690	153	50.6	397	62.6
79	10,100	354	205	16.30	9.4	227	1,280	150	24.2	236	48.9
64	8,140	347	203	13.50	7.7	178	1,030	148	18.9	186	48.2
44	5,730	352	171	9.80	6.9	122	693	146	8.18	95.7	37.8
39	4,980	353	128	10.70	6.5	102	578	143	3.75	58.6	27.4

ANEXO J

TABLA DE PESOS Y ESPESORES DE PLACA DE ACERO AL CARBONO FABRICANTE MECAR



PESOS DE CHAPAS GRUESAS DE ACERO AL CARBONO

Espesor (Pulgadas)	Equiv. en mm	Peso/m ² (Kg)
1/8	3.17	25.12
3/16	4.76	37.58
1/4	6.35	50.24
5/16	7.93	62.80
3/8	9.52	75.36
1/2	12.7	100.48
9/16	14.28	113.040
5/8	15.87	125.600
3/4	19.05	150.72
7/8	22.22	175.840
1	25.4	200.95
1 1/4	31.75	251.200
1 1/2	38.1	301.400
1 3/4	44.55	351.680
2	50.8	401.92

ANEXO K

CATÁLOGO DE CABLES TECHNO



CABLES ANTIGIRATORIOS		35 x 7 + 0 (SC)			
Diámetro cable (mm.)	Diámetro alambre (mm.)	Sección cable (mm ²)	Peso (Kg./m.)	CRM/MBL 1770 N/mm ² Kn.	CRM/MBL 1770 N/mm ² Kg.
12	0,58	79	0,68	105,00	10.710
14	0,68	92	0,79	123,00	12.550
16	0,79	122	1,06	165,00	16.830
18	0,87	150	1,29	201,00	20.510
20	0,97	185	1,60	249,00	25.400
22	1,07	225	1,94	303,00	30.910
24	1,17	269	2,34	361,00	36.830
26	1,27	317	2,73	425,00	43.360
28	1,37	368	3,17	494,00	50.400
30	1,48	421	3,64	566,00	57.750
32	1,58	486	4,20	653,00	66.630
34	1,67	545	4,69	729,00	74.380
36	1,76	607	5,23	814,00	83.060
38	1,85	670	5,78	899,00	91.730
40	1,97	752	6,49	1.010,00	103.060

ANEXO L

CATÁLOGO DE TUBOS ESTRUCTURALES PROTUBSA



PROTUBSA
Proveedora de Tubos Occidental S.L

**Barra Perforada.
Tubos sin soldadura.**



Diámetro exterior (mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro interior (mm.)	Peso teórico (kg/m.)
	100,0	358,8	1.131
570	14,2	541,6	194,6
	16,0	538,0	218,6
	17,5	535,0	238,4
	20,0	530,0	271,3
	22,2	525,6	299,9
	25,0	520,0	336,0
	28,0	514,0	374,3
	30,0	510,0	399,5
	35,0	500,0	461,8
	40,0	490,0	522,8
	45,0	480,0	582,6
	50,0	470,0	641,2
	55,0	460,0	698,5
	60,0	450,0	754,6
	65,0	440,0	809,5
	70,0	430,0	863,2
	75,0	420,0	915,6
80,0	410,0	966,7	
85,0	400,0	1.017	
90,0	390,0	1.065	
100,0	370,0	1.159	