



T  
621.877  
NAV  
F.2

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Diseño, Construcción e Instalación de un Elevador de Carga en  
un Centro Comercial de la Ciudad de Guayaquil”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

**Francisco Esteban Navarro González**

**GUAYAQUIL-ECUADOR**



**AÑO: 2001**



## AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior  
Politécnica del Litoral, *Alma  
Mater* que inculca en sus  
hijos Responsabilidad y  
Disciplina.

## DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MI  
PADRE, EJEMPLO DE  
INGENIO Y TESON

A LA MEMORIA DE MIS  
ABUELOS

A MI MADRE

A MIS HERMANAS

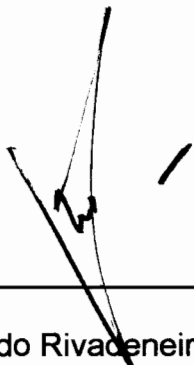
Y, DE MANERA MUY  
ESPECIAL,

A MI ESPOSA Y

A MIS HIJOS

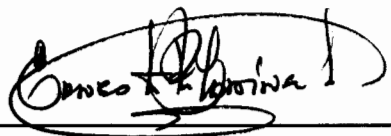


## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



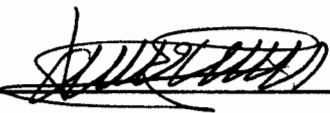
---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Manuel Helguero G.  
VOCAL



---

Ing. Edmundo Villacís M.  
VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

FRANCISCO ESTEBAN NAVARRO GONZÁLEZ

## RESUMEN

La presente tesis propone la construcción local de elevadores de carga como obras de Ingeniería Mecánica aplicadas a las actividades del comercio en nuestra ciudad; Asimismo, mostramos el proceso de diseño-construcción local efectuado, y los resultados favorables obtenidos en beneficio del funcionamiento de un centro comercial ubicado en la ciudad de Guayaquil.

La actividad comercial genera un intenso movimiento de mercaderías desde y hacia las bodegas comerciales, por lo cual se prefiere ubicarlas estratégicamente en el centro mismo de la ciudad. Para su funcionamiento eficaz, las bodegas comerciales deben ser capaces de movilizar altos volúmenes de mercadería, de manera de permitir un rápido desembarque y despacho de la misma, dado el congestionado tráfico vehicular del centro.

En vista de que se estableció, por parte de los remodeladores de un edificio del casco comercial de la ciudad, la necesidad de disponer de un elevador de carga que sirviera a las bodegas comerciales alojadas en las plantas 2 y 3 del mismo, la empresa Elevadores FEN, de la cual el suscrito es el Principal, fue consultada con el propósito de que se elaborara una propuesta de diseño, construcción e instalación del equipo elevador que mejor atendiera a sus necesidades .

La obra fue contratada y realizada en 45 días, siendo entregada el 30 de abril del presente año, fecha desde la cual el funcionamiento del elevador ha respondido satisfactoriamente a las expectativas de los administradores y arrendatarios de los locales de este Centro Comercial.

La teoría relativa a los diferentes tipos y sistemas elevadores es expuesta en el Capítulo 1, donde se establecen las ventajas / desventajas que los distinguen entre sí, De igual manera se describen los componentes fundamentales que constituyen al equipo elevador de carga y la infraestructura civil básica para efectuar la instalación.

En el Capítulo 2 se procede al diseño del elevador para este caso concreto, conforme los requerimientos y restricciones dadas por el edificio.

En el Capítulo 3 se describe el plan de construcción, selección de equipos y materiales, cronograma de trabajo, estimación de costos y procedimiento de montaje

El Análisis de Costos, contenido en el Capítulo 4, permite ponderar la ventaja de construir esta clase de equipos en el país.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCION.....	1
<b>CAPITULO 1</b>	
<b>1. ELEVADORES DE CARGA, TIPOS Y SISTEMAS ELEVADORES.....</b>	<b>3</b>
1.1 Elevadores de Carga .....	3
1.2 Definición de potencia elevadora .....	3
1.3 Sistemas Elevadores	
1.3.1 Sistema de adherencia (contrapeso) .....	5
1.3.2 Sistema por enrollamiento de cable.....	6
1.3.3 Sistemas hidráulicos.....	8
1.4. Componentes mecánicos y eléctricos de un elevador.....	11
1.4.1 Grupo tractor.....	11
1.4.2 Cabina.....	17



1.4.3 Rieles guías.....	19
1.4.4 Puertas.....	20
1.4.5 Control eléctrico de potencia, mandos, y límites .....	22
1.4.6 Dispositivos de protección y seguridad.....	25
1.5. Infraestructura para construcción e instalación de un elevador.....	26

## CAPITULO 2

2. DISEÑO DEL ELEVADOR.....	30
2.1. Requerimientos para el diseño.....	30
2.2. Método de selección de sistema elevador.....	31
2.3. Determinación de la capacidad elevadora.....	32
2.4. Dimensionamiento de cabina.....	32
2.5. Recorrido del elevador.....	33
2.6. Grupo tractor.....	33
2.6.1. Sistema de polipasto.....	33
2.6.2. Dimensiones de tambor de enrollamiento.....	35
2.6.3. Tipo, calibre y longitud del cable tractor.....	39
2.6.4. Motorreductor: cálculo de potencia y velocidad.....	40
2.7. Automatismo de puertas corredizas.....	43
2.8 Dispositivos de seguridad.....	43



**CAPITULO 3**

<b>3. CONSTRUCCIÓN DEL ELEVADOR.....</b>	<b>75</b>
3.1 Selección de equipos y materiales.....	75
3.2 Método de fabricación.....	91
3.3 Proceso de construcción .....	93
3.4.1 Cronograma.....	94
3.4.2 Costos.....	96
3.4.3 Montaje.....	97

**CAPITULO 4**

<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>100</b>
---------------------------------	------------

**CAPITULO 5**

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>110</b>
---	------------

**APENDICES****BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

A	Amperio
cm <sup>2</sup>	Centímetro cuadrado
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
hp	Caballo de Fuerza
kg	kilogramo
kg-m <sup>2</sup>	Kilogramo-metro cuadrado
kW	Kilovatio
lb-pulg	libra-pulgada
m	Metro
mm	Milímetro
N	Newton
Nm	Newton-metro
pulg	Pulgada
V	Voltio
W	Watt ó Vatio

## SIMBOLOGÍA

A	Área
d	Diámetro de eje
D	Diámetro de Tambor
I	Corriente Eléctrica
J	Momento de Inercia
lb.	Libra
M	Momento de Torsión
$m_a$	Número de capas de cable enrollado
p	Carga distribuida sobre superficie
P	Potencia mecánica
q	Carga linealmente distribuida
Q	Carga Total de conjunto cabina - carga máxima nominal
r, R	Radio
s	Esfuerzo
V	Velocidad Lineal
Z	Módulo Resistente
$\beta$	Angulo de Adherencia
$\mu$	Coefficiente estático de fricción
$\Theta$	Angulo
$\omega$	Frecuencia angular

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Disposición de Cabina-Contrapeso en Sistema de Adherencia.....	6
Figura 1.2	Disposición de Polipasto en Sistema por Enrollamiento.....	8
Figura 1.3	Disposición de Cilindro y Vástagos en Sistema Hidráulico.....	10
Figura 1.4	Motorreductor de Dientes Helicoidales. Eje recto.....	11
Figura 1.5	Motorreductor <i>sin fin – corona</i> . Eje ortogonal.....	12
Figura 1.6	Tambor de Enrollamiento de Cable de Tracción.....	13
Figura 1.7	Polea de Adherencia.....	14
Figura 1.8	Polea de Polipasto.....	16
Figura 2.1	Disposición de Polipasto 4 Líneas.....	34
Figura 2.2	Diagrama de Cargas, Cortantes, Momentos Flectores y Momentos de Torsión sobre Tambor de Enrollamiento.....	47
Figura 2.3	Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Tambor de Enrollamiento.....	50
Figura 2.4	Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Eje de Polea 2.....	52
Figura 2.5	Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores Sobre Viga Portapoleas.....	55
Figura 2.6	Parrilla del Piso.....	58
Figura 2.7	Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Vigueta de Parrilla.....	59
Figura 2.8	Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Jácenas de Borde de Parrilla.....	63
Figura 2.9	Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Jácenas Centrales de Parrilla.....	65
Figura 2.10	Diagrama de Cargas y Momentos Flectores sobre Columna del Bastidor de Cabina.....	65
Figura 3.1	Montaje de Sistema de Enrollamiento y Polipasto.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Matriz de Comparación de Sistemas Elevadores.....	31
Tabla 2	Dimensiones Principales del Tambor de Enrollamiento de Cable de Tracción.....	39
Tabla 3	Momentos de Inercia de los Componentes del Tambor de Enrollamiento.....	71
Tabla 4	Momentos de Inercia Referidos a la Velocidad del Motor.....	72
Tabla 5	Matriz de Selección de Grupo Tractor para Elevador de Carga.....	77
Tabla 6	Dimensiones de Motorreductor KEB ZG5 KPR 100 L4.....	79
Tabla 7	Datos de Motores KEB Trifásicos.....	80
Tabla 8	Datos Técnicos de Selección de Acoples BIRN.....	83
Tabla 9	Selección de Perfiles de Acero para Construcción de Bastidor de Cabina.....	88
Tabla 10	Datos sobre Cables de Acero.....	89
Tabla 11	Cronograma de Construcción e Instalación de Elevador de Carga.....	94
Tabla 12	Respuesta del Conjunto Motorreductor a Pruebas de Carga Creciente.....	96
Tabla 13	Costos Globales de Construcción e Instalación del Elevador.....	97
Tabla 14	Comparación de Tiempos y Costos de Traslado de Carga sin y con Elevador.....	101
Tabla 15	Cánones de Arrendamiento de Pisos en el Casco Comercial del Centro de Guayaquil al Mes de Noviembre de 2001.....	105
Tabla 16	Comparación de Costos y Plazos Contractuales de Instalación de Elevadores de Carga de Características Similares, de Acuerdo a la Procedencia.....	108

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Proyecto del Elevador
Plano 2	Diagrama Eléctrico

## INTRODUCCIÓN

La construcción e instalación de un elevador de carga para servir a las bodegas de un centro comercial ubicado en el casco urbano de la ciudad de Guayaquil fue efectuada entre mediados del mes de marzo hasta fines de abril del presente año 2001. En la presente tesis se exponen los criterios que condujeron a seleccionar el sistema elevador de enrollamiento de cable; así como el procedimiento de cálculo de la potencia mecánica del grupo tractor conforme la capacidad de carga útil requerida, el peso propio de la cabina, y la velocidad de desplazamiento.

El proceso de construcción e instalación, descrito en el cronograma de trabajo, se resume en la elaboración simultánea de la obra mecánica y la eléctrica. La mecánica que consistió en el montaje de maquinaria, cabina, rieles, puertas, etc; y la eléctrica que consistió en la instalación de los elementos del sistema de control automático de marcha, paro y seguridad.

La conveniencia económica de esta obra para el propietario y arrendatarios de las bodegas se pone en evidencia al comparar los costos en tiempo y dinero que significaría prescindir de este aparato. De igual manera, el valor agregado que la ingeniería y mano de obra local empleados en esta obra obtienen a favor de la industria electromecánica nacional, merece ser



reconocida por la gran la capacidad de trabajo y creatividad desplegada por nuestros técnicos.

# CAPÍTULO 1

## 1. ELEVADORES DE CARGA. TIPOS Y SISTEMAS ELEVADORES.

### 1.1 Elevadores de Carga.

Los elevadores de carga son aparatos electromecánicos consistentes de un grupo tractor (maquinaria), cabina, guías-rieles, y control eléctrico de subida / bajada / paro. Se los emplea para el transporte vertical de carga entre las plantas de edificaciones destinadas al propósito de bodegaje y despacho de la especie transportada.

### 1.2 Definición de Potencia Elevadora.

Se entiende por potencia al trabajo desarrollado en la unidad de tiempo. Esto es, si se quiere elevar un peso de valor  $Q$  una altura  $H$  en un tiempo  $t$ , se deberá desarrollar la potencia elevadora  $Q \times H / t$ .  
o, lo que es igual,

$$P = Q \times V$$

Donde  $V$  es la velocidad a que se efectuará dicha elevación.

Se denominará como *Potencia Elevadora* al valor total de la carga a elevar, multiplicada por la velocidad promedio a que se efectúa la elevación. Las unidades SI son expresadas en *kilovatios [kW]*, correspondiente al valor de elevar el peso de 1000 newton a la velocidad de un metro en un segundo, mientras que el *Caballo de Fuerza [hp]*, es, por definición, la potencia desarrollada en elevar el peso de 550 libras a la altura de un pié, en el tiempo de un segundo. (1 hp= 550 lb·ft / s).

La equivalencia entre vatios y caballos está dada por la siguiente relación:

$$1 \text{ kW} = 1.34 \text{ hp}$$

### 1.3 Sistemas Elevadores.

Existen, a saber, una serie de sistemas prácticos de elevación de carga accionados por motores eléctricos, como son, principalmente: el sistema de polea de adherencia de cable de acero en circuito entre la cabina y un contrapeso; el de polipasto por enrollamiento de cable en tambor, y el hidráulico,

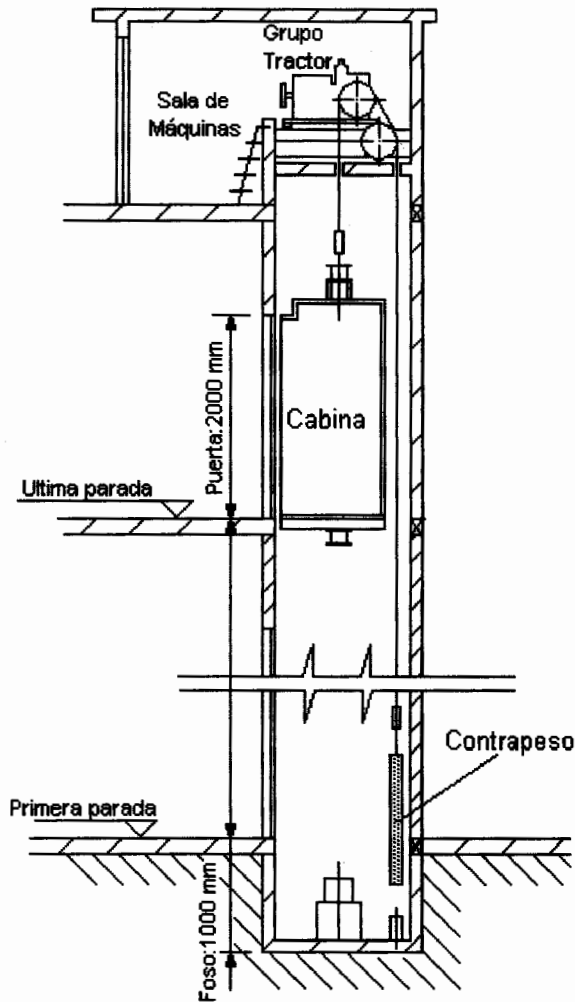
### **1.3.1 Sistema por Adherencia (contrapeso).**

Los sistemas por adherencia transmiten la potencia mecánica del grupo tractor a los cables de acero por medio de la fricción de la polea motriz, la cual centra el circuito que conecta por un lado la cabina y su carga neta, y por otro el contrapeso, cuya masa está definida por el peso propio de la cabina, más el 50% de la carga útil.

Es el más sencillo de los sistemas de elevación, siendo posible efectuar su instalación sin ninguna restricción de altura, a diferencia de los otros sistemas en los que a partir de cierto recorrido las dimensiones de sus elementos mecánicos se vuelven exageradas.

Su instalación requiere reservar un 30% del área del ducto a la instalación del contrapeso, por lo cual el área útil total de cabina será siempre menor comparada con las otras instalaciones.





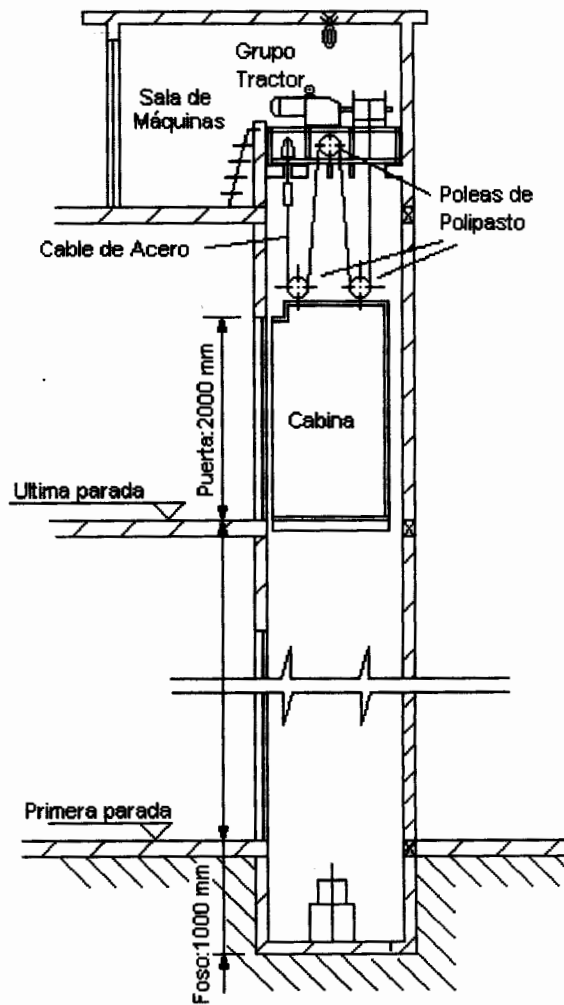
**Figura 1.1.- Disposición de Cabina - Contrapeso en Sistema de Adherencia de Elevador.**

### **1.3.2. Sistema por Enrollamiento de Cable.**

Consiste básicamente de un grupo tractor acoplado a un tambor, alrededor del cual se enrolla un cable de acero que directamente, o mediante un mecanismo de polipasto, desplaza a la cabina, sea para arriba, enrollando el cable, o para abajo, desenrollándolo.

El sistema de enrollamiento de cable es válido para instalaciones de una altura de hasta 30 metros, a partir de la cual las dimensiones del tambor y la longitud del cable alcanzan valores desproporcionados.

El rendimiento mecánico de esta sistema es muy alto, del orden del 80%, favoreciendo sus instalación para elevadores de medianas y grandes cargas. Por otra parte, permite dimensionar la cabina a las máximas medidas que permita el pozo.



**Figura 1.2.- Disposición de Polipasto en Sistema Elevador por Enrollamiento.**

### 1.3.3. Sistemas Hidráulicos.

Consiste de un motor, bomba, bloque de válvulas y depósito de aceite, que actúa por presión sobre un vástago, el cual eleva la cabina. Pueden actuar directa o indirectamente; en cuyo caso actúa combinado con cables o cadenas. De igual manera,

el vástago puede ser simple o estar compuesto por tramos, teniéndose en este caso un sistema telescópico.

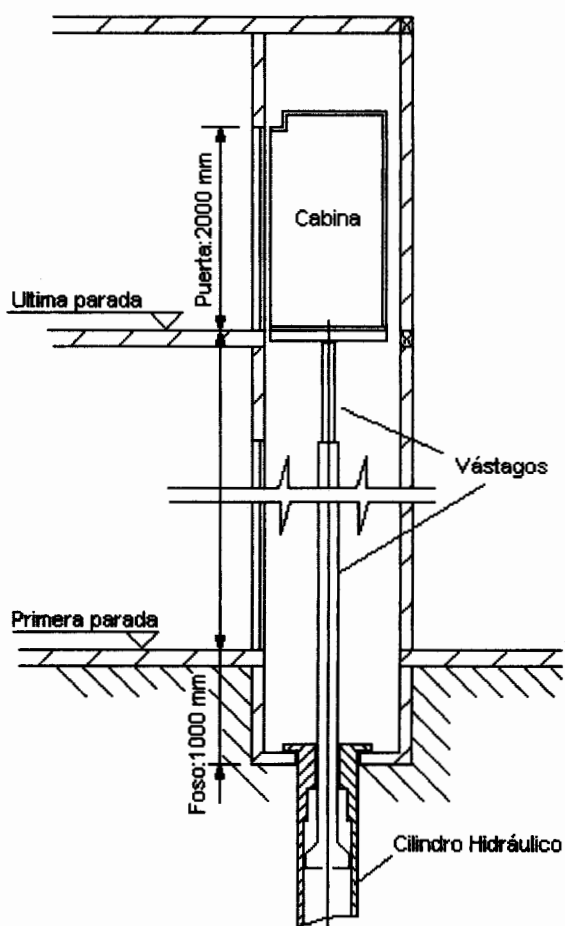
Los elevadores hidráulicos de acción directa son los que reúnen todas las ventajas de la impulsión hidráulica. Tienen el inconveniente de que no alcanzan grandes recorridos, ni velocidades comparables con la de los ascensores de los otros sistemas, salvo que utilicen vástagos telescópicos, lo que los encarece mucho.

En la acción indirecta, los ascensores hidráulicos transmiten el impulso del vástago a la cabina por medio de cables semejantes a los utilizados en los otros sistemas de elevación, o por medio de cadenas de rodillos. Este tipo de disposición permite mayores recorridos y velocidades de elevación, sin aumentar excesivamente la longitud de los vástagos.

La transmisión diferencial consiste en que el vástago ó pistón empuja una polea y ésta a los cables o cadena, uno de cuyos extremos está fijado a la estructura del edificio y el otro extremo va unido al bastidor de la cabina. Así se consigue que el recorrido y la velocidad del conjunto polea-vástago sean duplicados por la cabina.



De igual manera que en el sistema de enrollamiento, la no presencia de un contrapeso permite dimensionar la cabina a las máximas medidas que permite el pozo.

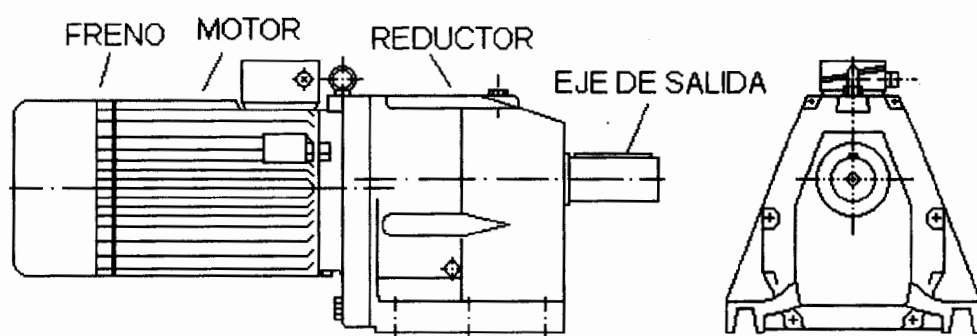


**Figura 1.3.- Disposición de Cilindro y Vástagos en Sistema Hidráulico de Elevación por Acción Directa.**

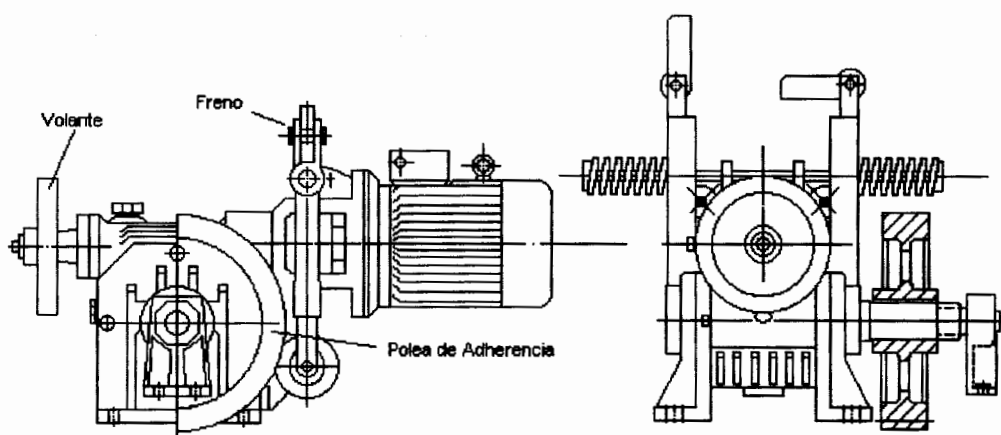
## Componentes Mecánicos y Eléctricos de un Elevador

### 1.4.1. Grupo Tractor.

En los elevadores que funcionan por adherencia o enrollamiento se denomina *grupo tractor* al conjunto de motor, freno y caja de reducción por engranajes, además de la bancada sobre la cual va montado el conjunto y los acoples correspondientes. A partir del eje de salida de la caja reductora se instala ya sea la *polea motriz* o el *tambor de enrollamiento* de cable. Es, en esencia, la maquinaria necesaria para producir el funcionamiento del aparato elevador



**Figura 1.4.- Motorreductor de Dientes Helicoidales, Eje de Salida Recto.**

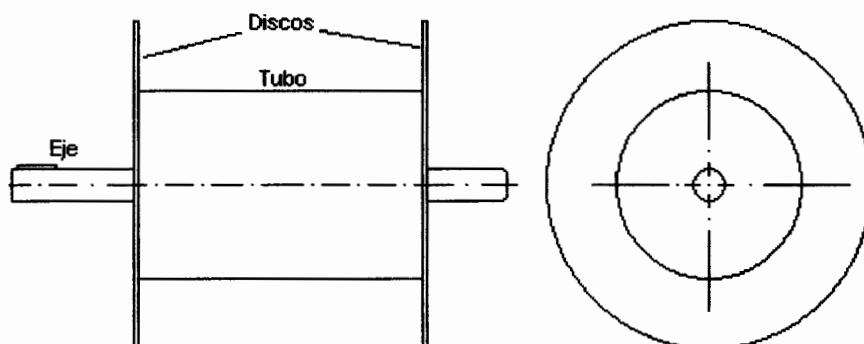


**Figura 1.5.- Grupo Tractor *sin fin* – corona. Eje de salida a 90°.**

### ***Tambor de Enrollamiento.-***

El tambor enrolla el cable cuando gira, acoplado al eje de la caja reductora. El número de espiras que se forman puede rebosar la primera capa, formando una segunda, y así sucesivamente. A medida que crece el número de capas, el diámetro efectivo de enrollamiento crece también, aumentando la velocidad a que se enrolla el cable y disminuyendo proporcionalmente la fuerza tractora. Para definir los límites en el número de capas y las variaciones entre la fuerza y la velocidad, se dimensiona la longitud y el diámetro del tambor en función de la longitud total del cable que debe enrollarse para producir el recorrido total del elevador. Esta operación ha

merecido la elaboración del procedimiento de cálculo descrito en el Anexo A.



**Figura 1.6. – Tambor de Enrollamiento del Cable de Tracción.**

### ***Polea de Tracción.-***

En los elevadores de polea de arrastre, la adherencia de los cables sobre la o las gargantas de la polea, debe ser suficiente para que al moverse ésta arrastre los cables tanto en subida como en bajada, con la cabina plenamente cargada.

Para que se realice este arrastre sin deslizamiento, debe verificarse que:

$$(T1/T2)*C1*C2 \leq e^{f\alpha}$$

En la que:

$T1/T2$  es la relación entre la carga o fuerza estática mayor ( $T1$ ), y menor ( $T2$ ), que solicitan los dos ramales de cables suspendidos de la polea de arrastre;

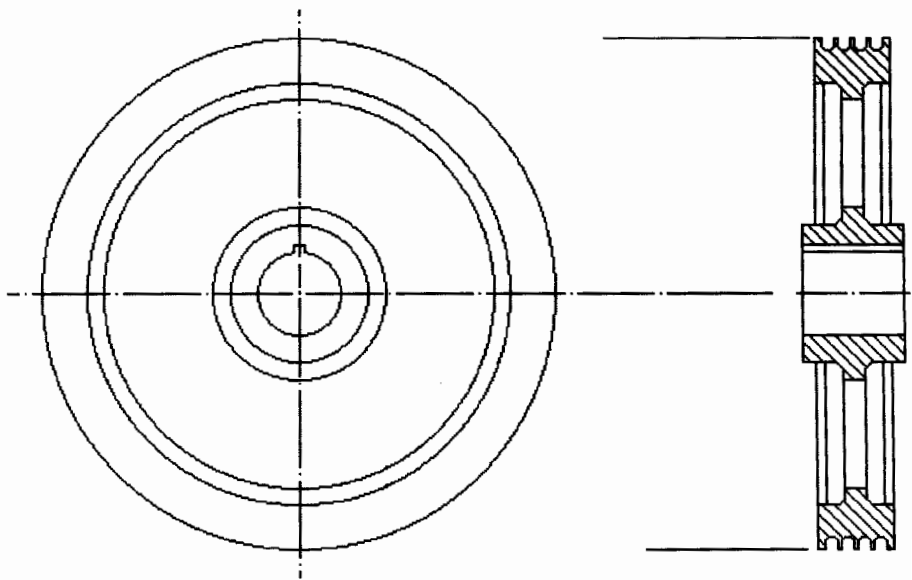
$C1$ , coeficiente función de la desaceleración  $a$  de frenado de la cabina y de la aceleración normal de la gravedad;

$C2$ , coeficiente función del perfil de la garganta de la polea;

$e$ , base de los logaritmos neperianos;

$f$ , coeficiente de rozamiento de los cables sobre las gargantas de la polea de tracción;

$\alpha$ , arco de enrollamiento de los cables sobre la polea, la que es de hierro fundido. Su valor promedio es de 0.10



**Figura 1.7.- Polea de Adherencia de Cuatro Gargantas.**

***Cables de Tracción.-***

Los cables de tracción utilizados en los elevadores están formados de alambres de acero, enrollados en grupos que forman los *cordones*, los cuales, a su vez, se enrollan alrededor de un *alma* generalmente de fibra vegetal ó sintética, impregnada de grasa especial.

Los alambres que forman los cables se trefilan de acero al horno eléctrico, de 0.3 al 0.8 % de C. La carga de ruptura a la tracción debe estar comprendida entre 160 y 180 kg / mm<sup>2</sup> , y el coeficiente de seguridad para seleccionarlos deberá estar comprendido entre 10 y 15.

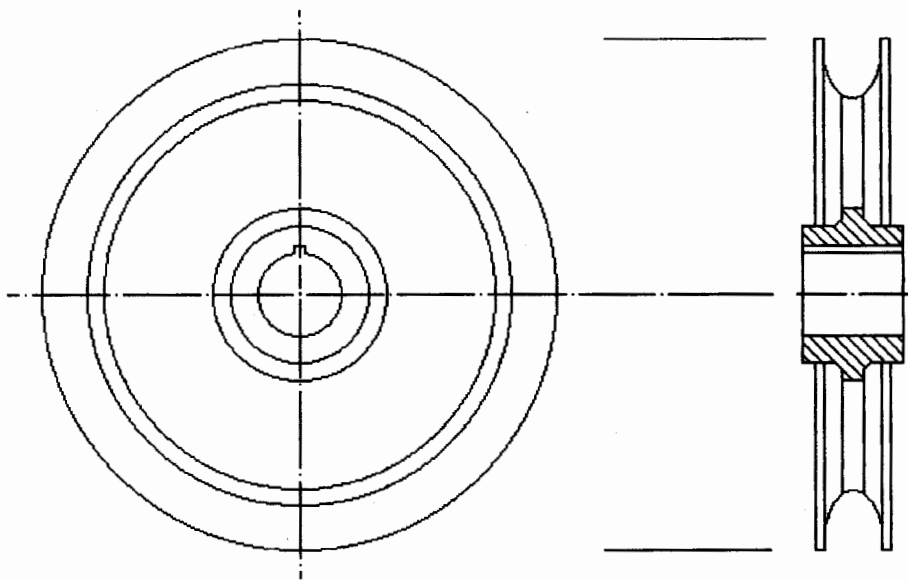
Los cables de acero se deben sujetar por medio de *casquillos de amarre* o de *grilletes* (abrazaderas). En el caso de utilizar grilletes, el número de éstos no será menos de tres en cada uno de los extremos sujetos.

***Poleas de Polipasto.-***

En el sistema de enrollamiento, las poleas cumplen con la función de derivar al cable y generar las líneas de polipasto con que se cumple la elevación. El número de líneas formadas

proporciona el factor por el cual se multiplica la fuerza elevadora y se divide la velocidad de elevación.

A fin de minimizar el deterioro del cable por efecto de la fatiga por flexión, se debe observar la relación de diámetro de polea a calibre de los alambres del cable en el orden de 400. Dado que el cable se enrolla también alrededor del tambor, éste debe ser dimensionado en el mismo orden que las poleas.



**Figura1.8.- Polea de Una Garganta para Cable de Acero.**

### ***Contrapeso.-***

En el sistema de elevación por adherencia, el contrapeso tiene la misión de equilibrar el peso de la cabina y, por lo general, de un 40 a 50% de la carga nominal. De esta forma se reduce el

peso que debe elevar el grupo tractor, reduciéndose la potencia necesaria y la energía consumida en el orden del 75%.

El contrapeso generalmente está constituido por bloques de hormigón o de hierro, a los cuales se los monta unidos en un bastidor. El recorrido vertical lo realiza conducido por rieles guías semejantes a las de la cabina.

#### **1.4.2 Cabina**

La cabina es el elemento portante del elevador. Está formada básicamente por un bastidor y su cubículo.

El bastidor es la estructura metálica resistente unida por medio de los cables y/o poleas al grupo tractor. Debe ser robusto, diseñado para resistir ampliamente las cargas a ser elevadas. Su construcción es, fundamentalmente, por soldadura; excepto los elementos deslizantes, que son instalados por medio de uniones pernadas.

El cubículo, que generalmente es construido de manera integrada al bastidor, es el elemento portante propiamente dicho. Consiste de piso antideslizante, paredes de planchas metálicas montadas en módulos para otorgarles rigidez, y cielo



raso de igual material que las paredes, pero con **disposición a** la instalación de luz y extractores de aire.

El conjunto de bastidor y cubículo debe ser diseñado para soportar sin deformarse la carga normal y las fuerzas de inercia que se producen en los arranques y paradas a plena carga.

El área útil de la cabina debe ajustarse al tipo de instalación efectuada. Cuando el pozo del elevador debe ser compartido con una instalación de contrapesos, la disponibilidad efectiva del área estará en el orden del 70%. Cuando se cuenta con instalación de polipasto de enrollamiento o elevación hidráulica, el área útil disponible, sin contar el espacio requerido para la fijación de las rieles, será del 100%.

Las dimensiones interiores para elevadores de cargas están tabuladas en cuadros adjuntos a la presente tesis; pero existe la libertad de ajustarse en conveniencia a la dimensiones interiores del pozo o ducto del edificio, conforme los requerimientos de volumen de carga.

La relación entre el área útil de cabina y el peso / volumen de la carga debe ser ampliamente a favor de este último, dado el

inevitable exceso en que durante la estibación incurrirá el personal dedicado a esta tarea.

### **1.4.3 Rieles Guías**

Son los elementos funcionales del pozo, pues su papel es mantener la dirección vertical de la cabina (y del contrapeso, si lo hubiere) durante toda su marcha.

Se instalan por lo general en pareja, aplomadas y en paralelo.

Son perfiles rectilíneos de acero, empalmados de tramo en tramo por placas que preservan la rectitud.

Su montaje es sobre *durmientes*, a las cuales van fijadas por bridas de sujeción que permiten la compensación automática o por medio de sencillos ajustes de las deformaciones que, por contracción del hormigón, movimientos sísmicos o asentamientos, sufra el edificio.

Las *durmientes* son ancladas sólidamente a los nervios de acero del hormigón armado de las vigas y/o losas del edificio.

Se las instala separadas entre sí como máximo cada 1.50 m, a fin de contar con las reacciones de las paredes al darse sobrecargas por excentricidad de la mercadería transportada.

#### **1.4.4 Puertas.**

La seguridad del personal que desempeña la tarea de estibar, así como la de las demás personas próximas a un elevador de carga, depende en gran medida de las puertas de acceso.

Las puertas de acceso a un elevador de carga pueden ser de accionamiento manual o automático, dependiendo del procedimiento particular con que se efectúa la labor de embarque / desembarque de carga.

El funcionamiento del elevador estará interrumpido por corte del circuito eléctrico de mandos durante todo el tiempo que una, cualesquiera de las puertas de acceso, esté abierta o mal cerrada. De igual manera, mientras el elevador se encuentre en funcionamiento, las puertas de acceso deberán estar bloqueadas por medio de enclavamientos electromecánicos, a fin de impedir su apertura accidental o negligente, lo que ocasionaría la interrupción del funcionamiento.

Es conveniente que las puertas de acceso de un elevador permitan ver a sus operarios si la cabina se encuentra en el respectivo piso, al menos mediante una mirilla. De no ser ese

el caso, una señal luminosa deberá informar a los operadores de la ubicación de la cabina.

Las medidas de las puertas de acceso en los elevadores de carga deben permitir el completo aprovechamiento de la anchura y altura de la cabina, constituyéndose el boquete de la puerta en una proyección del plano frontal del interior libre de la cabina.

La disposición y construcción de las puertas manuales de acceso puede variar desde abatibles (batientes), corredizas, plegables (tijera, acordeón), articuladas, de guillotina, etc. En cualesquiera de los casos deben ser robustas, pero siempre de fácil y rápida maniobra de cierre-apertura.

Las puertas automáticas de acceso requieren más trabajo de instalación y mantenimiento que las puertas de accionamiento manual, pero ofrecen seguridad adicional contra los accidentes, dado que están a salvo de operaciones anormales e imprudentes de los usuarios. En ese sentido, cuentan además con sensores fotoeléctricos que efectúan la detención de las hojas de las puertas y su reapertura inmediata en el caso de que se encuentre una persona o bulto a medio entrar / salir de la cabina.

En caso de corte del suministro eléctrico o de avería del funcionamiento del elevador, el acceso al interior de la cabina será posible por liberación de los enclavamientos electromecánicos de las puertas por medio de las llaves especiales que estarán al alcance inmediato del personal encargado del uso del elevador. Posteriormente, la restauración del funcionamiento del elevador será efectuada por personal calificado.

#### **1.4.5 Control Eléctrico de Potencia, Mandos y Límites.**

El control de un elevador se centra en el control eléctrico del motor. Los motores eléctricos comúnmente empleados en la construcción de elevadores de carga son motores de inducción de corriente alterna, monofásicos o trifásicos, todos los cuales son siempre reversibles, esto es, capaces de invertir el sentido de giro de sus rotores por medio del control de la alimentación eléctrica a los devanados de sus estatores.

Los motores más idóneos para este servicio son los trifásicos, dadas sus características de simplicidad de construcción y funcionamiento. El sistema trifásico permite efectuar la reversibilidad instantánea del giro del rotor intercambiando dos

de las tres líneas de su alimentación eléctrica. Además, los motores de inducción trifásicos *jaula de ardilla* pueden desarrollar un par de arranque de hasta el 300% del par nominal, y pueden sostener sobrecargas de hasta el 25% durante moderados lapsos de funcionamiento. Todo esto cuando la alimentación trifásica es conectada en disposición *delta* (triángulo). Si el arranque se efectuara en *Y* (estrella), los valores transientes de par y corriente serían sensiblemente menores.

Llamase *Control de Potencia* a la disposición de contactores, protección térmica y líneas conductoras que efectúan la conducción de corriente trifásica al motor. Los contactores, en número de dos, constituyen el *inversor*, puesto que cada uno de ellos entrega la alimentación trifásica con dos líneas intercambiadas respecto del otro.

El *Control de Mandos* es aquel que permite el funcionamiento discrecional del elevador por parte del operario. Consiste de pulsadores de llamada / envío / paro, cuyas señales son recibidas por los relés de marcha y maniobra, los cuales, conforme la ubicación de la cabina y el destino de la señal de envío / llamada, acciona al contactor de *subida* o al de *bajada*,



según el caso, hasta que se produzca el cumplimiento de la orden emanada en el acto de pulsar.

El *Control de Límites* permite identificar la posición relativa de la cabina al conjunto del tablero de control eléctrico. Funciona a partir de las señales generadas por los interruptores (microswitchs) instalados convenientemente en cada una de las estaciones del elevador. En caso de estar situada la cabina en uno de los extremos de su recorrido, los interruptores de carrera normalmente bloquearán las señales eléctricas que hicieran que la cabina continuara moviéndose más allá de esos límites extremos (sobrecarrera).

Los Interruptores de sobrecarrera, expresamente instalados por encima y por debajo de la trayectoria normal de marcha, actuarían en caso de producirse un fallo en los interruptores normales. Éstos y un *seccionador*, que es un interruptor de dos de las tres líneas de corriente trifásica, el cual actúa justo por encima del interruptor de sobrecarrera superior, constituyen el *Sistema de Seguridad* del elevador.

Considerando en conjunto todos estos elementos y órganos de control, mando, marcha, maniobra, operación y paro, se tiene

el *Sistema de Control Automático* de funcionamiento de un elevador.

#### **1.4.6 Dispositivos de Protección y Seguridad.**

A manera de corolario, se resumirán en este apartado los distintos dispositivos de protección y seguridad que ya fueran mencionados en los acápites anteriores. Se distinguirá, de hecho, la importancia que estos dispositivos representan para hacer confiable el uso de elevadores de carga en bodegas comerciales o en cualquier lugar donde su servicio se requiera..

- Interruptores de corriente de control en las puertas;
- Pulsadores de paro (STOP) en la cabina;
- Fococeldas que detienen el cierre de las puertas automáticas y las reabren, cuando se presenta un obstáculo en el área adyacente al acceso;
- Interruptores de sobrecarrera;
- Seccionador de fases sobre interruptor superior;
- Enclavamientos electromecánicos de las puertas;
- Llaves para liberar los enclavamientos de las puertas; en caso de falla de suministro eléctrico o avería del elevador;



- Protección térmica a sobrecargas del motor;

En términos generales, la buena conservación del equipo y sus componentes es el objetivo del mantenimiento preventivo que el elevador debe recibir cada mes. Cumpliéndose esta condición, las seguridades del elevador serán altamente eficaces.

### **1.5 Infraestructura para Construcción e Instalación de un Elevador.**

Por *infraestructura* se entenderá todos los requisitos estructurales y de suministro eléctrico del edificio que deben ser atendidos por parte del propietario o constructor del edificio, a fin de posibilitar la correcta instalación del elevador.

#### ***Pozo, Ducto o Recinto.-***

El pozo del elevador, o ducto, es el espacio exclusivamente destinado al desplazamiento de la cabina y del contrapeso –si lo hubiere-, contando además la instalación de las respectivas rieles. Su área efectiva es aquella área interior libre de salientes o protuberancias de las paredes.

Se solicita al constructor civil del edificio que las paredes del pozo sean levantadas con ladrillos, y que formen una superficie enlucida continua, perfectamente aplomada en todas las caras del recinto.

Donde sea necesario efectuar el anclaje de las durmientes de las rieles, y no se disponga de una viga o columna de hormigón, se solicitará, además, la fundición de viguetas de hormigón armado.

### ***Sala de Máquinas.-***

Encima del pozo suele construirse la sala de máquinas, lugar donde se instalan la maquinaria y los tableros de mando y control. A través de agujeros hechos en la losa, circularán los cables de tracción; y por medio de tuberías eléctricas, las líneas de alimentación al motor y el cableado de mandos, límites y seguridad.

La losa del piso debe ser calculada para el total de las cargas estáticas solicitadas por el conjunto del elevador. Consideraciones de diseño civil establecen los respectivos factores de seguridad para este cálculo.

Se pedirá al proyectista civil, o arquitecto, que la sala de máquinas sea apropiadamente cubierta de la lluvia, espaciada y ventilada, a fin de permitir un funcionamiento del grupo tractor dentro de condiciones de trabajo favorables. De igual manera, el acceso, por una parte

restringido para personas no relacionadas al mantenimiento del elevador, deberá ser facilitado por medio de escaleras y puertas para la rápida atención del personal de mantenimiento y reparaciones.

### ***Foso.-***

Es la parte inferior del pozo, por debajo del nivel de la primera parada. Su construcción debe tomar en cuenta la impermeabilidad a las filtraciones freáticas. En su piso se montarán los amortiguadores, que frenarán la sobrecarrera de la cabina en caso de fallo de los mecanismos de parada automática e interruptores de carrera, y para disminuir los efectos de su caída libre, en caso de rotura de los cables.

La profundidad del foso, debe ser tal que, cuando la cabina repose sin la acción de los cables de tracción, comprimiendo los resortes de amortiguación, quede un espacio libre de altura de al menos 50 cm, suficiente para que pueda quedar a salvo un hombre.

### ***Acometida Eléctrica.-***

Los elevadores de carga, calculados para elevar mercadería voluminosa y abundante, deben ser diseñados para rendir un servicio estable, aun en los momentos de máxima exigencia. Tales

condiciones determinan que la maquinaria conveniente sea la de corriente trifásica.

Por lo general, los edificios dedicados a bodegas en sus plantas superiores están dotados de corriente trifásica; pero cuando no es ese el caso, su obtención se vuelve un requisito a ser atendido de antemano cuando existe el proyecto de construir e instalar un elevador. Tal acometida trifásica debe ser solicitada por el propietario o administrador a la empresa eléctrica que vende la energía al sector, indicando la potencia del grupo tractor y el servicio específico que éste va a rendir.

# CAPÍTULO 2

## 2. DISEÑO DEL ELEVADOR.

### 2.1 Requerimientos para el diseño.

El proyecto del Centro Comercial consiste en atender al público en los locales comerciales de la planta baja y el primer piso alto, mientras que en los pisos dos y tres estarán instaladas las bodegas destinadas al almacenamiento de la mercadería de los locales comerciales propios del edificio, y también la de los arrendatarios externos interesados en contar con lugares seguros para guardar su mercadería. El número de locales comerciales entre planta baja y piso 1 es de 32, y el de las bodegas repartidas entre los pisos 2 y 3 es de 56. El área total de bodegas es 2 500 m<sup>2</sup>.

Los tipos de mercadería principalmente estibadas la constituyen ropa, zapatos, juguetes, bisutería, adornos y comida. El embalaje es por lo general en cajas de cartón corrugado, en tamaños varios pero

siempre de bajo peso por unidad (baja densidad de carga). Por manera que, para agilizar el movimiento de mercadería en las horas pico (06h30-08h00; 18h00-20h00), se estipula que la cabina debe tener la mayor capacidad de volumen posible, y que a partir de esta condición, se deberá establecer el peso máximo a elevar.

## 2.2 Método de Selección de Sistema Elevador

En base a los antecedentes presentados en el acápite anterior, se debía privilegiar el área útil de la cabina. Los sistemas elevadores por enrollamiento e hidráulico prescinden de contrapeso, pero el hidráulico se vuelve de instalación muy onerosa a partir de los 7 metros de recorrido. Por tanto, desde un principio, el sistema de enrollamiento aparecía como la mejor opción.

La matriz de comparación adjunta permite dilucidar los pro y contra de cada uno de los sistemas considerados.

Sistema Elevador	Área Útil Cabina/Pozo	Velocidad de Desplazamiento	Infraestructura Civil	Costos Relativos
Adherencia	70%	0.20-0.25 m/s	100%	100%
Enrollamiento	100%	0.17-0.21 m/s	100%	80%
Hidráulico	100%	0.20-0.30	200%	200%

**Tabla 1.- Matriz de Comparación de Sistemas Elevadores**

En base a las consideraciones aquí resumidas, se decidió instalar el sistema de enrollamiento y polipasto.

### **2.3 Determinación de la Capacidad Elevadora.**

El peso máximo de mercadería que debería transportarse verticalmente en un solo viaje fue establecida en 1000 kg; y, considerando la excepcional posibilidad de tener que elevar unidades de aire acondicionado, plantas de generación eléctrica, congeladores, etc., se extendió en un 50% *adicional* la capacidad elevadora, haciendo un total de 1500 kg el requerimiento de elevación. A este 50% adicional se lo considerará como *margen o factor de seguridad de capacidad elevadora del motor*.

### **2.4 Dimensionamiento de Cabina.**

El pozo para elevador, seleccionado por los proyectistas del edificio, correspondía a un anterior pozo de luz (el edificio fue remodelado, con modificaciones en su estructura puramente ornamentales). Las medidas obtenidas de su área efectiva fueron 2.30 m de ancho por 2.00 m de fondo. Como se verá más adelante, la disposición elevadora escogida fue la de tambor de enrollamiento, que prescinde de contrapeso, por lo cual se pudo dimensionar el área útil de la cabina a lo máximo que permitieran las medidas del ducto. La altura

interior libre de la cabina fue acordada en 2.10 m, en razón de la máxima altura de apilamiento de las cajas de cartón.

## 2.5 Recorrido del Elevador.

La altura total que debe recorrer el elevador es 12 m, medidos desde la planta baja hasta la tercera planta alta.

## 2.6 Grupo tractor.

### 2.6.1 Sistema de Polipasto

Sea el cable de acero que efectúa el circuito 0-1-2-3-4, transmitiendo movimiento a la cabina mediante el enrollamiento / desenrollamiento en el tambor.

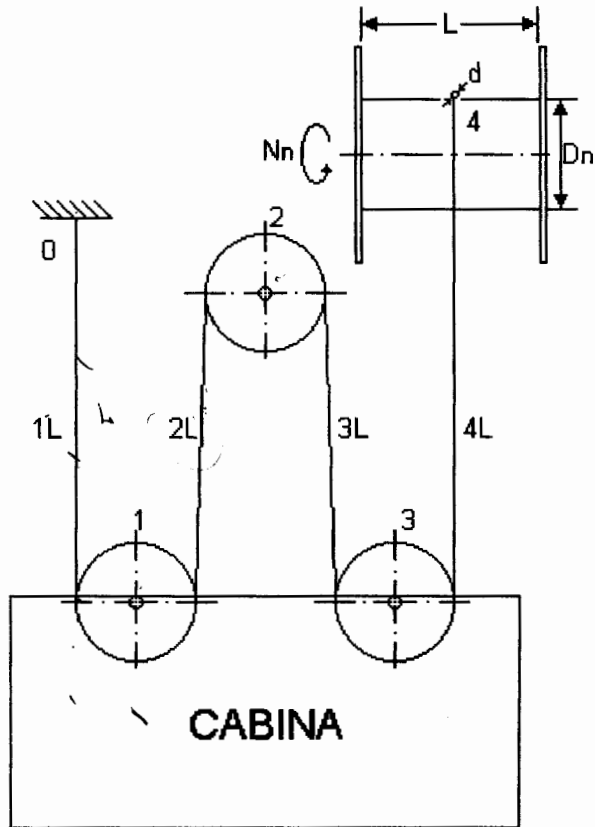
Al ejecutarse el movimiento de la cabina entre los extremos de su recorrido, el cable de acero se habrá desenvuelto en sus cuatro derivaciones.

$$V_4 = \frac{4L}{T}; V_3 = \frac{3L}{T}; V_2 = \frac{2L}{T}; V_1 = \frac{L}{T}$$

Igualando a T:

$$\frac{4L}{V_4} = \frac{3L}{V_3} = \frac{2L}{V_2} = \frac{L}{V_1}$$





**Figura 2.1. Disposición de Polipasto de 4 Líneas.**

Siendo  $V = ND$

$$\frac{4}{N_4 D_4} = \frac{3}{N_3 D_3} = \frac{2}{N_2 D_2} = \frac{1}{N_1 D_1}$$

En general, para un número  $n$  de líneas activas, se tendrá:

$$\frac{N_n D_n}{n} = \frac{N_{n-i} D_{n-i}}{n-i}$$

Donde:

$N_n$ , velocidad angular del tambor [rpm];

$D_n$ , diámetro del tambor [m];

$n$ , número de líneas activas;

$i$ , índice de cualesquiera de las líneas i/o poleas del polipasto.

$i=1, 2, \dots, n-1$ .

En particular, para un sistema de cuatro líneas activas, tendremos:

$$\frac{N_4 D_4}{4} = \frac{N_i D_i}{i}$$

## 2.6.2 Dimensiones de tambor de Enrollamiento.

Puesto que el enrollamiento del cable tractor produce varias capas, las cuales, al formarse, incrementan el diámetro y, por ende, la velocidad lineal, mientras se reduce la fuerza disponible de elevación, es necesario dimensionar el tambor de enrollamiento como elemento crítico en el mecanismo elevador que se está diseñando.

A causa de la aparición de componentes longitudinales (axiales) de apreciable magnitud, producidos por la tensión del cable cuando su ángulo de entrada al tambor respecto de la vertical es mayor a  $4^\circ$ , se deben establecer restricciones a la longitud del tambor.

La máxima longitud de tambor que nos permite un enrollamiento de cable a menos de  $4^\circ$  respecto de la vertical es  $L = 0.33$  m.

Dado que los tambores son construidos a partir de tramos de tuberías estándares sin costura, sus diámetros están estandarizados en la misma escala. Guardando la relación de  $D_o / d_a \geq 400$ , donde  $D_o$  es el diámetro exterior del tubo del tambor y  $d_a$  el calibre de uno de los alambres del cable seleccionado ( $d_a = 0.5$  mm), los diámetros desde los cuales se realizaron las selecciones son los de los tubos de tamaños nominales a partir de 7 (7.625", 8.625", etc.).

La ecuación deducida en el Anexo A, permite calcular el número  $m$  de capas de cable de diámetro  $d$  y longitud activa  $\Lambda$ , enrollado alrededor de un tubo de longitud  $L$  y diámetro  $D_o$ .

Adoptando un sistema de polipasto de cuatro líneas, con un cable de  $3/8" \varnothing$  ( $=0.0095$  m), para un desplazamiento vertical

neto de 12 m ( $\Lambda = 48$  m, más cinco espiras de preenrollamiento, que hacen 3 m), y un tambor de tamaño nominal No. 8 ( $D_o = 8.625'' = 0.22$  m), y  $L = 0.33$  m, tenemos:

$$m = \frac{\left(1 - \frac{D_o}{d}\right) + \sqrt{\left(\frac{D_o}{d} - 1\right)^2 + 4 \frac{\Lambda + 3m}{\pi L}}}{2}$$

$$m = \frac{\left(1 - \frac{0.22}{0.0095}\right) + \sqrt{\left(\frac{0.22}{0.0095} - 1\right)^2 + 4 \left(\frac{48 + 3}{0.33\pi}\right)}}{2}$$

$$m = 2.19$$

Puesto que el acomodamiento de las espiras del cable alrededor del tambor no es perfecto, se debe ajustar el número de capas por un *factor de acomodamiento*,  $K_a$ , que, para cables de 3/8" enrollados en tambores de tubo No. 8, es aproximadamente igual a 1.05. Se tiene entonces que

$$m_a = K_a \times m$$

$$m_a = 1.05 \times 2.19 = 2.3$$

Cabe anotar que es posible ajustar la longitud del tambor de tal manera que se pueda concluir el enrollamiento del cable justo

en la mitad de dicha longitud; de ese modo, cuando la cabina se encuentre en el extremo superior de su desplazamiento, el cable estará envuelto sin inclinación respecto de la vertical.

Iterando la ecuación anterior con valores de L menores a 0.33, se tendrá, para  $L = 0.30$ :

$$m = \frac{\left(1 - \frac{0.22}{0.0095}\right) + \sqrt{\left(\frac{0.22}{0.0095} - 1\right)^2 + 4\left(\frac{48+3}{0.30\pi}\right)}}{2}$$

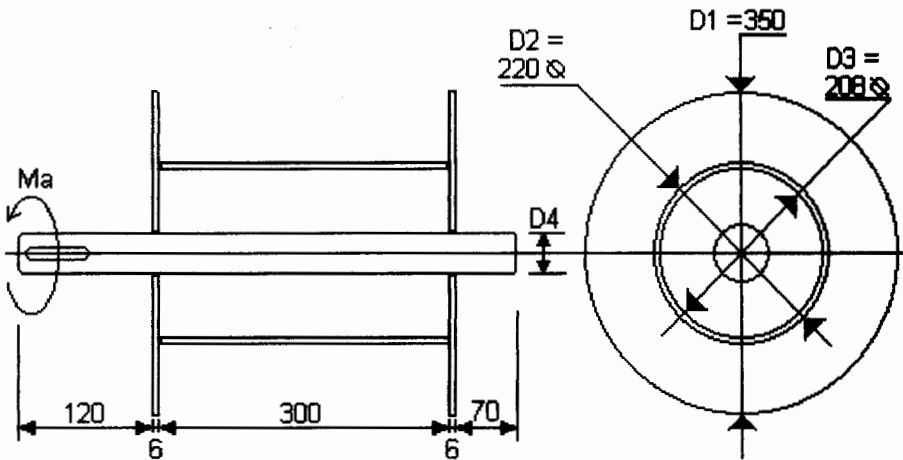
$$m = 2.39$$

$$m_a = K_a \times m$$

$$m_a = 1.05 \times 2.39 = 2.51$$

$$m_a = 2.51$$

En resumen, se ha dimensionado el tambor a las siguientes magnitudes:



<b>Diámetro Interior del Tubo [m]</b>	0.22
<b>Diámetro Exterior del Tubo [m]</b>	0.208
<b>Longitud del Tubo [m]</b>	0.3
<b>Diámetro de los Discos [m]</b>	0.35
<b>Espesor de los Discos [m]</b>	0.006
<b>Número de Capas</b>	2.51
<b>Tramo Preenrollado [m]</b>	5
<b>Longitud Activa de Cable [m]</b>	53

**Tabla 2.- Dimensiones Principales del Tambor de Enrollamiento de Cable de Tracción.**

### 2.6.3 Tipo, Calibre y Longitud del cable tractor.

Siendo la carga total de 1900 kg, la carga desmultiplicada en el polipasto es el 25%; esto es, 475 kg. De la Tabla 10, de Datos sobre Cables de Acero, se seleccionará, para un factor de seguridad mayor a 10, el cable de izaje 6x19, de  $d = 3/8"$  (9.525 mm), alma de yute, cuyo resistencia nominal es de 106 kip / pul<sup>2</sup>

$$475 \text{ kg} \times 2.2 = 1045 \text{ lb}$$

Esfuerzo de Tracción

$$S = (4 \times 1045) / 3.1416 / (3/8)^2$$

$$S = 9462 \text{ lb/pul}^2$$

$$S = 9.5 \text{ kip/pul}^2$$

$$FS = 106/9.5$$

**Factor de Seguridad de Selección del Cable = 11.2**

## 2.6.4 Motorreductor: Cálculo de Potencia y velocidad.

**Velocidad.**

En base a las medidas del tambor de enrollamiento se pueden determinar las velocidades reales de desplazamiento de la cabina.

Sea  $V_{to}$  la velocidad tangencial del tambor de diámetro  $D_o$ ,  
[m/s];

$V_{do}$ , la velocidad inicial de desplazamiento de la cabina [m/s];

$N$ , la frecuencia de rotación del eje de salida [rpm];

Por Cinemática sabemos que:

$$\omega = (2\pi/60) N$$

$$V_{to} = 4 V_{do}$$

$$V_{to} = \omega D_o / 2$$

$$V_{d0} = N(2\pi/60)(D_0/2)/4$$

Para una frecuencia de rotación de 60 rpm, la **velocidad** de desplazamiento de la cabina será:

$$V_{d0} = 60 (2\pi / 60) \times (0.22 / 2) / 4$$

$$\mathbf{V_{d0} = 0.17 \text{ m/s}}$$

Al ser  $m = 2.51$ , significa que hay dos capas formadas y una tercera en formación. El diámetro *formado* es igual al del tubo más dos veces dos el diámetro del cable.

$$D_2 = D_0 + 2(2d)$$

$$D_2 = 0.22 + 2(2 \times 0.0095)$$

$$\mathbf{D_2 = 0.26 \text{ m}}$$

Se calculará ahora la velocidad de desplazamiento de la cabina cuando el cable está enrollando sobre la segunda capa formada,  $V_{d2}$ .

$$V_{d2} = N(2\pi/60)(D_2/2)/4$$

$$V_{d2} = 60(2\pi/60)(0.26/2)/4$$

$$\mathbf{V_{d2} = 0.21 \text{ m/s}}$$

A esta velocidad máxima de desplazamiento de la cabina se le aplicará el cálculo de potencia elevadora y torque resistente máximo.



### **Potencia Elevadora y Momento Resistente.**

Considerando que el peso propio de la cabina del elevador es de 400 kg y que la carga autorizada es de 1500 kg, se tiene la carga total de 1900 kg. El rango de velocidades fue establecido entre 0.17 y 0.21 m/s. Por consiguiente:

$$Q_T = 1\ 500 + 400 = 1\ 900\ \text{kg}$$

$$Q = 1\ 900\ \text{kg} \times 9.8\ \text{m/s}^2 = 18\ 620\ \text{N}$$

$$P = Q_T \times V_{d2}$$

$$P_2 = 1\ 860 \times 0.21 = 3\ 906\ \text{W}$$

$$\mathbf{P_2 = 3.91\ kW}$$

Que es la potencia elevadora a ser desarrollada en el eje de salida del conjunto motorreductor.

El torque asociado a esta potencia,  $M_2$ , es el *torque o par resistente* que el grupo tractor debe desarrollar para producir la elevación de la cabina a plena carga.

$$M_2 = 9550 \times P / n$$

$$M_2 = 9550 \times 3.91 / 60$$

$$\mathbf{M_2 = 622\ Nm}$$

## **2.7 Automatismo de Puertas Corredizas.-**

El acceso al elevador está protegido por puertas corredizas automáticas que fueron instaladas de manera complementaria a la instalación del elevador.

El mecanismo en que versan su funcionamiento consiste en un motor acoplado a una cadena de rodillos que comunica el movimiento de apertura-cierre de manera simultánea y recíproca entre dos hojas corredizas.

Cuando la cabina arriba al piso a que fue llamada, se acciona el control automático de apertura; y cuando se efectúa una nueva llamada, el sistema automático cierra primero las puertas antes de iniciarse el movimiento del elevador.

## **2.8 Dispositivos de Seguridad.**

En caso de avería del elevador o falla en el suministro eléctrico, el elevador simplemente suspende su funcionamiento. Dado que el freno actúa normalmente cerrado, la cabina se detendrá donde se produjo la falla.

El requisito de uso exclusivo de carga permite prescindir de paracaídas, cuya eficacia en recorridos cortos de elevación no es satisfactoria.

En el caso de que se produzca una falla con pasajeros a bordo del elevador, éstos podrán salir de la cabina por las escotillas dispuestas para este fin en el cielo raso. Además, las puertas automáticas pueden ser liberadas gracias a una llave que permite abrirlas en cualquier posición de la cabina.

## **Diseño de Elementos del Elevador**

### **Análisis del Eje del Tambor de Enrollamiento.**

Se efectuará el análisis del eje del tambor en las condiciones extremas de enrollamiento del cable, considerando que el torque generado por la tensión del cable se transmite al eje a través de los discos del tambor, desde el cilindro de enrollamiento. A partir de estos datos se trazarán los diagramas de momentos flector y de torsión.

Analizando primero las fuerzas transmitidas por la tensión del cable enrollado al cilindro, luego a los discos y de ahí al eje, se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_1 + F_2 - Q_t = 0$$

$$Q_t = 1900/4$$

$$Q_t = 475 \text{ kg}$$

$$Q_t = 4660 \text{ N}$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$280 F_2 - 280 Q_t = 0$$

$$F_2 = 4660 \text{ N}$$

$$F_1 = 0 \text{ N}$$

Las condiciones extremas se dan cuando el cable, al enrollarse, llega a uno de los extremos de la longitud del tambor. Los valores arriba calculados se revierten si se analiza el cable en el extremo izquierdo del tambor.

Se analiza ahora las fuerzas actuantes sobre el eje:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 - F_1 - F_2 = 0$$

Como  $F_1 = 0$ , y  $F_2 = 4660 \text{ N}$ , se tiene que

$$R_1 + R_2 = 4660 \text{ N}$$

$$\Sigma M_1 = 0$$

$$380 R_2 - 50 F_1 - 330 F_2 = 0$$

$$R_2 = 4047 \text{ N}$$

$$R_1 = 613.125 \text{ N}$$

El *Momento Flector Máximo* es, por lo tanto:

$$M_b = Pab / L$$

$$M_b = 4660 \text{ N} \times 0.05 \text{ m} \times 0.33 \text{ m} / 0.38 \text{ m}$$

$$M_b = 202 \text{ Nm}$$

$$M_b = 202 \text{ Nm} \times 2.2 \times 39.4 / 9.81$$

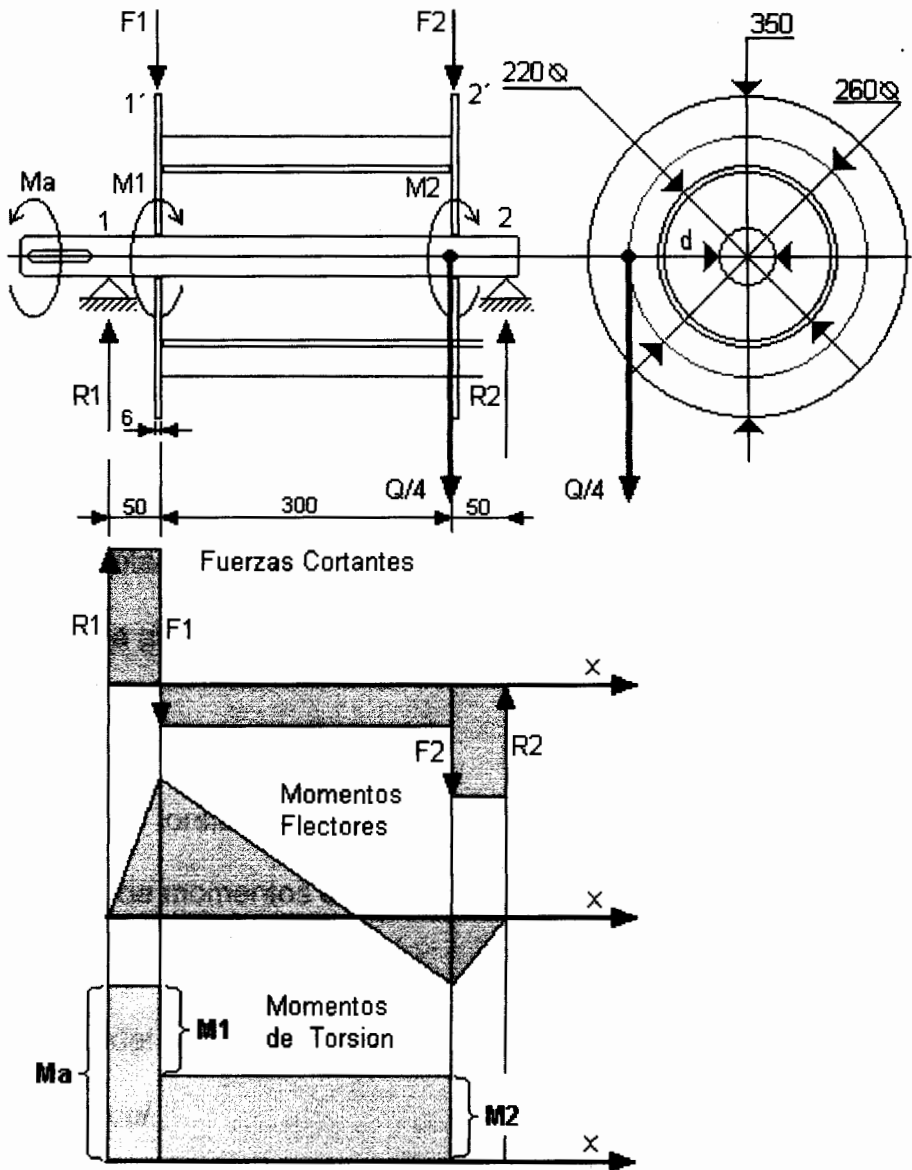
$$\mathbf{M_b = 1788 \text{ lb-pul}}$$

El *Momento de Torsión Máximo* es el momento resistente que equilibra la acción de las cargas sobre el tambor y sobre el eje.

$$\mathbf{M_t = 622 \text{ Nm}}$$

$$M_t = 622 \text{ Nm} (1 / 9.81) \times 2.2 \times 39.4$$

$$\mathbf{M_t = 5496 \text{ lb-pulg.}}$$



**Figura 2.2.- Diagramas de Cargas, Cortantes, Momentos Flectores y de Torsión sobre Tambor de Enrollamiento.**

### **Cálculo del Diámetro del Eje del Tambor.**

Aplicando la ecuación del código ASME para ejes macizos en rotación con carga axial pequeña o nula:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2}$$

En la cual

$K_b$ , factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector

$K_t$ , factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión

Para ejes en rotación:	$K_b$	$K_t$
Carga aplicada gradualmente	1.5	1.0

$M_b$ , momento de flexión, en lb-pul

$M_t$ , momento de torsión, en lb-pul

Del diagrama de momentos de flexión se tiene que

$$M_b = 1788 \text{ lb-pul}$$

Y del cálculo del acápite anterior

$$M_t = 5500 \text{ lb-pul}$$

$S_s$  (permisible) = 6000 psi para ejes con cuñero, según especifica el Código ASME para aceros comerciales de transmisión,

$$d^3 = \frac{16}{\pi 6000} \sqrt{(1.5 \times 1788)^2 + (1.0 \times 5496)^2}$$

$$d = 1.7315 \text{ pulg}$$

$$d = 44 \text{ mm}$$

Dado que, como se verá más adelante, el eje de salida del grupo tractor seleccionado tiene el diámetro de 75 mm, se seleccionará el eje de 3" (= 76.2 mm).

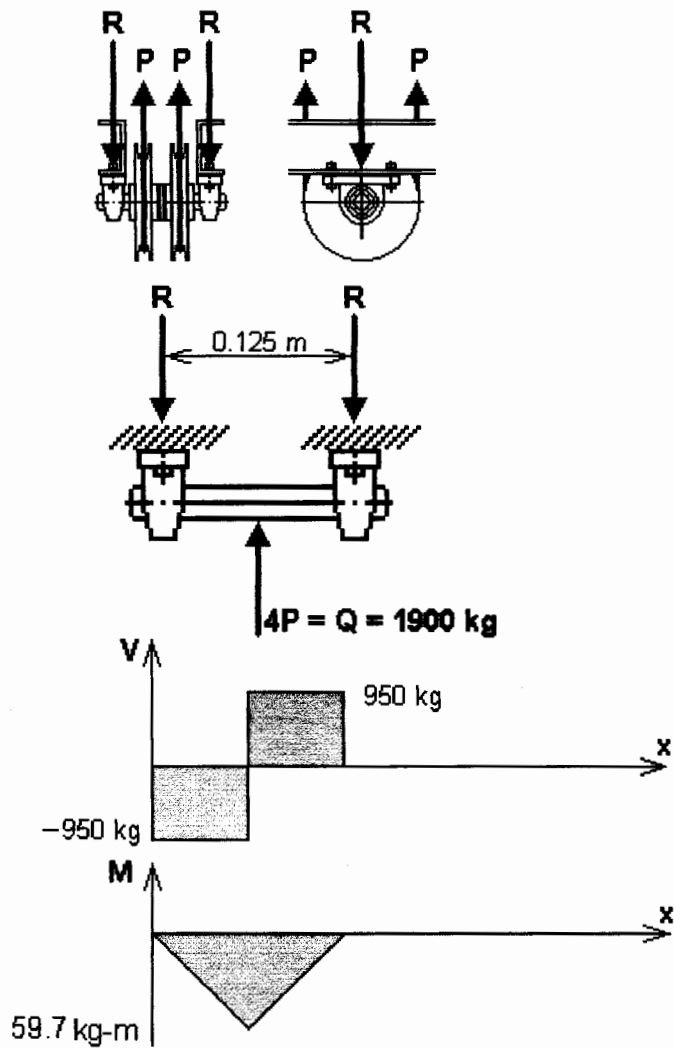
$$d_s = 76.2 \text{ mm.}$$

### **Diseño de Ejes de Poleas del Polipasto**

Se tiene que las poleas del polipasto son acopladas a ejes a los que van sujetadas por medio de pernos aprisionantes (prisioneros). Sendas chumaceras colocadas en cada extremo de los ejes soportan las cargas radiales dirigiendo la fuerza actuante hacia la base de montaje, evitando así someter el pedestal de hierro fundido de la cajera de la chumacera a esfuerzos de tracción excesivos; y por otro lado permiten el libre giro de las poleas conducidas por el cable de acero al realizarse el movimiento de la cabina.

Para el eje común de las poleas 1 y 3 del polipasto dispuesto, se tiene el siguiente diagrama de momentos flectores:





**Figura 2.3.- Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Eje Común de Poleas 1 y 3.**

De donde se establece que el momento flector máximo en el caso del eje común de las poleas 1-3 (poleas del cabezal de la cabina) es:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{QL}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{1900 \cdot 9.81 \cdot 0.125}{4}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 582.5 Nm$$

$$M_{m\acute{a}x} = 582.5 \cdot 2.2 \cdot 39.4 / 9.81$$

$$M_{m\acute{a}x} = 5147 lb - pul$$

Se tiene, para ejes macizos sometidos a flexi3n alternante:

$$d^3 = \frac{32M_b}{\pi S_b}$$

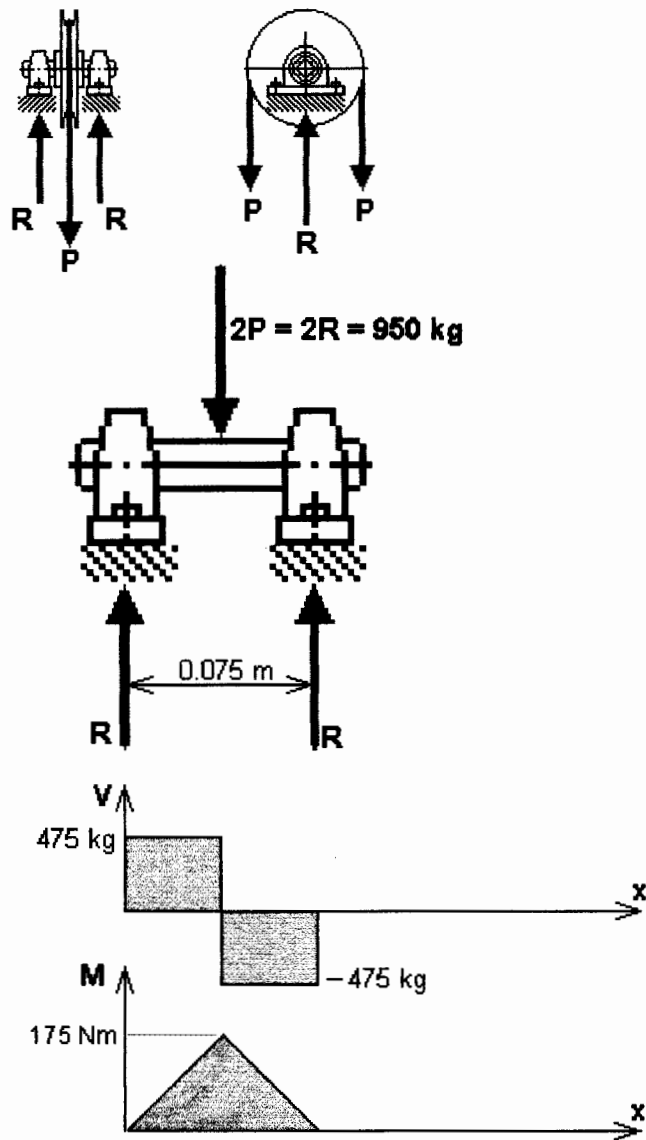
$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_b}{\pi S_b}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 5147}{8000 \cdot 3.1416}}$$

$$d = 1.87''$$

$$d_{1,3} = 47.5 mm$$

Para la polea de reenvio (polea No.2), montada en la bancada del grupo tractor, sobre la losa de la sala de maquinas, el c3lculo es el siguiente:



**Figura 2.4.- Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre Eje de Polea 2.**

El momento flector máximo en el caso del eje de reenvío (polea No. 2) es:

$$M_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = \frac{950 \cdot 9.81 \cdot 0.075}{4}$$

$$M_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = 175 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = 175 \cdot 2.2 \cdot 39.4 / 9.81$$

$$M_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = 1544 \text{ lb} - \text{pul}$$

Nuevamente, para ejes macizos sometidos a flexi3n alternante

$$d^3 = \frac{32M_b}{\pi S_b}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_b}{\pi S_b}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1544}{8000 \cdot 3.1416}}$$

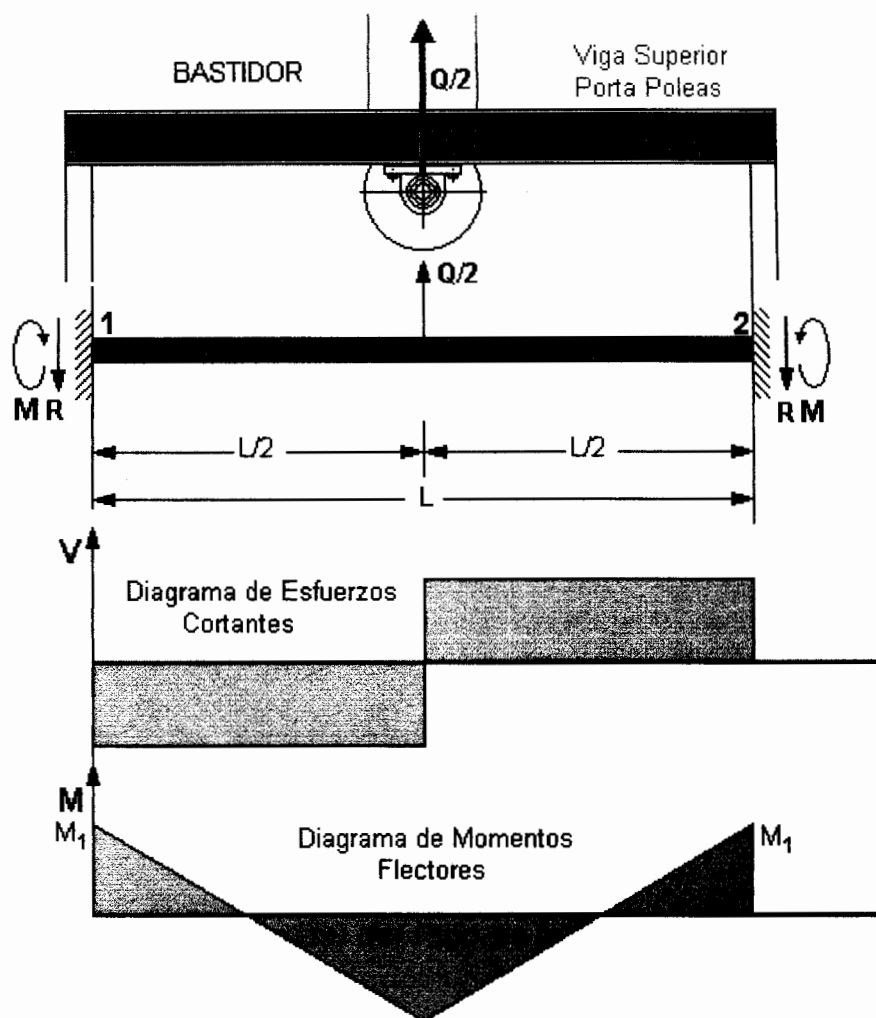
$$d = 1.25''$$

$$d_2 = 32 \text{ mm}$$



### **Diseño de Vigas Portapoleas del Bastidor**

Se analizará el cabezal superior del bastidor de la cabina como un par de vigas (Elementos H), cuyos extremos son unidos por soldadura (empotrados) a las columnas verticales del bastidor (Elementos D). Se seleccionarán las vigas a partir del diagrama de cortantes y momento flector.



**Figura 2.5.- Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre una de las Vigas Portapoleas.**

Se considera ahora el *momento flector* en los empotramientos de la viga.

$$M_1 = M_2 = \frac{Q}{2} \cdot \frac{L}{8}$$

$$M_1 = \frac{1900 \cdot 9.81}{2} \cdot \frac{1.96}{8}$$

$$M_1 = 2283 Nm$$

$$M_1 = 233 kg - m$$

$$Z = \frac{M_1}{\sigma}$$

$$Z = \frac{233 \cdot 100}{1250}$$

$$Z = 18.6$$

### ***Diseño de Estructura (Parrilla) del Piso de la Cabina.***

En la Figura No. 2.6 se describe el entramado del piso (parrilla), constituido por viguetas (Elementos F) y jácenas (Elementos G). La estructura del piso fue diseñada para soportar la carga nominal distribuida en toda su superficie.

Sea  $Q$  [kg] la carga útil nominal;  $A$  [m<sup>2</sup>] la superficie útil de cabina;  $p$  [kg/m<sup>2</sup>] la carga uniformemente distribuida sobre la superficie de la cabina, y  $q$  [kg/m] la carga linealmente distribuida sobre las viguetas.

$$Q = 1500kg$$

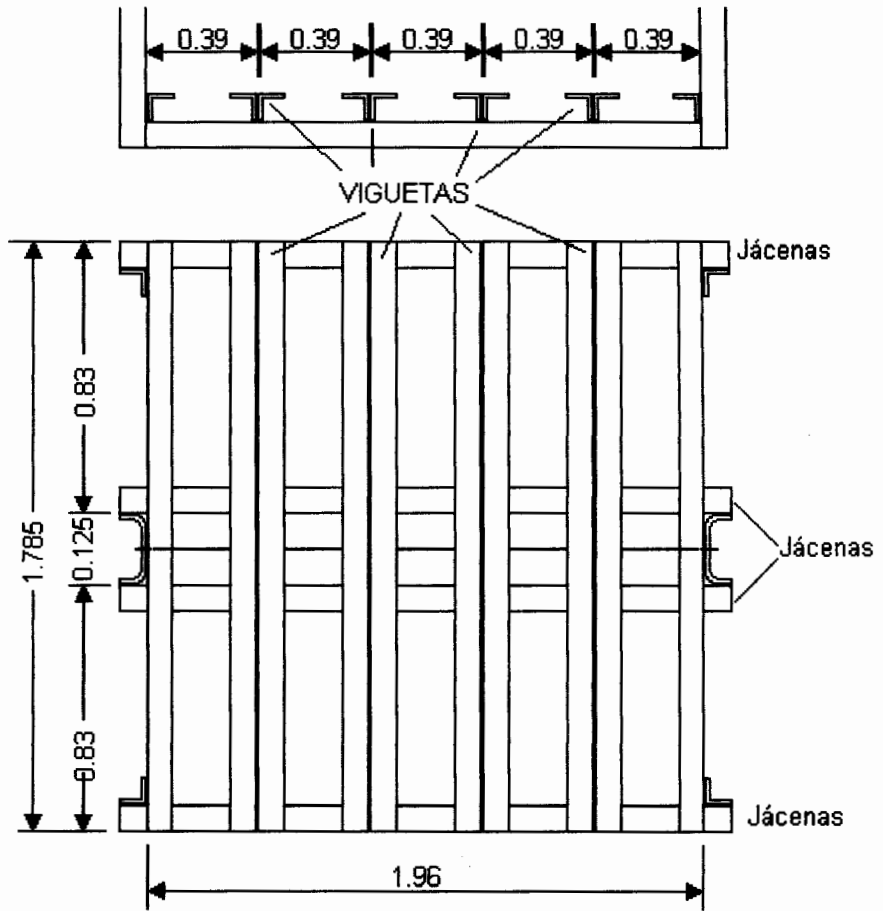
$$A = 1.785 \cdot 1.960 = 3.5m^2$$

$$p = \frac{Q}{A}$$

$$p = \frac{1500}{3.5} = 430kg/m^2$$

Las viguetas están encargadas de sostener la carga distribuida sobre el piso, y descansarán simplemente apoyadas sobre las jácenas, las cuales transmitirán las cargas a las columnas y a los tirantes laterales.





**Figura 2.6.- Parrilla del Piso de la Cabina**

Las viguetas serán consideradas, cada una por separado, como vigas continuas simplemente apoyadas, soportando la carga distribuida correspondiente a la mitad de su área adyacente.

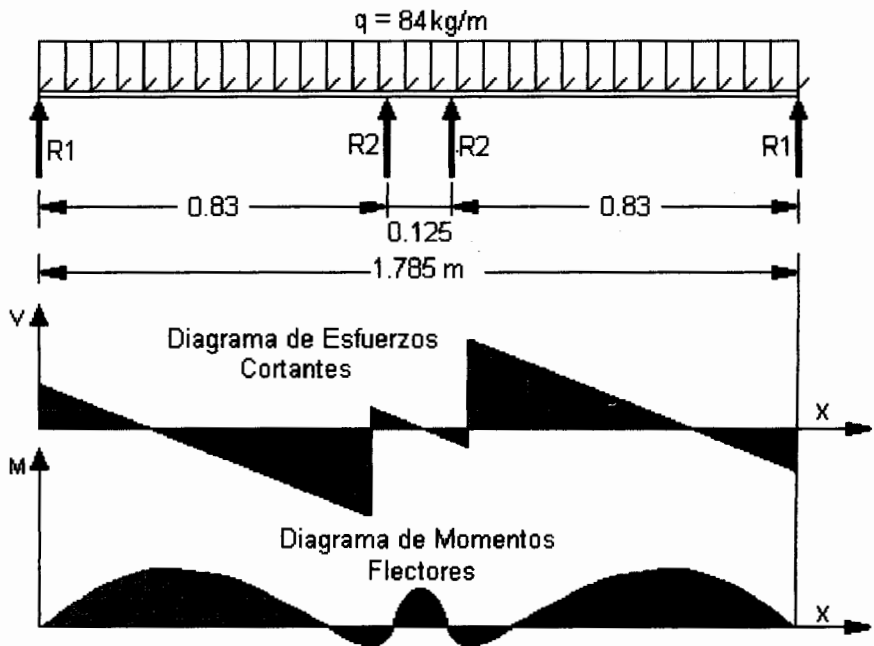
$$A_v = 0.39 \cdot 1.785$$

$$A_v = 0.70 m^2$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot \frac{p \cdot A_v}{L}$$

$$q = \frac{430 \cdot 0.70}{2 \cdot 1.785} \text{ kg/m}$$

$$q = 84 \text{ kg/m}$$



**Figura 2.7.- Diagrama de Cargas, Esfuerzos Cortantes y Momentos Flectores sobre una Vigueta Longitudinal de la Parrilla del Piso de la Cabina.**

Aplicando la ecuación de los tres momentos entre los tramos 1 y 2 de la vigueta, y tomando en cuenta que los momentos flectores son nulos

en los extremos de la viga e iguales entre sí en los apoyos centrales, se tiene:

$$M_1 L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_2 L_2 + \frac{6A_1 \bar{a}_1}{L_1} + \frac{6A_2 \bar{b}_2}{L_2} = 0$$

$$\frac{6A_1 \bar{a}_1}{L_1} + \frac{6A_2 \bar{a}_2}{L_2} = \frac{q}{4}(L_1^3 + L_2^3)$$

$$2M_2(L_1 + L_2) + M_2 L_2 = -\frac{q}{4}(L_1^3 + L_2^3)$$

$$M_2 = -\frac{q}{4} \left( \frac{L_1^3 + L_2^3}{2L_1 + 3L_2} \right)$$

$$M_2 = -\frac{84}{4} \left( \frac{0.83^3 + 0.125^3}{2 \cdot 0.83 + 3 \cdot 0.125} \right)$$

$$M_2 = -5.956 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = 58.42 \text{ Nm}$$

$$\sigma = 1250 \text{ kg} / \text{m}^2$$

$$Z = \frac{M_2}{\sigma}$$

$$Z_F = \frac{5.956 \cdot 100}{1250}$$

$$Z_F = 0.4765 \text{ cm}^3$$

## Diseño de Jácenas

Las jácenas son las vigas secundarias que sostienen el emparrillado del piso.

Para graficar el diagrama de cargas es necesario, primero, calcular las cargas concentradas descargadas por el emparrillado sobre las jácenas.

Como ya fueron determinados los momentos flectores en los apoyos de las viguetas de la parrilla del piso, se efectuará el análisis de cuerpo libre a la sección izquierda del apoyo  $R_2$  de la vigueta:

$$M_2 = +R_1 \cdot L_i - qL_i \cdot \frac{L_i}{2}$$

Despejando el valor de  $R_1$ , tenemos:

$$R_1 = \frac{1}{L_i} \left( M_2 + \frac{qL_i^2}{2} \right)$$

$$R_1 = \frac{1}{0.83} \left[ -5.956 + \frac{84(0.83)^2}{2} \right]$$

$$R_1 = 27.7kg$$

$$R_1 = 272N$$

Resolviendo para  $R_2$ , tendremos:

$$2R_1 + 2R_2 = 150kg$$

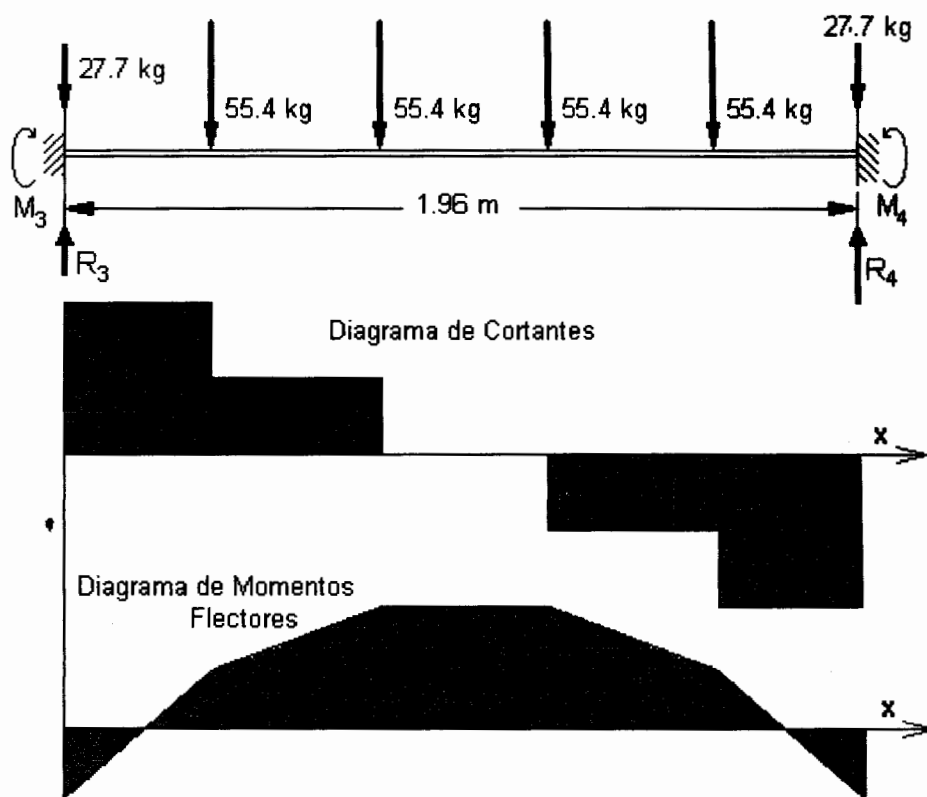
$$R_2 = \frac{150 - 2R_1}{2} = \frac{150 - 2 \cdot 27.7}{2}$$

$$R_2 = 47.3kg$$

$$R_2 = 464N$$

Se analizará primero las jácenas de los bordes anterior y posterior, las cuales están sometidas a idéntico estado de cargas, esto es, a la acción de las fuerzas  $R_1$ .

Como los perfiles angulares del centro del emparrillado están colocados *ala a ala*, las fuerzas concentradas en los puntos comunes se suman y presentan juntos en el diagrama de cargas, tomando en cuenta que, a los costados de la parrilla, las viguetas simples ejercerán sólo su propia carga.



**Figura 2.8.- Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre las Jácenas de los Bordes del Emparrillado.**

Las condiciones de equilibrio determinan que las reacciones  $R_3$  y  $R_4$  sean iguales entre si y a la mitad de la suma de las cargas aplicadas.

Esto es:

$$R_3 = R_4 = \frac{1}{2}(2 \times 27.7 + 4 \times 2 \times 27.7) = 5 \times 27.7$$

$$R_3 = R_4 = 138.5 \text{ kg}$$

El momento flector en los empotramientos, para este caso es, por superposición:

$$M_{G2,3,4,5} = \frac{136}{25} R_1 \cdot \frac{L}{5}$$

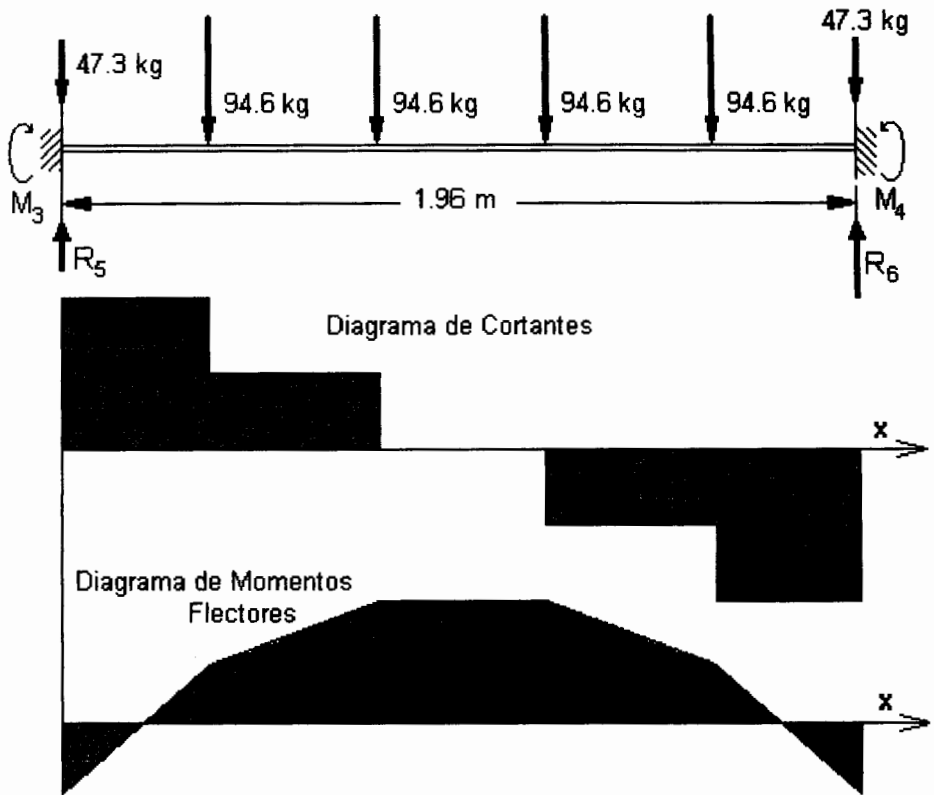
$$M_T = \frac{136 \cdot 27.7 \cdot 1.96}{25 \cdot 5}$$

$$M_T = 59m - kg$$

$$\sigma = 1250kg/cm^2$$

$$Z_{G1} = \frac{59 \cdot 100}{1250} = 4.73cm^3$$

Para calcular las jácenas centrales, aquellas que irán unidas a las columnas principales del bastidor, se repetirá exactamente el mismo análisis, pero considerando que las fuerzas actuantes del emparrillado sobre dichas jácenas son  $R_2 = 47.3$  kg.



**Figura 2.9.- Diagrama de Cargas, Cortantes y Momentos Flectores sobre las Jácenas Centrales del Emparrillado.**

Las condiciones de equilibrio determinan que las reacciones  $R_5$  y  $R_6$  son iguales entre si y a la mitad de la suma de las cargas aplicadas.

Esto es:

$$R_5 = R_6 = \frac{1}{2}(2 \times 47.3 + 4 \times 94.6)$$

$$R_5 = R_6 = 236.5 \text{ kg}$$

El momento flector en los empotramientos, para este caso es, por superposición:



$$M_{G_{2,3,4,5}} = \frac{136}{25} R_2 \cdot \frac{L}{5}$$

$$M_T = \frac{136 \cdot 47.3 \cdot 1.96}{25 \cdot 5}$$

$$M_T = 101m - kg$$

$$\sigma = 1250kg / cm^2$$

$$Z_{G_2} = \frac{101 \cdot 100}{1250} = 8.0cm^3$$

### **Diseño de Tirantes Laterales del Bastidor**

Las reacciones sobre las jácenas, causadas por la carga distribuida sobre las viguetas de la parrilla, deben ser descargadas hacia el bastidor mediante tirantes colocados de manera diagonal desde el punto de empotramiento de la jácena hasta una cartela colocada a 2.20 m de altura en la columna central, justo por encima del remate del cubículo.

El tirante actuará creando una tensión entre los puntos señalados cuya componente vertical será la reacción demandada por la carga sobre la estructura.

El ángulo que formará el tirante con la horizontal estará definido por el triángulo rectángulo cuya hipotenusa es la longitud del tirante, el

cateto menor el vano 1 de las viguetas de la parrilla y el cateto mayor la altura a que estará fijada la cartela. Estos valores producen el siguiente resultado:

$$\Theta = \tan^{-1}(220/0.83) = 70^{\circ}$$

La tensión del tirante será, por lo tanto:

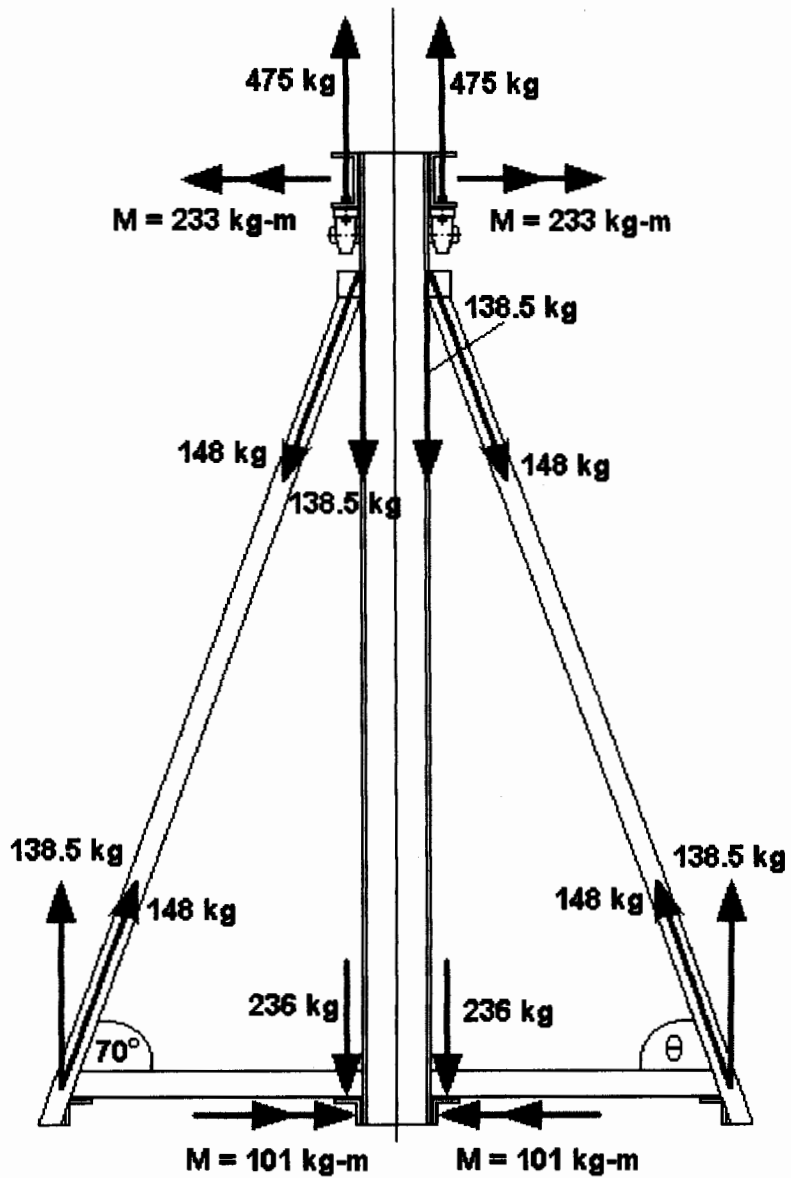
$$T = R_3 \operatorname{sen}70^{\circ}$$

$$T = 138.5 \times \operatorname{sen}70^{\circ} = 148 \text{ kg}$$

El trabajo del tirante será exclusivamente a tracción.

### **Diseño de las Columnas Centrales del Bastidor**

Una vez establecidas las sollicitaciones a que las columnas centrales (Elementos D) serán sometidas, se podrá diagramar las cargas y momentos actuantes sobre ellas.



**Figura 2.10.- Diagrama de Cargas y Momentos Flectores sobre una de las Columnas Centrales del Bastidor de la Cabina.**

Se puede comprobar que la sumatoria de fuerzas verticales es cero, para lo cual sólo hace falta incluir la fracción del peso propio de la cabina en este análisis. Dicha fracción es 200 kg.

El mayor esfuerzo a que está sometida esta viga es el de los momentos flectores producidos en los empotramientos de las vigas portapoleas. El módulo resistente deducido para esta transmisión de momento flector entre cada una de las vigas I a una de las columnas D fue calculado en 18.6, por lo que el valor del modulo para seleccionar las columnas es de 37.2.

### **Dinámica del Régimen Transitorio del Elevador**

El régimen transitorio *aceleración-desaceleración* mantenido durante el arranque-parada del motor se analizará a partir de las siguientes expresiones proporcionadas por el catalogo de la *Leroy Somer*, en el apartado de *Magnitudes y Unidades*.

$$t = \frac{J \cdot \omega}{M_a}$$

Donde  $t$  [s] es el tiempo de aceleración o desaceleración,  $J$  [kg m<sup>2</sup>] el momento de inercia del sistema completo, incluida la cabina a plena carga,  $\omega$  la frecuencia angular del eje del motor [rad/s], y  $M_a$  [Nm] el par de aceleración transiente.

El momento de inercia  $J$  está formado por el momento propio del sistema que acciona y de las inercias de la carga. Deben ser referidos

a la misma velocidad, que para este caso en particular será la del motor ( $\omega = 1750$ -rpm).

De la Tabla 7, para un motor *KEB KPR 100 L4*, se tiene que la inercia propia del motor es:

$$J_m = 0.0090 \text{ kg m}^2$$

El momento de inercia de una carga que gira a la velocidad  $n_2$  (ó  $\omega_2$ ) referida a la velocidad  $n_1$  (ó  $\omega_1$ ) del motor es:

$$J_c = J'_c \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 = J'_c \left( \frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2$$

La inercia de una masa  $M$  en movimiento lineal con velocidad  $V$  es referida a la velocidad del motor  $\omega$  mediante la expresión

$$J_c = M \left( \frac{V}{\omega} \right)^2$$

Donde  $J_c$  se expresa en  $\text{kg-m}^2$ ,  $M$  en  $\text{kg}$ ,  $V$  en  $\text{m/s}$  y  $\omega$  en  $\text{rad/s}$ .

A fin de proceder a realizar los cálculos del régimen transitorio, se calcularán primero los momentos de inercia de los componentes del tambor.

*Momento de inercia del cilindro del tambor:*

$$J_1 = \frac{1}{2} M_1 (R_1^2 + R_2^2)$$

*Momento de inercia de los discos:*

$$J_2 = \frac{1}{2} M_2 (R_3^2 + R_4^2)$$

*Momento de inercia del eje:*

$$J_3 = \frac{1}{2} M R_4^2$$

El resumen de los cálculos se presenta en la Tabla 3.

<b>Elemento</b>	<b>tubo</b>	<b>disco 1</b>	<b>disco 2</b>	<b>eje</b>
Radio exterior [m]	0.11	0.175	0.175	0.0381
Radio interior [m]	0.104	0.0381	0.0381	0
Masa del Elemento [kg]	9.50	4.32	4.32	17.54
Momento de Inercia [kg-m <sup>2</sup> ]	0.108846794	0.0692336	0.0692336	0.0127317

**Tabla 3.- Momentos de Inercia de los Componentes del Tambor de Enrollamiento.**

Refiriendo estos valores a la velocidad de giro del motor, se tendrá:

	TUBO	DISCO 1	DISCO 2	EJE
Momento de Inercia [kg-m <sup>2</sup> ]	0.10884679	0.06923364	0.06923364	0.0127317
Frecuencia Angular Propia [rpm]	60	60	60	60
Frecuencia Angular del Motor [rpm]	1750	1750	1750	1750
Momento de Inercia Referido [kg-m <sup>2</sup> ]	0.00012795	8.1385E-05	8.1385E-05	1.4966E-05

**Tabla 4.- Momentos de Inercia Referidos a la Velocidad del Motor.**

El valor del momento de inercia del motor más la sumatoria de los momentos de inercia referidos, hacen un total de:

$$0.0090 + \sum J_{REF.} = 0.009305 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

La inercia de la cabina a plena carga, referida a la velocidad del motor es:

$$J_c = M \left( \frac{V}{\omega} \right)^2$$

$$J_c = 1900 \text{ kg} \cdot \left( \frac{0.21}{183.26} \right)^2$$

$$J_c = 0.002495 \text{ kg} - \text{m}^2$$

El momento de inercia total del sistema es, por consiguiente,

$$J_{\text{SISTEMA}} = 0.0118 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

El par resistente del sistema es

$$M = 622 \text{ Nm}$$

Referido a la velocidad del motor, se tendrá

$$M_r = 622 \cdot \frac{60}{1750}$$

$$M_r = 21.33 \text{ Nm}$$

De la Tabla 7, se tiene que, para un par nominal de 705 Nm, la *razón del par de arranque* del conjunto tractor es 2.8. Por lo tanto, el *torque de arranque* será:

$$M_K / M_N = 2.8$$

$$M_K = 2.8 \cdot 705 \cdot \frac{60}{1750} \text{ Nm}$$

$$M_K = 67.68 \text{ Nm}$$

El torque de aceleración en régimen transitorio es la diferencia entre el torque de arranque y el torque resistente.

$$M_a = 67.68 - 21.33 = 46.35 \text{ Nm}.$$

De manera que el tiempo de arranque será:



$$t = \frac{J \cdot \omega}{M_a}$$

$$t = \frac{0.0118 \cdot 1750 \cdot \frac{2\pi}{60}}{46.35}$$

$$t = 0.0467s$$

Lo que significa que el régimen transiente en el arranque/paro tiene una duración total de menos de cinco centésimas de segundo.

### **Diseño de Sistema Eléctrico.**

#### **Lógica del Funcionamiento del Sistema de Control.**

Mediante el circuito representado en el Plano 2 es posible que se efectúen ordenes de envío / llamada de la cabina hacia cualquiera de los otros pisos desde las mismas botoneras de cada piso, y desde el interior de la cabina, incluso.

De igual manera, al llegar la cabina a la parada de destino, ésta acciona un interruptor, el cual desactiva el respectivo relé de marcha, el cual a su vez desactiva al contactor y por ende, el motor es desenergizado, actuando el freno de inmediato.

# **CAPITULO 3**

## **3. CONSTRUCCIÓN DEL ELEVADOR**

### **3.1. Selección de Equipos y Materiales**

Habiendo efectuado el cálculo de los requerimientos de potencia y velocidad del grupo tractor, y determinado las dimensiones de diseño de los elementos constituyentes del conjunto elevador, queda por seleccionar los equipos, tipo y cantidad de materiales y, en conjunto, todo lo necesario para iniciar la obra y ejecutarla en un plazo no mayor a treinta días, tal como fue estipulado en el Contrato de diseño, construcción e instalación del elevador de carga.

Los valores de diseño obtenidos a partir de los cálculos deberán ser referidos como valores determinados a partir de condiciones máximas de carga nominal, siendo, en la práctica, que el equipo prestará sus servicios para niveles de exigencia en promedio por debajo de la mitad de la capacidad proyectada.

Teniendo en cuenta este concepto, no es necesario ser muy conservadores en la determinación de los factores de seguridad para seleccionar los materiales; por lo contrario, en base a la experiencia cotidiana, se cifrarán los márgenes de seguridad en el orden de entre 25 y 50 %, como máximo, para efectos de selección de los materiales estructurales; y en lo que respecta al grupo tractor, habida cuenta de que sólo excepcionalmente se requerirá elevar cargas de hasta 1500 kg, bastará con seleccionar un equipo cuya potencia exceda apenas la determinada por nuestro cálculo.

### ***Selección del Grupo Tractor.***

Con referencia a los valores de *Potencia* y *Momento* encontrados, y en función de la velocidad angular del eje de salida, la cual fue preestablecida en el orden de 60.rpm, se acudirá a los catálogos de los fabricantes de motorreductores con freno a fin de seleccionar el equipo mejor ajustado a los valores nominales conformes al requerimiento.

Los valores seleccionados deben ser iguales ó superiores a los referenciales. Hay que tomar en cuenta que la clase de servicio que prestará el motorreductor corresponde al Grado 2, puesto que el número de arranques - hora pico se lo estima entre 1 y 20 por hora, con choques moderados. El factor de aplicación para este caso es de



1.40, del catálogo de *KEB*. Este factor guarda relación con la capacidad de la caja reductora de absorber sobredemandas de torque; por tanto, es un factor intrínseco de diseño de la caja, no de la potencia a ser desarrollada.

En la Tabla 5 se exponen los grupos tractores seleccionables, según las características señaladas:

<b>MARCA</b>	<b>SITI</b>	<b>SITI</b>	<b>SITI</b>	<b>KEB</b>	<b>LEROY SOMER</b>
<b>Procedencia</b>	<i>Italiano</i>	<i>Italiano</i>	<i>Italiano</i>	<i>Alemán</i>	<i>Francés</i>
<b>Modelo / serie</b>	MI 150	MI 130	MI 110	ZG 5 KPR 100 L4	Cb 2402 S
<b>Velocidad [rpm]</b>	56.4	56.4	56.4	60	58
<b>Momento [Nm]</b>	<b>629</b>	<b>629</b>	<b>612</b>	<b>705</b>	
<b>SF</b>	2.2	1.5	1	1.1	CLASE 2
<b>Rendimiento</b>	0.75	0.75	0.75	0.91	0.88
<b>Potencia [kW]</b>	4	4	4	4	4
<b>Freno</b>	SI	SI	SI	SI	Imp.

**Tabla 5.- Matriz de Selección de Grupo Tractor para Elevador de Carga**

Se descarta el motorreductor *Leroy Somer* por requerirse la importación expresa del freno electromagnético, lo cual significa una espera de al menos 12 semanas, y un recargo excesivo en el precio respecto de los motorreductores con freno disponibles en el mercado.

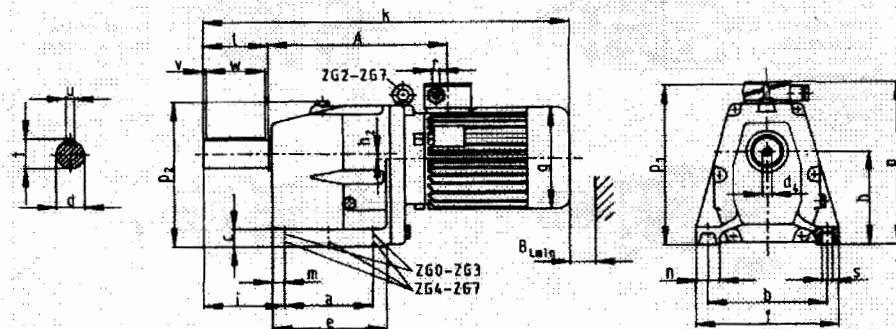
Los motorreductores *SITI* disponibles vienen con caja reductora *sin fin - corona*, cuyo rendimiento mecánico es del orden del 75%, mientras que los *KEB* alemanes, con engranajes de dientes helicoidales, desarrollan su potencia al 91 % de rendimiento. Son, precisamente por eso, los de mayor torque efectivo disponible a la salida del eje del reductor.

Al cabo de consultas con los proveedores de los motorreductores y con los ejecutivos de la obra, se decidió instalar el motorreductor *KEB*, cuyas dimensiones principales son presentadas en la Tabla 6 y las características del motor en la Tabla 7.

**Stirradgetriebe-  
motoren**
**Helical gear motors**
**Moto-réducteurs à engre-  
nages cylindriques**
**Abmessungen**
**Dimensions**
**Dimensions**

 Getriebemotoren, zweistufig  
Fußausführung

 Geared motors, two-stage  
foot mounted version

 Moto-réducteurs à deux trains d'engre-  
nages, exécution à pattes

 Typ mit Motor  
Type with motor  
Type avec moteur

ZG	KPR	a	b	c	e	f	n	e	i	h	h <sub>2</sub>	p	p <sub>1</sub>	g	i	A	k	d	l	l	u	v	w	d	B <sub>sch</sub>	
5	90L									175	250 <sub>±0.5</sub>	384	432	177	Pg 16	431	788	75 <sub>max</sub>	140	79.5	20	7.5	125	M20	18	
	100S											374	432	196	Pg 16	433	796									20
	110L <sup>1)</sup>											374	432	186	Pg 16	433	829									20
	100L <sup>2)</sup>											374	432	196	Pg 16	433	858									20
	112M											417	432	217	Pg 21	456	867									35
	112MX	245 <sub>±0.3</sub>	315 <sub>±0.3</sub>	40	307.5	370	55	22		13	417	432	217	Pg 21	456	867										35
	132S							(M20)				437	432	258	Pg 21	460	867									35
	132M											437	432	258	Pg 21	460	935									38
	160S											480	436	313	Pg 29	479	942									38
	160M									27	377	480	436	313	Pg 29	479	980	60 <sub>±0.1</sub>	120	64	16	10	100	M20	35	

**Tabla 6.- Dimensiones de Motorreductor KEB ZG5 KPR 100 L4.**

Stirnradgetriebe- motoren		Helical gear motors				Moto-réducteurs à engre- nages cylindriques		
Motordaten		Motor data				Données techniques des moteurs		
Drehstrommotoren, mit einer Drehzahl		Three-phase motors, single-speed				Moteurs à courant alternatif triphases à une seule vitesse		
Typ Type Type	$P_N$ [kW]	$n_N$ [min <sup>-1</sup> ]	$\cos \phi$	$I_N$ (400 V) [A]	$I_A/I_N$	$M_A/M_N$	$M_K/M_N$	$J_E$ [kgm <sup>2</sup> ]
KPR 56 K4	0.12	1370	0.70	0.44	3.2	1.9	2.2	0.0019
KPR 56 G4	0.18	1360	0.69	0.65	3.3	2.0	2.3	0.0024
KPR 63 K4	0.25	1385	0.72	0.78	3.6	1.8	2.1	0.0040
KPR 63 G4	0.37	1370	0.76	1.06	3.8	2.0	2.2	0.0050
KPR 71 K4	0.55	1400	0.72	1.60	4.1	2.1	2.2	0.0087
KPR 71 G4	0.75	1400	0.72	2.10	4.3	2.2	2.3	0.0107
KPR 80 K4	1.1	1410	0.80	2.62	5.3	2.3	2.5	0.0207
KPR 80 G4	1.5	1400	0.83	3.40	5.5	2.5	2.6	0.0260
KPR 90 L4	2.2	1420	0.78	5.15	6.0	3.0	3.1	0.0400
• KPR 100 S4	3.0	1435	0.79	6.70	6.2	2.2	2.8 •	0.00725 •
• KPR 100 L4	4.0 •	1435	0.79	8.80	6.6 •	2.8 •	3.2 •	0.0090
KPR 112 M4	5.5	1440	0.82	11.5	6.5	2.4	3.2	0.0150
KPR 100 LX4	5.5	1420	0.78	12.1	6.4	2.8	3.2	0.0105
KPR 132 S4	7.5	1440	0.82	15.5	5.5	2.0	2.4	0.028
KPR 132 M4	11.0	1440	0.83	22.0	6.0	2.1	2.4	0.035
KPR 160 S4	15.0	1455	0.86	28.5	6.0	2.1	2.5	0.078
KPR 160 M4	18.5	1455	0.86	34.5	6.0	2.3	2.5	0.090
KPR 180 S4	22	1470	0.84	42.0	6.5	2.0	2.6	0.138
KPR 180 M4	30	1465	0.85	55.5	6.0	2.0	2.5	0.168
KPR 200 M4	37	1470	0.86	67.0	6.5	2.0	2.5	0.275
KPR 200 L4	45	1470	0.86	81.0	6.5	2.2	2.5	0.313
KPR 56 G6	0.12	880	0.59	0.59	2.5	2.0	2.1	0.00027
KPR 63 K6	0.18	925	0.52	0.88	2.8	1.6	2.1	0.00045
KPR 63 G6	0.25	915	0.56	1.10	2.9	2.0	2.2	0.00060
KPR 71 K6	0.37	915	0.70	1.22	3.4	2.0	2.0	0.00130
KPR 71 G6	0.55	915	0.69	1.73	3.7	2.3	2.4	0.00175
KPR 80 K6	0.75	935	0.67	2.32	4.5	2.4	2.6	0.00325
KPR 80 G6	1.1	935	0.69	3.15	4.6	2.4	2.6	0.00425
KPR 90 L6	1.5	945	0.73	3.90	4.6	2.0	2.4	0.00625
KPR 100 L6	2.2	950	0.76	5.35	5.3	2.2	2.7	0.01225
KPR 112 M6	3.0	950	0.81	6.90	5.5	2.0	2.8	0.0180
KPR 100 LX6	3.0	935	0.76	7.05	5.2	2.5	2.9	0.0151
KPR 112 MX6	4.0	950	0.80	9.00	6.0	2.3	3.0	0.023
KPR 132 S6	5.5	955	0.83	11.5	5.0	1.9	2.4	0.043
KPR 132 M6	7.5	960	0.82	15.5	5.5	2.0	2.5	0.053
KPR 160 S6	11	965	0.85	22.0	5.0	2.0	2.3	0.113
KPR 160 M6	15	965	0.83	30.5	5.5	2.4	2.7	0.145

Tabla 7.- Datos de Motores KEB Trifásicos

### **Selección del Acople Eje Reductor – Eje Tambor.**

Conforme los catálogos de acoples *BIRN*, referidos en la Tabla 8, en función del torque transmitido de 705 Nm, a 60 rpm, se tiene la razón

$$P / n = 4 \text{ kw} / 60 \text{ rpm} = 0.067$$

En el cuadro de datos técnicos, para una razón de 0.0838, a 800 Nm como torque nominal y 1800 Nm como torque máximo, se ubica el acople cuya medida es *BICO-S-180*.

Para comprobar la conveniencia de este acople, se ajusta el valor del torque de selección por los factores de servicio, *K*, de operación horas / día, *Sd*, y de frecuencia de arranque, *Sz*.

El factor de servicio estimado para condiciones de operación uniforme, con mínimos momentos de inercia relacionados a la maquinaria y choques instantáneos insignificantes, es

$$K = 1.3$$

La relación *Sd* por tiempo de operación, el cual está en el orden de entre 2 y 8 horas diarias, se la estima en:

$$Sd = 1.0$$



La relación  $S_z$  de frecuencia de arranques por hora, en el orden de entre 1 y 20, es de:

$$S_z = 1.2$$

En consecuencia, se tiene que

$$M_{req.} \geq M_{nom.} \times K \times S_d \times S_z$$

$$M_{req.} \geq 705 \times 1.30 \times 1.00 \times 1.20$$

$$M_{req.} \geq 1\,100 \text{ Nm}$$

Puesto que el torque máximo admisible para este acople es de 1 800 Nm, será seleccionado definitivamente el acople 180-S.

# BICO-S COUPLING



## TECHNICAL DATA

Size of coupling	Power rating per revolution	Torque		Max. speed	Moment of inertia 1/2 coupl. J <sup>1)</sup>	Weight 1/1 coupl. 1)	DIN Norm 1891
		Nominal TKN	Max. TK Max.				
BICO-S	P/n	Nm	Nm	n	Kg·m <sup>2</sup>	Kg	Ref.
70-S	0,0033	31,5	72	9100	0,00039	1,1	GG25
80-S	0,0084	80	180	7400	0,00054	1,7	GG25
110-S	0,0168	160	360	5900	0,00172	4,2	GG25
130-S	0,0330	315	720	4850	0,00425	6,3	GG25
160-S	0,0471	450	1020	4200	0,01056	9,4	GG25
180-S	0,0838	800	1800	3500	0,02410	14,5	GG25
220-S	0,1680	1600	3600	2800	0,07026	28,0	GG25
280-S	0,3300	3150	7200	2300	0,27395	62,6	GG25

1) Valid for couplings with solid hubs.

## SERVICE FACTOR K FOR OPERATING MODE

Operating conditions	Driven machine		Driving machine		
	Moment of inertia relative to driving machine	Instantaneous shock	Uniform	Uneven oscillations	Uneven heavy oscillations
Uniform, no vibration	Insignificant	None	1,0	1,2	1,4
Uniform, no vibration	Minor	Insignificant	1,3	1,5	1,8
Uneven, low vibration	Identical	Minor	1,8	1,8	2,0
Uneven, vibration	High	Medium	2,5	2,3	2,5
Uneven, shocks with vibration	Very high	Heavy	2,5	2,9	3,2

## RATIO S<sub>d</sub> FOR OPERATING HOURS

h	Operating hours per day			
	above	2	8	16
up to	2	8	16	
S <sub>d</sub>	0,9	1,0	1,12	1,25

The coupling must be designed, so that the occurring loads do not exceed the permissible values.

Calculation of the nominal torque:

$$T_{AN} = 9550 \times P/n \quad [\text{Nm}]$$

## RATIO S<sub>z</sub> FOR STARTING FREQUENCY

1/h	Number of starts per hour			
	above	1	20	40
up to	1	20	40	60
S <sub>z</sub>	1,0	1,2	1,3	1,5

Calculation of the required coupling torque:

$$TKN \geq T_{AN} \times K \times S_d \times S_z \quad [\text{Nm}]$$

P = output in KW

n = r.p.m.

Tabla 8.- Datos Técnicos de Selección de Acoples BIRN

### **Construcción del Tambor de Enrollamiento**

En base a los parámetros calculados para el tambor, se procede a su construcción.

El eje del tambor, calculado en 42 mm, fue aproximado al eje de salida del conjunto motorreductor, que es el *KEB ZG 5 KPR 100 L4* (Véase Tabla 6) de 75 mm. Seleccionamos así un eje de 3" (76.2 mm), con el cual disponemos del siguiente factor de seguridad:

$$\text{Factor de Seguridad de Diámetro del Eje} = 76.2 / 42.5 = 1.8$$

### **Análisis de uniones soldadas**

Del manual de la *Lincoln Electric*, se tiene para soldaduras primarias, que transmiten toda la carga por torsión, que el patrón para las fórmulas de diseño es, en psi:

$$s = \frac{TC}{J}$$

$$f = \frac{TC}{J_w}$$

Donde

s es el esfuerzo en psi,

$f$  la fuerza en lb / pul considerando la soldadura como una línea.

$T$ , Momento de torsión transmitido,

$C$ , distancia a la fibra externa

$J$ , momento polar de inercia de la sección, en pul<sup>4</sup>,

$J_w$ , momento polar de inercia de la soldadura, en pul<sup>3</sup>,

$$J_w = \frac{\pi d^3}{4}$$

Se tiene para la soldadura del eje, que:

$$J_w = \frac{\pi 3^3}{4}$$

$$J_w = 21.21 \text{ pul}^3$$

$$T = 5500 \text{ lb-pul}$$

$$C = d/2 = 1.5 \text{ pulg}$$

$$f = 5500 \times 1.5 / 21.21$$

$$f = 389 \text{ lb/pul}$$

Para una  $f$  admisible de 9600 de carga paralela, tenemos una dimensión de soldadura:

$$w = f \text{ real} / f \text{ admisible}$$

$$w = 389 / 9600$$

$$w = 0.041''$$

Los cordones que se aplicaron, con soldadura E-7018, entre el tubo de 3" y el disco de ¼" de espesor, fueron tres, cada uno de 1/8". Por consiguiente se tiene el factor de seguridad de

$$\text{Factor de Seguridad Soldadura en el eje} = 3 \times 1/8" / 0.041$$

$$\text{Factor de Seguridad Soldadura en el eje} = 9.15$$

En cada uno de los discos soldados.

Se repetirá el análisis para los cordones tendidos entre el tubo del tambor y los discos.

$$J_w = \frac{\pi 8.625^3}{4}$$

$$J_w = 504 \text{ pul}^3$$

$$T = 5500 \text{ lb-pul}$$

$$C = 8.625 / 2 = 4.3125 \text{ pulg}$$

$$f = 5500 \times 4.3125 / 504$$

$$f = 47 \text{ lb/pul}$$

Considerando nuevamente que la soldadura trabajará en paralelo.

$$w = f \text{ real} / f \text{ admisible}$$

$$w = 47 / 9600$$

$$w = 0.005 \text{ pulg}$$

En el caso de la soldadura entre el tubo y los discos, fueron dos los cordones circunferenciales con electrodos E-7018 de 1/8". Por consiguiente se tiene el factor de seguridad:

*Factor de Seguridad Soldadura en el tubo =  $2 \times 1/8" / 0.005$*

*Factor de Seguridad Soldadura en el tubo = 50*

En cada uno de los discos soldados.

### **Selección de Materiales Estructurales de la Cabina**

Con los valores de los módulos resistentes Z de los distintos perfiles que conformarán el bastidor de cabina del elevador, se los puede seleccionar de manera de disponer de un conjunto congruente de ángulos, vigas y demás perfiles.

En la Tabla 9 se resumen los elementos estructurales, sus módulos resistentes nominales y los seleccionados.



Cable	Peso lb/plg	Diámetro mínimo de polca plg	Tamaños están- dars d plg	Material	Tamaño de los alambres exteriores	Módulo de elasticidad † $10^3 \text{ kip/plg}^2$	Resistencia ‡ $\text{kip/plg}^2$
6 x 7 arrastre	1.50d <sup>2</sup>	42d	1/4-1 1/2	Acero monitor	d/9	14	100
				Acero de arado	d/9	14	88
				Acero de arado dulce	d/9	14	76
6 x 19, de izaje es- tándar	1.60d <sup>2</sup>	26d-34d	1/4-2 1/2	Acero monitor	d/13-d/16	12	106
				Acero de arado	d/13-d/16	12	93
				Acero de arado dulce	d/13-d/16	12	80
6 x 37, fle- xible espe- cial	1.55d <sup>2</sup>	18d	1/4-3 1/2	Acero monitor	d/22	11	100
				Acero de arado	d/22	11	88
8 x 19, fle- xible extra	1.45d <sup>2</sup>	21d-26d	1/4-1 1/2	Acero monitor	d/15-d/19	10	92
				Acero de arado	d/15-d/19	10	80
7 x 7, de aviación	1.70d <sup>2</sup>	—	1/16-1/2	Acero-resistente a la corrosión	—	—	124
				Acero al carbono	—	—	135
7 x 19, de aviación	1.75d <sup>2</sup>	—	1/4-1 1/2	Acero resistente a la corrosión	—	—	124
				Acero al carbono	—	—	143
De 19 alam- bres, de avia- ción	2.15d <sup>2</sup>	—	1/32-3/8	Acero resistente a la corrosión	—	—	165
				Acero al carbono	—	—	165

\* Recopilada del *American Steel and Wire Company Handbook*.  
† El módulo de elasticidad está aproximado; es afectado por las cargas del cable y, en general, aumenta con la duración del cable.  
‡ La resistencia está basada en el área transversal nominal del cable. Las cifras dadas son aproximadas y se basan en tamaños de cable comunes de 1 plg y de aviación de 1/4 plg.

Tabla 10.- Datos sobre Cables de Acero



### **Selección de Poleas**

En razón de la selección anterior, en la Tabla 10, de Datos sobre Cables Metálicos, se estipula el diámetro mínimo de poleas, en pulgadas, entre  $26d$ - $34d$ .

Para el cable seleccionado,  $d = 3/8"$

$$26d = 9.75"$$

$$34d = 12.75"$$

Por disponibilidad inmediata, fueron seleccionadas poleas de 12" de diámetro.

### **Selección de Elementos del Sistema de Control Automático.**

Los contactores de control de potencia se seleccionan a partir de la corriente nominal que circulará por cada una de sus tres polos. Del Catálogo de *TELEMECANIQUE*, para motores trifásicos de 4-kW, se tiene que la corriente circulante nominal a 220-V, es de 14.5-A. Los contactores correspondientes son los LC1-D163 L , para 16 A, con bobinas de accionamiento a 220V; el relé de protección a sobrecargas (térmico) correspondiente es el LR1-D16321.

El conjunto de elementos de mando lo constituyen un transformador 220-110 V, que alimentará el circuito de mandos, límites y seguridad; 10 relés de 11 pines, bobinas a 115 –V, monofásicas. Luego están los pulsadores, limitadores de carrera y seguridad, líneas conductora de corriente entre el tablero de control y los elementos de mando, etc.

En el Plano 3 se muestra el diagrama eléctrico de control, mandos, límites y seguridad.

### **3.2 Método de Fabricación**

Un elevador es una obra electromecánica. Su realización es posible mediante una organización de trabajo que permita la construcción de las partes por separado y luego la instalación coordinada de las mismas, siguiendo el plan elaborado con ese propósito por el conjunto de técnicos responsables de sus respectivas áreas.

El cronograma presentado en la Tabla 11 refleja la experiencia que en obras semejantes ha adquirido el personal técnico de Elevadores FEN. De hecho, su elaboración es conjunta entre el encargado de construcciones de estructuras, el encargado de diseño e instalaciones eléctricas y la dirección que el suscrito ejerció en su calidad de Contratista responsable por la obra.

Se designaron dos grupos independientes de trabajo: el grupo de soldadura y montaje, encargado de levantar las estructuras metálicas y efectuar los montajes de rieles, cabina, bancada de maquinaria, y del grupo tractor. Este grupo lo integraron un encargado y sus dos oficiales. Por la parte de construcciones e instalaciones eléctricas se desempeñaron tres hombres: un técnico en controles eléctricos industriales y sus dos ayudantes. El trabajo de este grupo consistió en diseñar el sistema eléctrico de control, mandos, límites y seguridad, el cual posteriormente instalarían.

El montaje de la máquina, puesta en funcionamiento del elevador y los ajustes necesarios para su correcta y segura marcha, fue realizada de manera conjunta por ambos grupos, dando finalización a la obra cuando ésta fue recibida a satisfacción por el Contratante

Paralelamente al funcionamiento de los grupos de trabajo en obra, se administró el Contrato con personal de oficina, el cual documentó gráfica y textualmente los datos de cálculo, diseño y avance de obra, disponiendo además de los rubros de gastos que por materiales y mano de obra debían erogarse. Este mismo personal efectuaba las órdenes de compra y gestionaba la entrega de los materiales y partes del elevador, haciendo un seguimiento del buen uso de los mismos

bajo la responsabilidad de los jefes de cada grupo y del director de la obra.

Partes importantes del elevador se maquinaron y fabricaron en talleres de máquinas herramientas contratados expresamente. Tal es el caso de la confección del tambor, poleas y acoples. De igual manera, para propósitos de acabado ornamental del revestimiento de la cabina se contrató a un artesano experto en confección y montaje de paneles de planchas de acero.

### **3.3 Proceso de Construcción**

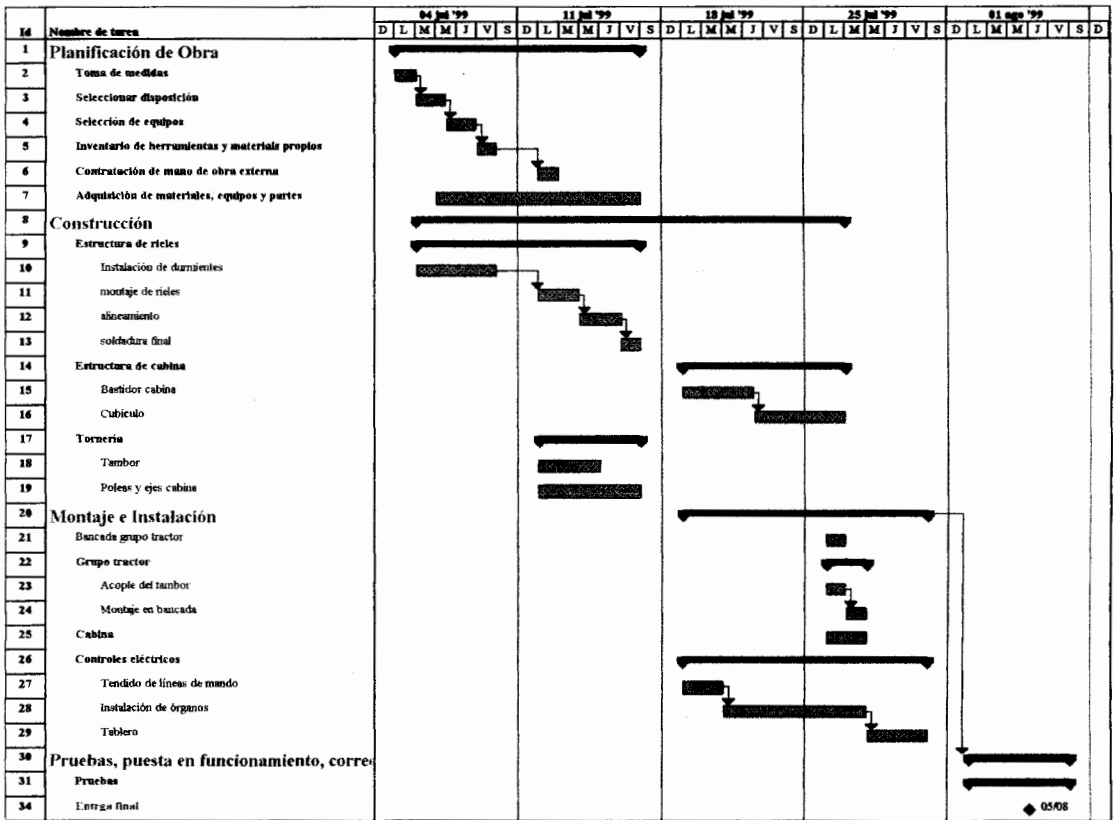
La construcción del elevador se realizó cumpliendo el plan diseñado por el equipo constructor. Es importante enfatizar en el concepto de elaboración colectiva, pues si bien el diseño del elevador es fundamentalmente ingenieril, la organización del recurso humano invertido en el trabajo de crear este aparato dependió de la claridad con que cada individuo entendía su responsabilidad y capacidad de aporte para alcanzar el objetivo final que era el funcionamiento satisfactorio del elevador.

Afortunadamente, la experiencia educa el criterio; y con sencillas instrucciones se procedió al inicio de la obra, concienciando sobre los términos de tiempo que se establecieron como condición para

construir el elevador. Así se puso en marcha un intenso proceso de trabajo en paralelo, donde los electricistas y soldadores tuvieron levantado lo principal del elevador en un plazo de menos de dos semanas.

### 3.4.1 Cronograma

El diagrama de Gantt de la Tabla 11 sintetiza el plan de trabajo proyectado para ejecutar el total de la obra en 30 días.



**Tabla 11.- Cronograma de Construcción e Instalación de Elevador de Carga**

### **Puesta en Funcionamiento del Elevador.**

Las condiciones nominales de operación del elevador fueron las estipuladas en el Contrato, esto es, capacidad de 1500 kg a ser elevados en una cabina de peso propio de 400 kg, cuyas medidas son 1.96 x 1.78 x 2.20 m, a una velocidad de entre 0.17 y 0.21 m/s. Tales condiciones debieron ser comprobadas de manera objetiva por medio de pruebas de arranque y marcha con la cabina vacía, parcialmente llena y finalmente a plena carga, lo que se hizo empleando sucesivamente como cargas 10, 20 y 30 sacos de 50 kg de cemento Pórtland, disponibles por parte de los constructores civiles del edificio.

Las respuestas del conjunto elevador a las pruebas a que fue sometido se resumen en la Tabla 12. La velocidad de la cabina fue calculada a partir del tiempo empleado por el desplazamiento de ésta entre tramos de longitud conocida. Los valores de corriente en el arranque y en condiciones estables de marcha fueron medidos por amperímetros digitales de alta sensibilidad.

PARÁMETROS MEDIDOS	CARGA APLICADA [kg]			
	0	500	1000	1500
$I_o$ , corriente en el arranque [A]	74	72	86	98
$I_a$ , corriente estable según carga [A]	11.5	12.5	13.5	15
V1, velocidad en recorrido de primera capa [m/s]	0.17	0.17	0.17	0.17
V2, velocidad en recorrido de segunda capa [m/s]	0.18	0.18	0.18	0.18
V3, velocidad en recorrido de tercera capa [m/s]	0.21	0.21	0.21	0.21

**Tabla 12.- Respuesta del Conjunto Motorreductor a Pruebas de Carga Creciente**

Dado que la corriente nominal del motor a plena carga es de 16.5 A, y la relación de corrientes en el arranque,  $I_A / I_N$ , según la Tabla 7, es de 6.6, se infiere que el motor está trabajando por debajo de las condiciones máximas para el que fue fabricado, lo que cerciora su correcta elección.

Nuestra primera conclusión es, por tanto, que la maquina escogida para mover el sistema fue correctamente seleccionada.

### 3.4.2 Costos

El desglose de los costos invertidos en el proceso de construir e instalar el elevador de carga es presentado en la Tabla 13.

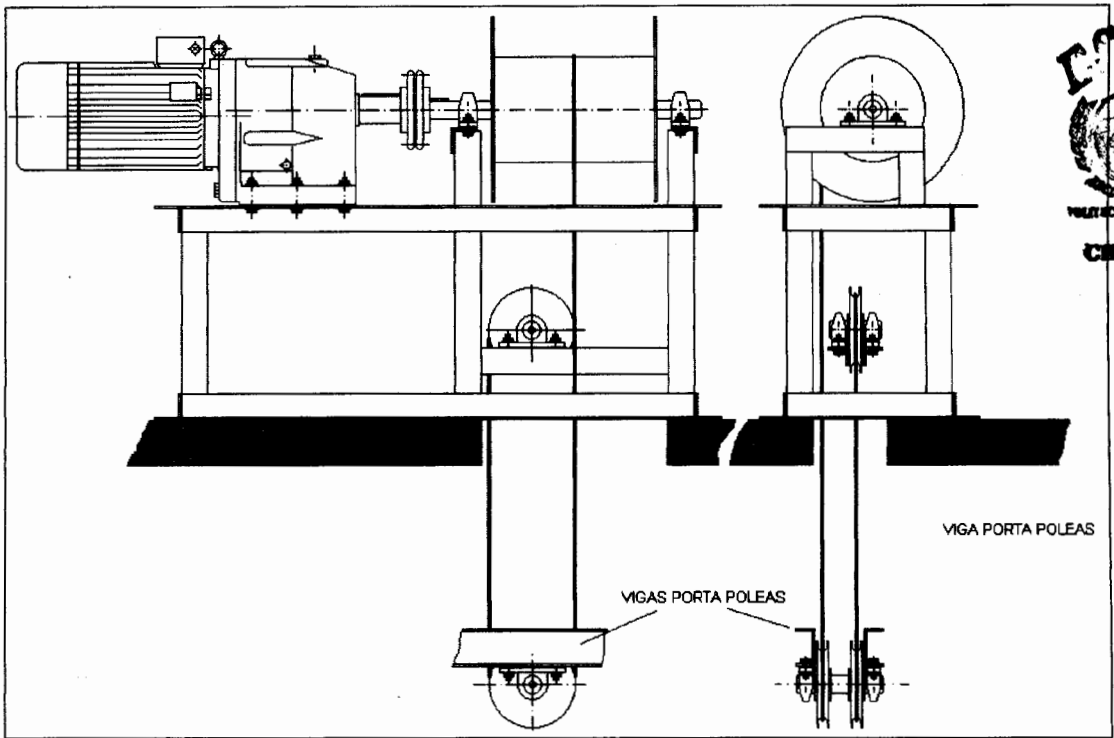
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS DIRECTOS:</b>	<b>USD</b>
ELABORACION DEL PROYECTO	
DISEÑO Y PLANEACION	
ADMINISTRACION DEL CONTRATO	
<b>TOTAL COSTOS ADMINISTRATIVOS DIRECTOS</b>	<b>2829.00</b>
<b>COSTOS OPERATIVOS MATERIALES:</b>	
MATERIALES ESTRUCTURAS METALICAS	1,070.00
MATERIALES ELECTRICOS	1,200.00
MAQUINARIA Y APEROS	3,600.00
REVESTIMIENTO DE LA CABINA	500.00
PUERTAS	800.00
GASTOS LOGISTICOS:	500
DIRECCION TECNICA	1,200
<b>COSTOS OPERATIVOS MANO DE OBRA:</b>	
MANO DE OBRA SOLDADURA	749.00
MANO DE OBRA ELECTRICIDAD	780.00
MANO DE OBRA MONTAJE EQUIPOS	432.00
MANO DE OBRA REVESTIMIENTO CABINA	125.00
MANO DE OBRA COSN. E INST. PUERTAS	240.00
MANO DE OBRA TORNERIA	120
<b>TOTAL COSTOS OPERATIVOS</b>	<b>11,316.00</b>
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS INDIRECTOS:</b>	
SEGUROS:	0
POLIZAS	0
MANTENIMIENTO PRORRATEADO DE GARANTIA	360
IMPREVISTOS:	1,131.6
<b>TOTAL COSTOS ADMINISTRATIVOS INDIRECTOS</b>	<b>1,491.6</b>
<b>COSTOS TOTALES SIN UTILIDAD Y SIN IMPUESTOS</b>	<b>15,636.60</b>
UTILIDADES DE FEN:	3,909.15
<b>COSTOS TOTALES CON UTILIDAD</b>	<b>19,545.75</b>
<b>COSTOS MAS IMPUESTOS (12% IVA)</b>	<b>21,891.24</b>

**Tabla 13.- Costos Globales de Construcción e Instalación del Elevador.**

### 3.4.3 Montaje.-

La Figura 3.1 muestra el montaje que se dispuso para el grupo tractor y el polipasto.





**Figura 3.1.- Montaje de Sistema Elevador de Enrollamiento y Polipasto**

El grupo tractor, montado sobre la bancada, enrollará el cable de manera que se produzca el desplazamiento vertical de la cabina mediante un circuito de polipasto consistente de tres poleas, que serán numeradas siguiendo el recorrido del cable desde el tambor; de esta manera, la polea No. 1 será la primera polea montada en la viga superior de la cabina; la No. 2 la polea de reenvío montada junto al grupo tractor sobre la losa de la sala de máquinas; y la No 3, que es aquella montada junto a la No.1 en la viga superior *portapoleas* de la cabina.

El número de líneas derivadas de cable es cuatro, por lo que esta disposición es identificada como *de polipasto 4-3*. Obviamente el diseño particular para un elevador puede ser dispuesto de otro modo, lo cual incidirá en la velocidad de desplazamiento y la fuerza elevadora.

# CAPITULO 4

## 4. ANÁLISIS ECONOMICO

La instalación de un elevador de carga para una bodega comercial de tres plantas altas, 56 locales, en un área total de bodegas de 2500 m<sup>2</sup>, tiene el valor contractual del orden de los veinte mil dólares. Sometiendo su funcionamiento a la prueba comparativa respecto a que no lo hubiera, se destaca inmediatamente el beneficio que el elevador produce en ganancia de tiempo, eliminación de pérdidas y daños a la mercadería causadas por y durante su transportación, y la reducción al mínimo indispensable de mano de obra de estibación, en lo posible con personal propio del almacén o bodega.

Estos rubros alcanzan en un breve plazo a cubrir el costo de la inversión, significando su muy alta productividad. En la Tabla 14 se comparan los valores a partir de los cuales se puede deducir el tiempo de recuperación de la inversión.

Estibamiento Contenedor-Bodegas		Estibamiento desde contenedor hasta Elevador	
Descripción		Descripción	
Carga referencial de estibación [kg]	1000	Carga máxima en cabina por volumen [kg]	1000
Capacidad de carga humana promedio por viaje (Kg)	50	Capacidad de carga humana promedio por viaje [Kg]	50
Número de viajes	20	Número de hombres	4
Número de hombres	5	Número de viajes	20
Número de viajes por hombre	4	Número de viajes por hombre	5
Tiempo promedio (intervalo de viaje / hombre) (min)	4.5	Tiempo promedio (intervalo de viaje/hombre) (Min)	0.5
Tiempo total de descarga 1 Ton contenedor / bodegas [min]	18	[min]	2.5
Costo de estibación por viaje (USD)	0.75	Costo de estibación por viaje (USD)	0.2
Pérdidas (0.5% total de la carga) [Ton]	5	Costo promedio comercial Ton mercadería [USD]	1000
Costo promedio comercial Ton mercadería [USD]	1000	Costo de mano de obra estibación [USD]	4
Costo de mano de obra estibación [USD]	15	Costo por tonelada descarga contenedor / cabina [USD]	4
Costo de pérdidas por daños y sustracciones (USD)	5	<b>Transporte Vertical en el Elevador</b>	
<b>Costo tonelada trasladado contenedor / bodegas [USD]</b>	<b>20</b>	Potencia mecánica del motor [kw]	4
		Potencia eléctrica del motor [kw]	5
		Costo Kw/H uso comercial [USD]	0.04
		Tiempo de elevación [min]	1
		Consumo Electricidad, ida y retorno [USD]	0.007
		<b>Estibamiento desde elevador hasta bodegas</b>	
		Número de viajes	20
		Número de hombres	4
		Número de viajes por hombre	5
		Tiempo promedio (intervalo de viaje/hombre) (Min)	0.3
		Tiempo total descarga 1 Ton cabina / bodega [min]	1.5
		Costo de estibación por viaje (USD)	0.2
		Costo de mano de obra estibación [USD]	4
		Costo por tonelada descarga elevador /bodegas [USD]	4
		Tiempo de retorno de la cabina a la planta baja [min]	1
		<b>TIEMPO TOTAL DE TRANSPORTAR UNA TONELADA DE MERCADERÍA DESDE EL CONTENEDOR HASTA LAS BODEGAS POR MEDIO DE UN ELEVADOR [min]</b>	<b>6</b>
		<b>COSTO TOTAL DE TRANSPORTAR UNA TONELADA DE MERCADERÍA DESDE EL CONTENEDOR HASTA LAS BODEGAS POR MEDIO DE UN ELEVADOR [USD]</b>	<b>8.01</b>

**Tabla 14.- Comparación de Tiempos y Costos de Traslado de Carga sin y con Elevador.**

El procedimiento tradicional ha sido desembarcar la mercadería de los contenedores que llegan a los edificios de bodegas del centro de la ciudad mediante un tren de estibadores, los cuales, según el tamaño y peso de las cajas ó bultos, y a cuál piso debe ser llevado, acuerdan con los propietarios de la mercadería el valor de su estiba, es decir, cuánto cobran por cada viaje.

Este procedimiento es sumamente ineficiente, pues el flujo de mercadería es lento y constantemente se producen congestiones entre la ida y retorno de los estibadores. De igual manera, la manipulación descuidada de la carga causa daños significativos en el volumen total de ella, lo que se debe traducir como pérdidas de valor de mercadería. Todo esto sin olvidar el importante rubro que por desaparición o hurto se registra en los cuadernos de control de los propietarios.

Se tiene, según el procedimiento rutinario, que el costo de estibar una tonelada (1000 kg) a la bodega localizada en la tercera planta alta del edificio, es de 20 dólares, y se realiza en un tiempo total de 18 minutos.

En el caso de contar con un elevador, el procedimiento consiste en descargar por medio de estibadores la mercadería del contenedor, llevarla hasta la cabina estacionada en la planta baja, la cual, una vez colmada en su espacio (volumen), trasladará verticalmente la carga hasta el piso de destino. Allí otra cuadrilla de estibadores evacuará la

cabina y situará la mercadería en la bodega. Finalmente la cabina retornará a la planta baja. Al tiempo total en que se registra esta operación se la llamará *intervalo de carga / descarga del elevador*.

Se tiene, según el expediente con elevador, que el costo total de transportar una tonelada (1000 kg) a la bodega localizada en la tercera planta alta del edificio, es de USD \$8,01 (Ocho 001/100 dólares), y se realiza en un tiempo total de 6 minutos.

La diferencia de costos entre transportar la carga exclusivamente por fuerza humana y elevarla con colaboración electromecánica es de US\$12. Es notoria la escasa significación que el gasto eléctrico representa en este cálculo. En cuanto al tiempo, la ganancia es de 12 minutos por tonelada elevada.

Si un edificio de bodegas tiene 56 locales, que ocupan una superficie efectiva de 2500 m<sup>2</sup>, y considerando que está ocupado al 25% de su capacidad, se puede estimar que el flujo promedio diario global es de 5 toneladas. Estas 5 toneladas, transportadas a una tasa de 500 kg por viaje de la cabina, hacen un total de 10 recorridos. Recordando que el intervalo de carga / descarga por tonelada entre la planta baja y el tercer piso es de seis minutos, y puestos en conocimiento de que en las horas de mayor demanda del equipo éste trabaja un máximo de 10 veces por hora, efectuando viajes entre la planta baja y cada una de las tres

plantas superiores, se tiene que el elevador trabajará 1 hora diaria para atender la demanda total.

Por consiguiente, el elevador funcionará 10 veces diarias para transportar 5 toneladas, lo que produce un ahorro relativo diario de  $12 \times 5 = 60$  dólares, que en un mes de treinta días son US\$ 1,800 dólares, y al cabo de 11 meses se habrá recuperado la inversión.

Desde luego que el rendimiento total del elevador puede fácilmente ser cuadruplicado, pero esta capacidad latente sólo tiene oportunidad de ser aprovechada en épocas de alto movimiento comercial; en particular, en la Navidad.

La disponibilidad de un elevador / montacargas significa ganancia de tiempo, eliminación de daños y pérdidas y reducción al mínimo estricto de mano de obra de estibación. Por lo tanto, el análisis efectuado de recuperación de la inversión y posterior ganancia neta demuestra la necesidad para el comerciante y/o propietario de bodega comercial de contratar la instalación de uno o más de estos aparatos.

Por otra parte, pero en relación a este ámbito, es interesante comparar el valor comercial de arrendamiento de bodegas por metro cuadrado en relación a ese mismo concepto por departamentos u oficinas, todo esto en el sector comercial del centro de Guayaquil. De la Tabla 15 se infiere

que la tendencia del casco urbano es a convertirse en eminentemente comercial, es decir, en un futuro muy próximo el centro comercial de Guayaquil lo será enteramente; y las oficinas de empresas medianas y grandes, así como los departamentos residenciales, cederán su espacio a la expansión de los locales comerciales en esta ciudad, bien llamada *Puerto Principal* del Ecuador.

Función del Local	Area (m2)	Canon Mensual Arrendamiento USD (Acordado entre las partes)	Tendencia Histórica	
			Costos Relativos	Disponibilidad
Residencial	100	120 – 150	↓	↓
Oficina	60	200 – 400	—	—
Local Comercial	40	300	↑	↑
Local Comercial con Bodega	40 + 60	300 + 200	—	↑
Bodega	100	200	↑	↑

**Tabla 15.- Cánones de Arrendamiento de Pisos en el Casco Comercial del Centro de Guayaquil al Mes de Noviembre de 2001.**

Es sorprendente que más renta produzcan los edificios cuyos pisos son alquilados para bodegas que para oficinas ó departamentos. Pero no lo es que el valor superior de arrendamiento de estas bodegas esté



asociado con la disponibilidad de montacargas que posibiliten el flujo de bienes y mercadería.

La tendencia de los últimos años ha sido la de desconcentrar del centro urbano de Guayaquil la ubicación de oficinas principales de empresas y compañías grandes, de manera seguida a lo que fue en los años '80 y '90 la emigración de los residentes de esta zona hacia las ciudadelas y conjuntos residenciales de la periferia de la ciudad.

Por lo contrario, la concentración del comercio masivo en el centro de la ciudad, y en particular en los sectores adyacentes a los mercados y a las llamadas "bahías", significó la conversión de muchos edificios anteriormente destinados a la función de condominios residenciales, oficinas, y hasta hoteles, en centros comerciales cuyas plantas bajas y primeros pisos altos serían dedicados a la atención al público, mientras que el grueso de la mercadería estaría almacenada en los pisos superiores.

El caso que ocupó el desarrollo de esta Tesis se originó justamente en la necesidad de los propietarios de un edificio remodelado como centro comercial por ofrecer en alquiler, a comerciantes y distribuidores, locales comerciales que atendieran ventas por mayor y menor al público. Para hacer ágil dicha atención era indispensable que los locales pudieran renovar sus existencias y despachar pedidos y órdenes de entrega de

manera inmediata, para lo cual debían contar con sus propias bodegas en los pisos altos, con mercadería al alcance de una orden cumplida con viaje por elevador mediante.

El elevador es, de hecho, una herramienta de trabajo fundamental para que el centro comercial pueda funcionar eficientemente.

A continuación se hará una comparación general de costos de diseño, construcción e instalación de un elevador nacional respecto de los costos de instalación y puesta en funcionamiento de un elevador importado.

El valor total de un elevador importado es de cerca del doble que uno nacional. Aparte de esto, las condiciones contractuales para instalar un elevador importado son menos favorables para el contratante (cliente) que si este contrata la instalación de un elevador de tecnología ecuatoriana. Esto es debido a los mayores porcentajes de anticipo y duración del tiempo que dista desde la firma del contrato hasta la llegada del equipo desde el exterior, y por otro lado los costos adicionales de mano de obra de instalación y puesta en funcionamiento.

Por lo demás, el costo de los repuestos y mantenimiento de los elevadores extranjeros es mucho mayor comparado con la mantenibilidad de un ascensor de manufactura ecuatoriana, dado que

éstos son contruidos con partes adquiridas en el mercado de los materiales de construcción metalmecánica y eléctrica convencionales.

A continuación, en la Tabla 16, se relacionan los costos referenciales totales entre un elevador extranjero y su similar ecuatoriano, así como los términos contractuales generales de anticipo, tiempo de entrega y condiciones finales de instalación y puesta en funcionamiento.

ELEVADOR DE CARGA, 1500 kg DE CAPACIDAD, 4 ESTACIONES	PROCEDENCIA	
	EXTRANJERO	ECUATORIANO
ÍTEM		
VALOR TOTAL DEL CONTRATO [USD]	35,000	20,000
ANTICIPO SOLICITADO [%]	70-80	60
PLAZOTOTAL DE ENTREGA DE LA OBRA [días]	210	45
COSTO RELATIVO DE INFRESTRUCTURA CIVIL REQUERIDA [USD]	20,000	10,000
CANON MENSUAL DE MANTENIMIENTO [USD]	50-60	30
VALOR RELATIVO DE ACCESORIOS Y REPUESTOS [USD]	1,600	400

**Tabla 16.- Comparación de Costos y Plazos Contractuales de Instalación de Elevadores de Carga de Características Similares, de Acuerdo a la Procedencia.**

El Valor Agregado Nacional, creado por la mano de obra disponible en el medio local, así como la participación de contratistas externos a Elevadores FEN que participaron con sus talleres y recursos a la construcción de las partes del elevador, convierte esta inversión privada en ahorro de divisas para el País.

Nuestra industria electromecánica, de modesto desarrollo relativo a nivel de subregión, tiene en la aplicación de tecnologías como la expuesta en esta Tesis la oportunidad de crear e innovar. Qué mejor antecedente para proponernos construir localmente equipos de elevación y transporte de superior desempeño, en particular, elevadores de pasajeros, cuya clave tecnológica estriba en la seguridad de la operación y del mantenimiento.

# **CAPÍTULO 5**

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1. El diseño, construcción e instalación de un elevador de carga es una experiencia ingenieril muy satisfactoria, pues el diseño de los elementos mecánicos y eléctricos que trabajarán en el sistema, la selección de la maquinaria, el montaje de las partes, la puesta en funcionamiento y las pruebas que verifican en el mecanismo el movimiento deseado, significa participar en la creación de un ingenio electromecánico estable, robusto y silencioso.
2. La mano de obra empleada en la obra; la provisión de equipos, materiales e insumos por parte de los proveedores; la dirección y administración del Contrato, y todas las actividades que se desarrollaron de manera coordinada y eficiente prueban que la capacidad de la industria electromecánica de nuestro medio es competitiva.

3. La acometida trifásica, cuya instalación provisional fue retirada por los contratistas eléctricos debido a la prohibición de EMELEC a que se mantuvieran conexiones directas al transformador público de la calle causó retraso en la entrega definitiva de la obra durante quince días;
4. Las pruebas realizadas con el elevador a plena carga (Tabla 12) nos permitieron comprobar palmariamente que los parámetros de funcionamiento del equipo eran los apropiados, por lo que la entrega de la obra al Contratante se efectuó a satisfacción mutua, lo que como constructores es grato y motivante;
5. Una de las condiciones estipuladas en el Contrato de Construcción e Instalación del elevador fue la del uso exclusivo del elevador para carga, con prohibición expresa de pasajeros. Esta condición en la practica no se cumplió simplemente porque los arrendatarios de las bodegas alegaban su derecho al uso personal del elevador, desatendiendo las indicaciones del operario, personaje creado por la administración del centro comercial para regularizar el uso racional del aparato. Debido a este desacato a las condiciones de uso, el suscrito, como responsable de la obra y de su buen funcionamiento, encontró necesario crear con los administradores del centro comercial un *Reglamento de Uso del*

*Elevador*, en virtud del cual cualquier accidente o daño personal que sufrieran las personas que utilizaran arbitrariamente el elevador, no sería reconocido como responsabilidad de la administración del centro comercial ni del constructor del aparato.

6. La Ingeniería Mecánica es la madre de las ingenierías, dice un refrán académico nuestro que se suele pronunciar con inocente arrogancia. El caso es que el proceso de diseño, construcción instalación y mantenimiento de un elevador de carga es una síntesis de las ingenierías técnicas, pues a esta obra concurren conceptos y acciones de arquitectura, ingeniería civil, eléctrica, industrial y sobre todo, desde luego, mecánica.
7. Como fue expresado anteriormente, un elevador es una obra electromecánica. Su concepción consiste en esbozar dos procesos paralelos: el de diseño, construcción y montaje mecánico (cabina, rieles, bancadas, puertas, etc.); y el diseño e instalación de controles automáticos eléctricos y electrónicos, íntimamente ligados en su funcionamiento a la eficacia del funcionamiento de las partes mecánicas.
8. Es necesario destacar que el más importante desarrollo de la tecnología empleada para construir elevadores versa en los controles automáticos que se puedan implementar, gracias a los

recursos de sistemas digitales electrónicos y programación lineal de controles (PLC).

9. Un ingeniero mecánico que asuma el trabajo de diseñar y construir un elevador deberá estar capacitado en controles eléctricos industriales. Esto tanto como su dominio del diseño de elementos mecánicos, diseño de mecanismos básicos resistentes a la fatiga por trabajo repetitivo, análisis de uniones soldadas, protección a la corrosión de estructuras de acero, nociones cabales de electricidad y motores de inducción, etc.
10. El contingente académico y tecnológico de la ingeniería invertida en crear uno de estos aparatos, sin ser de vanguardia, exige amplitud y versatilidad.
11. La falta de una reglamentación oficial en el Ecuador que regule y ordene el diseño, construcción, instalación y mantenimiento de aparatos elevadores movidos por energía eléctrica, así como los requisitos legales y profesionales que los contratistas en este ramo de la industria de la construcción deban cumplir, ha permitido que la fabricación de estos equipos pueda realizarse empíricamente.



12. La ordenanza municipal que ordena que en todos los edificios de más de dos plantas altas exista un elevador para personas, no puede exigirse ni cumplirse en lo extensivo, dados los costos todavía prohibitivos que significan la instalación de uno de estos aparatos.
  
13. La tesis presentada ha demostrado la necesidad de emplazar elevadores en edificios de bodegas localizados en el centro de la Ciudad. Como secuela de esta investigación, cabe ahora elaborar el proyecto de *Diseño, Construcción e Instalación de Ascensores para Pasajeros en Edificios de la Ciudad de Guayaquil*, cuyos requerimientos de instalación sean logrados con los menores gastos posibles en infraestructura civil, y principalmente, sea desarrollada la tecnología de fabricar dispositivos de seguridad y salvaguarda de las personas que utilizan estos elevadores.

# **APENDICE A**

**DEDUCCION DE LA FORMULA DEL NUMERO DE  
CAPAS DE CABLE ENROLLADO ALREDEDOR DE UN  
TAMBOR**

## ANEXO A

### DEDUCCIÓN DE LA ECUACIÓN QUE DETERMINA EL NUMERO DE CAPAS DE CABLE FORMADAS ALREDEDOR DE UN TAMBOR.

Se tiene, en primer lugar, que el enrollamiento de un cable de diámetro  $d$  alrededor del cilindro de un tambor de diámetro  $D_o$ , es equivalente al desarrollo de una espiral, el cual se representa por un triángulo rectángulo cuyo cateto menor será el largo del tambor,  $L$ ; como hipotenusa el lugar geométrico que describe un punto del cable al desenrollarse, y como cateto mayor la longitud de cable que forma una capa  $i$ -ésima,  $H_i$ , cuyo valor es igual a  $nC_i$ ,

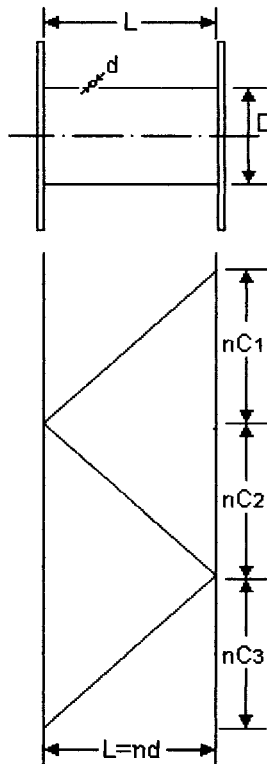


Figura A.1.- Desarrollo de Cable Enrollado en Tambor

Por cada nueva capa de cable enrollado, el diámetro de enrollamiento se incrementará en dos veces el diámetro del cable,  $d$ .

$$L = nd$$

$$C_i = \pi D_i$$

$$H_i = nC_i$$

$$H_i = \frac{\pi D_i L}{d}$$

Donde  $H_i$  es la longitud de cable envuelto en la capa  $i$ , donde  $i=1,2,3, \dots, m$ , y  $m$  es el número de capas de cable enrollado, multiplicada por la circunferencia que forma al enrollarse,  $C_i$ .

Se determinarán las longitudes  $i$ -ésimas de cable enrollado en cada capa.

$$H_1 = \pi D_1 L / d$$

$$H_2 = \pi D_2 L / d \quad D_2 = D_1 + 2d$$

$$H_3 = \pi D_3 L / d \quad D_3 = D_2 + 2d = D_1 + 4d$$

$$H_4 = \pi D_4 L / d \quad D_4 = D_3 + 2d = D_1 + 6d$$

$$H_i = \pi D_i L / d \quad D_i = D_1 + 2(i-1)d$$

$$H_i = \pi L D_i / d = \pi L [(D_1 + 2(i-1)d) / d]$$

La longitud total de cable activo vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\sum_{i=m}^{i=1} H_i = \sum_{i=m}^{i=1} \frac{\pi L}{d} D_i = \sum_{i=m}^{i=1} \frac{\pi L}{d} [D_1 + 2(i-1)d]$$

Y podemos demostrar que:

$$\sum_{i=m}^{i=1} H_i = \frac{m\pi L}{d} [D_1 + (m-1)d]$$

Demostración:

$$H_i = \pi L D_i / d = \pi L [D_1 + 2d(i-1)] / d$$

$$H_1 = \pi L [D_1 + 2d(1-1)] / d = \pi L D_1 / d$$

$$H_2 = \pi L [D_1 + 2d(2-1)] / d = \pi L [D_1 + 2d] / d$$

$$H_3 = \pi L [D_1 + 4d] / d$$

$$H_1 + H_2 = \pi L [2D_1 + 2d] / d = 2\pi L [D_1 + d] / d$$

$$H_1 + H_2 + H_3 = 2\pi L [D_1 + d] / d + \pi L [D_1 + 4d] / d = \therefore = 3\pi L [D_1 + 2d] / d$$

Inducimos que:

$$\sum_{i=m}^{i=1} H_i = \frac{m\pi L}{d} [D_1 + (m-1)d]$$

Que es lo que nos proponíamos demostrar.

La longitud total de cable enrollado (cable activo; es decir, aquel que efectivamente se enrolla y desenrolla para realizar el movimiento de la cabina del elevador entre los extremos de su recorrido), será denominada  $\Lambda$  (*lambda mayúscula*), y la igualaremos a la expresión anterior.

$$\sum_{i=m}^{i=1} H_i = \Lambda$$

$$\frac{m\pi L}{d} [D_1 + (m-1)d] = \Lambda$$

$$\frac{m\pi L D_1}{d} + \frac{m^2 \pi L d}{d} - \frac{m\pi L d}{d} - \Lambda = 0$$

$$m^2 + \frac{D_1}{d} m - m - \frac{\Lambda}{\pi L} = 0$$

$$m^2 + \left(\frac{D_1}{d} - 1\right) m - \frac{\Lambda}{\pi L} = 0$$

Que es una ecuación de segundo grado, cuyas raíces son

$$m = \frac{\left(1 - \frac{D_1}{d}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{D_1}{d} - 1\right)^2 + 4 \frac{\Lambda}{\pi L}}}{2}$$

Donde  $m$  es el número de capas que se formarán alrededor del tambor y  $\Lambda$  la longitud total de cable activo.

Consideraremos el valor positivo del radical como único válido.

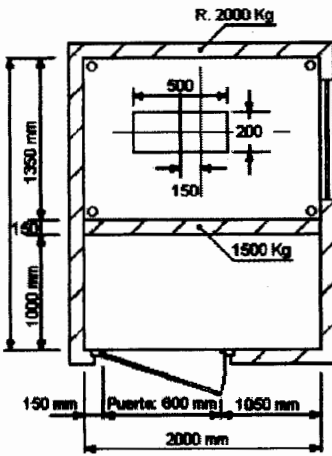
Conviene sumarle  $5C_0$  a  $\Lambda$  por las líneas que deben formar las espiras base del enrollamiento de cable en el tambor.

$$\Lambda_T = \Lambda + 5C_1$$

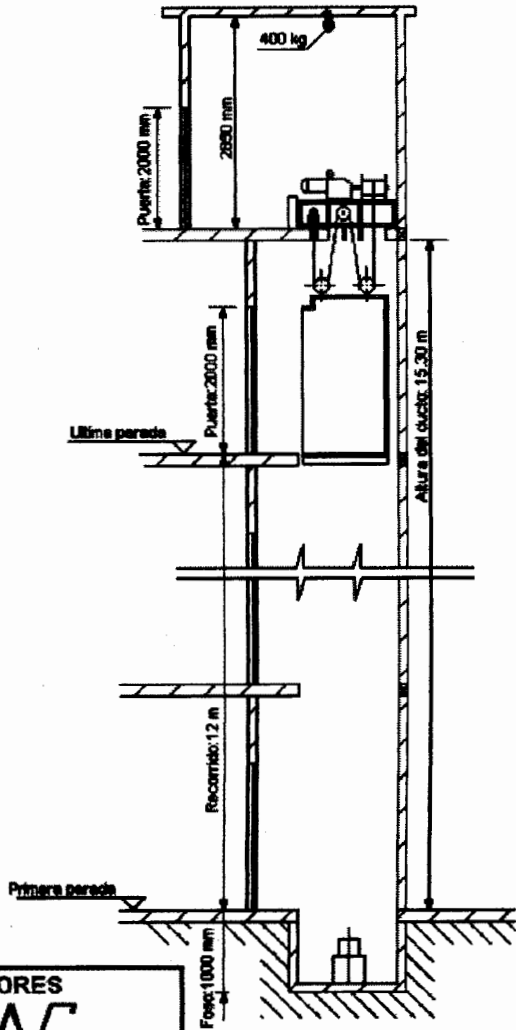
$$\Lambda_T = \Lambda + 5\pi D_1$$

$$m = \frac{\left(1 - \frac{D_1}{d}\right) + \sqrt{\left(\frac{D_1}{d} - 1\right)^2 + 4 \frac{\Lambda_T}{\pi L}}}{2}$$

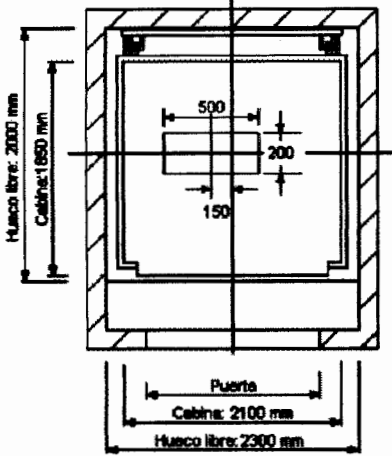
### PLANTA DE MAQUINAS



### ALZADA



### PLANTA DE PISOS

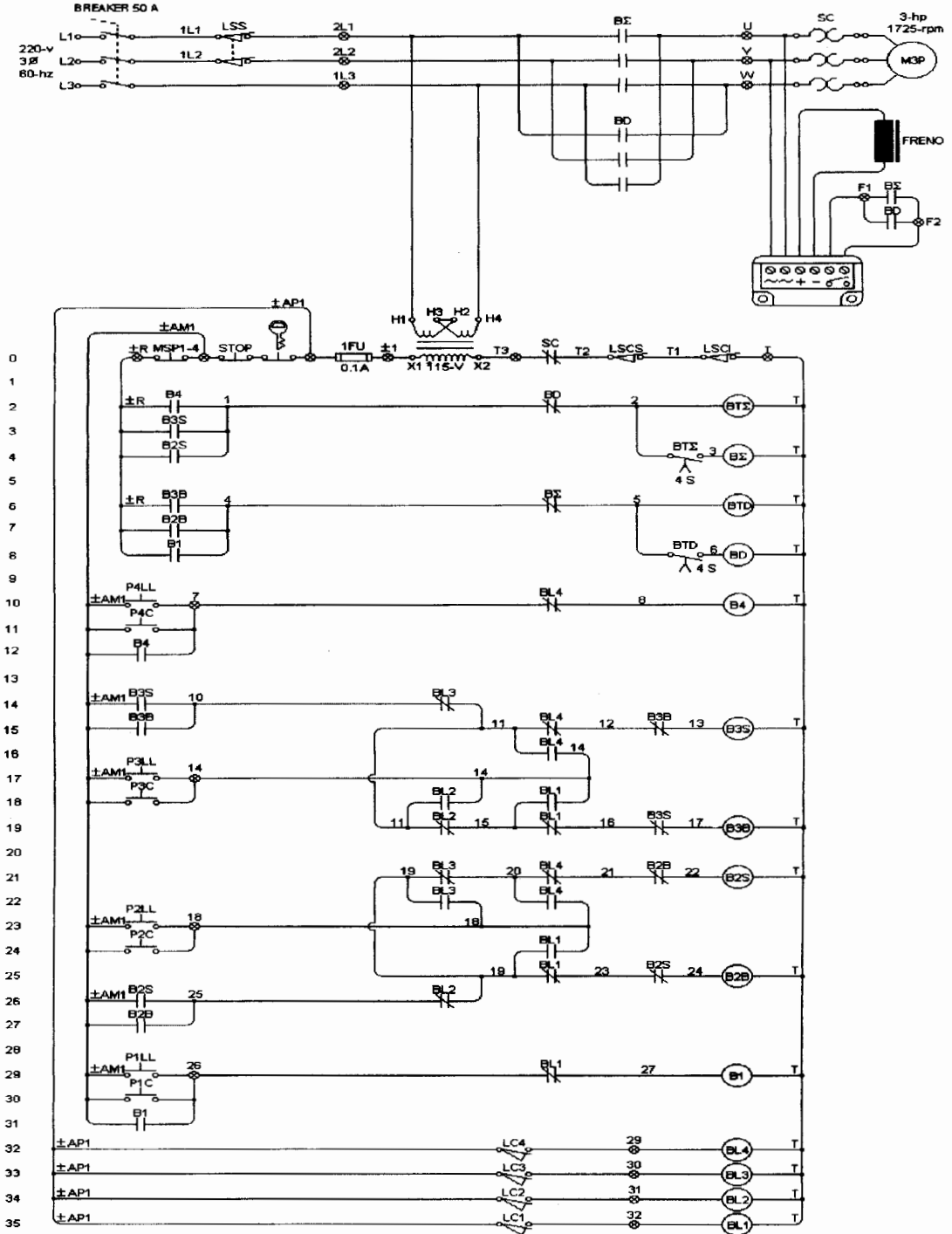


FECHA:		RESPONSABLE	<b>ELEVADORES</b> <b>FEN</b> FABRICA DE ELEVADORES NACIONALES PROYECTO, DISEÑO Y EJECUCIÓN ECUATORIANA
DISEÑO:	160201	F.E.NAVARRO G.	
DEBUIJO:	160201	P. OBANDO G.	
REVISOR:	160201	F.E.NAVARRO G.	
UNIDADES:	ESCALA:	PLANO No.1	
mm	S/E		
Obra... Montacargas de 1500 kg y 4 estaciones			
Cliente.....			
Emplazamiento de la obra.....			
Presupuesto No..014-2001			
CONFORME			
FECHA... 160201			

**Plano 1: Proyecto de Instalación del Elevador de Carga para Cuatro Estaciones**



## DIAGRAMA ELECTRICO ESCALONADO TETRAN



**Plano 2: Diagrama Eléctrico del Sistema de Control Automático de un Elevador de Cuatro Estaciones.**

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. BEER y JOHNSTON, Dinámica, Tercera Edición, McGraw-Hill Latinoamericana, Colombia, 1981.
2. BEER y JOHNSTON, Estática, Tercera Edición, McGraw-Hill Latinoamericana, Colombia, 1981.
3. HALL, HOLOWENCO Y LAUGHLIN, Diseño de Máquinas, McGraw - Hill , México, 1982.
4. LASHERAS ESTEBAN, JOSÉ MARÍA. Ascensores y Escaleras Mecánicas. Ediciones Monteso, Barcelona, España. 1980.
5. LEDO, JOSÉ MARÍA. Ascensores y Montacargas. Ediciones CEAC, Barcelona España, 1969.
6. LEROY SOMER, Industria 1, París, Francia.1990. Páginas 1.9, 1.10.

7. MATSCH, LEANDER W. Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas, Ediciones Alfaomega S.A., México, 1990.
8. MCLEAN AND NELSON, Engineering Mechanics, Statics and Dynamics, Second Edition. Schaum Publishing Co., New York, 1962.
9. PISARENKO G. S., YÁKOVLEV A. P., MATVÉEV V. V.. Manual de Resistencia de Materiales, Editorial MIR, Moscú, 1979.
10. POPE, J. EDWARD. Soluciones Practicas para el Ingeniero Mecánico, McGraw-Hill Interamericana Editores, México, 2000.
11. SHIGLEY, Diseño en Ingeniería Mecánica, 2da. Edición, McGraw-Hill , México, 1983.
12. SINGER, Resistencia de Materiales, Harla S. A. De C. V., México 1971.
13. UBIDIA LOPEZ, MARIO LUIS, "Diseño y Construcción de un Montacargas de Especies Metálicas para una Agencia Bancaria" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1992).