



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería Mecánica**

**Diseño y construcción de un sistema electromecánico para apertura  
y cierre de una compuerta del sedimentador de la planta de  
tratamiento de agua potable el Cebollar de Cuenca**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Tecnólogo Industrial

Autor: Fabián Eduardo Calderón Vásquez

Director: Ing. Víctor Hugo Andrade Serrano

Cuenca, Ecuador

2010

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia que me apoyo durante el transcurso de mi carrera universitaria; a mis hijas las cuales son una parte muy importante de mí.

## **AGRADECIMIENTO**

Al personal que labora en la planta de tratamiento de agua potable el Cebollar de la empresa ETAPA, Ing. Hernán Cabrera Jefe de Planta de Tratamiento de Agua Potable el Cebollar; Tecnólogo. Johnny Zaldumbide Jefe de mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable el Cebollar, por su desinteresada colaboración para realizar los trabajos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Víctor Hugo Andrade Serrano, por su acertada dirección en el presente trabajo.

## RESUMEN

Con el presente trabajo de graduación, se ha conseguido implementar un accionamiento electromecánico para la apertura y cierre de una compuerta de un sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable “el Cebollar” de la ciudad de Cuenca. Al implementar este accionamiento electromecánico se ha logrado disminuir los tiempos de operación en el proceso de apertura y cierre de esta compuerta, lo que permite una mayor rapidez en la operación cuando puedan presentarse problemas como: entrada de aguas contaminadas, aguas con turbiedades muy altas las que no pueden ser tratadas. Por otra parte se redujo el esfuerzo físico que se tenía que realizar al manipular manualmente esta compuerta, también se ha optimizado la descarga del agua del sedimentador cuando se le da mantenimiento en lo referente al lavado de estas unidades.

## **Abstract**

The following thesis has made possible to endow an electro-mechanic engagement system which enables the opening and closing of a sedimentation gate that works in “El Cebollar” water treatment plant. Located in Cuenca city.

By endowing this engagement system the operation time periods in the opening-closing process have been reduced. This allows a faster operation in case of problems as: polluted water incoming and high index of mud in water.

In addition to this, the physical stress needed to manually manipulate this gate has been reduced.

Finally, when it comes to the sedimentation tank cleaning, the water unloading speed has been raised. Which makes the process faster.

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de contenidos .....	vi
Índice de figuras y cuadros.....	viii
Índice de anexos.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: ELEMENTOS DE APERTURA Y CIERRE.</b>	
1.1 Compuertas.....	2
1.1.2 Objetivo de las compuertas .....	2
1.1.3 Clasificación.....	3
1.2 Tipos de compuertas.....	4
1.2.1 Compuertas planas deslizantes.....	4
1.2.2 Compuertas de rodillos ( <i>roller gates</i> ).....	5
1.3.2.1 Overflow gate .....	6
1.3.2.2 Breast wall gate .....	6
1.2.3 Compuertas de aleta ( <i>flap gates</i> ).....	7
1.2.4 Compuertas mariposa.....	8
1.2.5 Compuertas cilíndricas.....	9
1.2.5.1 Mecanismos complementarios.....	10
1.2.6 Compuerta de esclusa ( <i>sluise gates</i> ).....	10
1.2.7 Compuertas radiales ( <i>taintor</i> ).....	12
1.2.8 Compuertas <i>drop leaf</i> .....	13
<b>CAPÍTULO II: CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS.</b>	
2.1 Elementos básicos.....	14
2.1.1 Volumen.....	14
2.1.2 Masa.....	14

2.1.3	Peso.....	15
2.1.4	Densidad.....	16
2.1.5	Presión.....	21
2.1.6	Fricción.....	21
2.1.6.1	Fricción por deslizamiento.....	22
2.1.6.2	Propiedades de la fricción por deslizamiento .....	22
2.2	Tornillo.....	27
2.2.1	Normas y definiciones de roscas .....	27
2.2.1.1	Paso.....	27
2.2.1.2	Avance.....	29
2.2.1.3	Cálculo del torque.....	29
2.3	Catalina y cadena.....	38
2.3.1	Aplicación.....	38
2.3.1.1	Transmisión de engranajes con cadena.....	38
2.3.1.2	Selección de cadena.....	40
2.3.2	Transmisión del movimiento de rotación.....	43
2.4	Motor eléctrico.....	43
2.4.1	Principio de funcionamiento .....	44
2.4.2	Motores de corriente alterna .....	44
2.4.2.1	Asincrónico o de inducción.....	44
2.4.2.1.1	Monofásicos.....	45
2.4.2.1.2	Trifásicos.....	45
2.5	Transmisión de movimiento.....	46
2.5.1	Reductores de velocidad.....	46
2.5.1.1	Tipos de reductores de velocidad.....	47
2.5.1.2	Clasificación según tipo de engranajes.....	47
2.5.1.2.1	Reductores de velocidad de sin fin-corona...	47
2.5.1.2.2	Reductores de velocidad de engranajes.....	48
2.5.1.2.3	Reductores de velocidad planetarios.....	50
2.6	Uniones soldadas .....	51
2.7	Chavetas.....	57
2.7.1	Uniones enchavetadas.....	57
2.7.2	Fuerzas en uniones enchavetadas .....	57
2.7.3	Tipos de chavetas.....	58

2.7.3 Tipos de chavetas.....	58
2.7.3.1 Chaveta embutida.....	58
2.7.3.2 Chaveta plana.....	58
2.7.3.3 Chaveta cóncava.....	59
2.7.3.4 Chavetas tangenciales.....	59
2.7.4 Cálculo de la chaveta.....	60

### **CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO.**

3.1 Construcción del sistema mecánico.....	64
3.2 Construcción del sistema eléctrico.....	71

### **CAPÍTULO IV: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.**

4.1 Verificación.....	75
4.2 Ajustes.....	79

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 2.1 Variaciones de gravedad con relación a la latitud.....	15
Cuadro 2.2 Peso específico de algunos cuerpos.....	19
Cuadro 2.3 Coeficientes de rozamiento de algunos materiales.....	23
Cuadro 2.4 Peso específico de algunos cuerpos.....	24
Cuadro 2.5 Coeficientes de fricción de pares roscados.....	31
Cuadro 2.6 Coeficientes de fricción de collarín de empuje.....	32
Cuadro 2.7 Eficiencia de engranajes tornillo sinfín.....	34
Figura 1.1 Compuerta plana deslizante.....	4
Figura 1.2 Compuerta de rodillos <i>roller gates</i> .....	6
Figura 1.3 Compuerta de aleta <i>flap gates</i> .....	7
Figura 1.4 Compuerta Mariposa.....	8
Figura 1.5 Compuerta Cilíndrica.....	9
Figura 1.6a Compuerta de esclusa <i>Sluise Gates</i> .....	10
Figura 1.6b Compuerta de esclusa ( <i>Sluise Gates</i> ).....	11
Figura 1.7 Compuertas radiales taintor.....	12
Figura 1.8 Compuertas drop leaf.....	13
Figura 2.1 Grafico de compuerta representación de volúmenes y peso.....	16
Figura 2.1.a Grafico de compuerta.....	17
Figura 2.1.b Grafico de tornillo.....	17
Figura 2.1.c Grafico de refuerzos cruzados.....	18
Figura 2.1.d Grafico de refuerzos paralelos.....	18
Figura 2.2.a Diagrama de esfuerzos.....	24
Figura 2.2.b Diagrama de esfuerzos.....	25
Figura 2.3 Nomenclatura de una rosca.....	28
Figura 2.4 Rosca cuadrada y rosca trapecial.....	29
Figura 2.5 Diagrama de fuerzas en un tornillo de potencia.....	31
Figura 2.6 Diagrama catalina piñón y cadena.....	40
Figura 2.7 diagrama motor eléctrico.....	43
Figura 2.8 Rotor de un motor eléctrico.....	43
Figura 2.9 Gráfico reductor de velocidad corona -sin fin.....	47
Figura 2.10 Vista en corte de reductor de velocidad corona-sin fin.....	48
Figura 2.11 Vista en corte de un reductor de velocidad de engranajes.....	49

Figura 2.12 Reductor de velocidad engranajes y planetarios.....	50
Figura 2.13 Corte de catalina y soldado a tuerca de volante de compuerta.	52
Figura 2.14a Soldadura de tuerca al volante.....	53
Figura 2.14b Nomenclatura de soldadura.....	54
Figura 2.15 Corte de catalina y soldado a tuerca de volante de compuerta..	55
Figura 2.16 Ancho máximo de filetes.....	56
Figura 2.17 Esquema de tipos de chavetas.....	57
Figura 2.18 Chaveta embutida.....	58
Figura 2.19 Chaveta plana.....	58
Figura 2.20 Chaveta cóncava.....	59
Figura 2.21 Chavetas tangenciales.....	60
Figura 3.1 Marco de soporte de motor.....	64
Figura 3.2 Forrado de soporte de motor.....	64
Figura 3.3 Estructura de soporte de techo.....	65
Figura 3.4 Correas para soporte de techo.....	65
Figura 3.5 Pasamano, parantes de cubierta.....	66
Figura 3.6 Parantes soldados a estructura existente.....	66
Figura 3.7 Acople de catalina a volante existente de compuerta de sedimentador.....	67
Figura 3.8 Volante de compuerta antes de modificación.....	68
Figura 3.9 Volante de compuerta modificado.....	68
Figura 3.10 Piñón acoplado a motor.....	69
Figura 3.11 Transmisión de movimiento: piñón, catalina y cadena.....	69
Figura 3.12 Protección adicional de motor y cadena.....	70
Figura 3.13 Tablero de control eléctrico.....	72
Figura 3.14 Pulsantes y focos de tablero.....	72
Figura 3.15 Esquema de control de tablero eléctrico.....	73
Figura 3.16 Diagrama de fuerza y simbología.....	74
Figura 4.1 Esquema de tablero de control para abierto y cerrado de sedimentador # 3.....	76
Figura 4.2 Esquema de fin carreras para accionamiento de parada de compuerta del sedimentador # 3.....	77
Figura 4.3 Esquema de mecanismo mecánico piñón-catalina-cadena de sedimentador # 3.....	78

**ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1: Peso específico por unidad de volumen.....	85
ANEXO 2: Coeficientes de rozamiento.....	87
ANEXO 3: Coeficientes de fricción roscas y collarín.....	88
ANEXO 4: Eficiencia de engranajes de tornillo sinfín.....	89
ANEXO 5: Procesos de trabajo.....	90

Calderón Vásquez Fabián Eduardo

Trabajo de graduación

Ingeniero Víctor Hugo Andrade Serrano

Julio 2010

**Diseño y construcción de un sistema electromecánico para apertura y cierre de una compuerta del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable el Cebollar de Cuenca.**

## **Introducción**

La implementación del mecanismo electromecánico para apertura y cierre de la compuerta del sedimentador # 3 de la planta de tratamiento de agua potable; “El Cebollar” de Cuenca; responde al deseo de optimizar tanto en tiempo como en esfuerzo físico al personal que labora en la misma. Tomando en cuenta que a partir de este sistema electromecánico construido, se puede operar rápida y eficazmente la compuerta, en casos de que se presenten problemas de carácter emergentes tales como: llegada de agua cruda contaminada con aceites o grasas, aguas con niveles muy altos de turbiedad que no pueden ser tratadas y también para facilitar la apertura y el cierre de esta compuerta cuando los niveles de sedimento sobrepasan los rangos de altura y se tiene que dar el mantenimiento respectivo. El accionamiento de esta compuerta es mediante pulsantes que se encuentran en un tablero eléctrico de control y el mecanismo del movimiento es motoreductor catalina-piñón cadena.

En el primer capítulo de este trabajo de graduación se realiza un estudio de los diferentes tipos de compuertas que existen en nuestro medio. El diseño de los elementos que se necesitan para la construcción de este mecanismo se trata en el segundo capítulo. Dentro del tercer capítulo se detalla la construcción del mecanismo tanto mecánico como eléctrico para en el cuarto capítulo describir la verificación, ajustes y conclusiones del trabajo realizado.

## CAPITULO I

### ELEMENTOS DE APERTURA Y CIERRE

#### 1.1 COMPUERTAS.

**Compuerta:** Puerta movable que se coloca en las esclusas; de canales de agua, portillos de las presas de río, tuberías de conducción de agua; para detener o dejar pasar las aguas.

Las compuertas son equipos mecánicos utilizados para: el control del flujo del agua y mantenimiento en los diferentes proyectos de ingeniería, tales como presas, plantas de agua, canales y proyectos de irrigación. Existen diferentes tipos de compuertas y pueden tener diferentes clasificaciones, según su forma, función y su movimiento.

Las diferentes formas de las compuertas dependen de su aplicación, el tipo de compuerta a utilizar dependerá principalmente del tamaño y forma del canal, de la cabeza estática, del espacio disponible, del mecanismo de apertura y de las condiciones particulares de operación.

##### 1.1.2 Objetivo de las compuertas.

Las compuertas tienen el objetivo de ser parte de: una presa, canal de agua, plantas de agua, canales de irrigación, etc. y que pueden moverse parcial o completamente para dar paso al agua. Su instalación permite principalmente controlar el flujo, el nivel y desalojar materias flotantes en un embalse, mediante la graduación de estas.

El mecanismo de regulación de una compuerta puede realizarse a mano, por fuerza motriz o simplemente por la misma presión del agua.

A través de los años muchos tipos de compuertas han sido diseñadas y construidas, pero muy pocas de ellas han permanecido y se encuentran en este momento en uso. Aquellas que permanecen tienen la característica de ser: simples, fáciles de mantener, y económicas.

### 1.1.3 Clasificación.

Existen dos sistemas principales de compuertas:

1. Compuertas apoyadas en sus dos extremos, trabajando estáticamente como una viga con dos apoyos. A este sistema pertenecen las compuertas cilíndricas, las compuertas planas y las compuertas radiales, compuertas deslizantes y compuertas de rodillos.
2. Compuertas giratorias que transmiten empuje hidrostático en toda su extensión. A éste sistema pertenecen las compuertas de aletas abatibles, las compuertas radiales, compuertas mariposa, compuertas taintor, compuertas de esclusa y compuertas drop leaf.

A continuación se tratara cada tipo de compuerta mencionada anteriormente (existen muchos tipos de compuerta aquí se hará la descripción de las más usadas).

#### Aplicaciones:

- Control de flujos de aguas
- Control de inundaciones
- Proyectos de irrigación
- Crear reservas de agua
- Sistemas de drenaje
- Proyectos de aprovechamiento de suelo
- Plantas de tratamiento de agua
- Incrementar capacidad de reserva de las presas

### 1.2 TIPOS DE COMPUERTAS.

Compuertas Planas Deslizantes

Compuertas de Rodillos (*Overflow gate, Breastwall gate*),

Compuertas de Aleta (*flap gates*)

Compuertas Mariposa

Compuertas Cilíndricas

Compuertas esclusa (*Sluise Gates*).

Compuertas radiales (*taintor*)

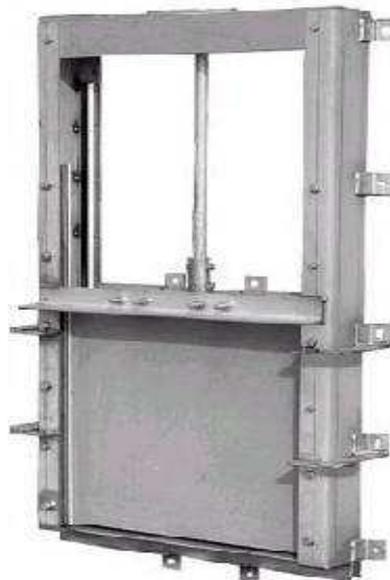
Compuertas *drop leaf*

### 1.2.1 Compuertas Planas Deslizantes.

Se les llama compuertas deslizantes pues para su accionar se deslizan por unos rieles guías fijos (figura 1.1). Puede ser movida por diferentes tipos de motores.

Estas compuertas pueden ser de acero estructural, madera y en caso de pequeñas cabeza de hierro, el espesor y el material de la compuerta dependerá de la presión del agua y el diseño de los sellos. Al trabajar a compresión estas compuertas tienen buenas adaptaciones a los sellos presentando pequeñas fugas.

Este tipo de compuertas han sido utilizadas para todo tipo de cabezas, pero resultan ser más económicas para pequeñas cabezas y tamaños moderados pues necesitan grandes fuerzas para ser movidas.



**Figura 1.1 Compuerta plana deslizante**

Fuente: ARTEAGA TOVAR, R. Eduardo, 2005. Hidráulica Elemental. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación. México

### **1.2.2 Compuertas de rodillos (*roller gates*).**

Nombres como “*stoney*”, “*tractor*”, “*caterpillar*”, “*coaster*” han sido usadas para describir este tipo de compuerta.

El término más ampliamente usado es *stoney gate* y su nombre es un tributo a su inventor. Los demás nombres son simplemente usados para referirse a este tipo de compuerta ya que la terminología no describe las características de la compuerta.

Consiste en una placa plana de acero reforzado con una estructura generalmente en celosía y rodillos en hierro fundido; sus dimensiones varían según los requisitos de la apertura y su espesor es determinado por la presión del agua. La regulación del nivel del agua se hace sacando parcial o completamente la compuerta. (Figura 1. 2)

Este tipo de compuerta es usada normalmente para requerimientos de alta presión.

Ha sido diseñada para cerrarse por gravedad. Las compuertas de rodillos son usualmente instaladas en la entrada de conductos. Son frecuentemente localizadas en la cara de una presa.

Las aplicaciones son: control de flujo, sistemas de irrigación, encima de las presas para aumentar la capacidad del depósito.

#### **Tipos de compuertas de rorrillos:**

**1.2.2.1 *Overflow gate*:** Es utilizada cuando la profundidad del agua está a la altura de la compuerta.

**1.2.2.2 *Breastwall gate*:** Cuando el agua esta considerablemente más profunda que la altura de la compuerta.



**Figura 1.2 Compuerta de rodillos roller gates**

Fuente: SOTELO ÁVILA, Gilberto. 2002. Hidráulica General, Volumen 2, Fundamentos. México

### **1.2.3 Compuertas de aleta (*flap gates*).**

Este tipo de compuerta consiste en una placa con bisagras que gira alrededor de un eje en su extremo inferior y transmiten el empuje hidrostático directamente hacia la solera (Figura 1. 3)

Dicha placa puede ser plana o curva para dar una mejor característica a la descarga. La posición de la placa debe ser controlada ya sea hidráulicamente, o alzando las conexiones que tiran o empujan la parte seleccionada bajo la compuerta.



**Figura 1. 3 Compuerta de aleta *flap gates***

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México: Prentice Hall, 2002.

#### **1.2.4 Compuertas Mariposa.**

Las compuertas tipo mariposa son utilizadas para controlar el flujo de agua a través de una gran variedad de aberturas (figura 1. 4). Aunque pueden ser utilizadas para controlar el flujo en ambas direcciones la mayoría de las instalaciones sólo las utilizan para controlar el flujo en una dirección.

Con las compuertas mariposa es posible tener una máxima cabeza de energía en ambos lados de la compuerta. La cabeza estática se mide desde el eje horizontal de

apertura de la compuerta. La mayoría de estas compuertas son instaladas en sitios con baja cabeza de presión (menor a 6 metros). Las secciones transversales de este tipo de compuertas normalmente son cuadradas o rectangulares; las secciones circulares no son muy comunes ya que estas se utilizan en válvulas mariposa. Son ideales cuando hay poco espacio disponible ya que al girar respecto a un eje, no es necesario disponer de espacio para levantarlas y allí se puede ubicar el mecanismo de apertura. Estas pueden ser utilizadas como reguladoras de flujo, pues al rotar la hoja cambia el tamaño de la abertura y se regula el caudal que fluye a través de ella.



**Figura 1.4 Compuerta Mariposa**

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de elementos de maquinas. 2 ed. México: Prentice Hall, 2002.

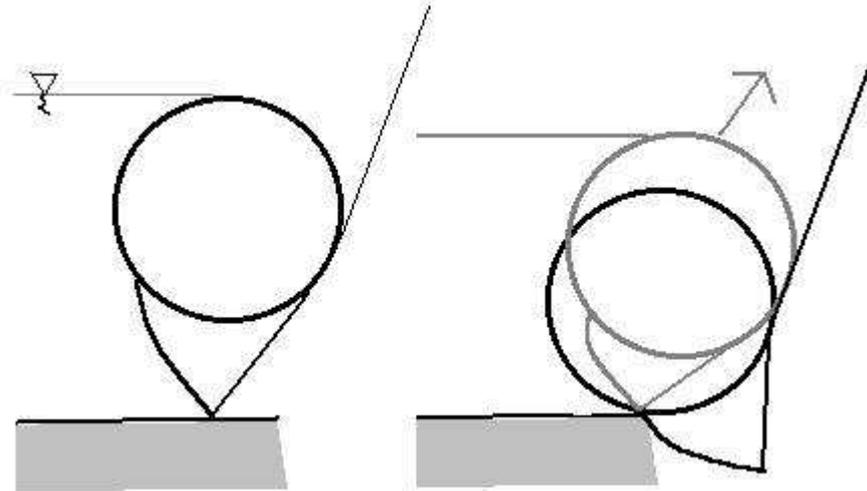
### **1.2.5 Compuertas Cilíndricas.**

Este tipo de compuerta fue ideada en Europa hace más de cincuenta años y permitió por primera vez el diseño de presas de grandes luces.

Consiste en un cilindro de acero el cual puede levantarse rodando sobre dos guías inclinadas. (figura 1.5).

Este tipo de compuerta proporciona una instalación simple y efectiva pero no son muy comúnmente usadas debido a que la regulación del nivel de agua se efectúa

alzando el cilindro y dejando pasar el agua por debajo. En ciertos casos éste sistema no permite una regulación muy exacta del nivel y pueden producirse grandes pérdidas de agua.



**Figura 1.5 Compuerta Cilíndrica**

Fuente: [http:// tecnologiaindustrial.info](http://tecnologiaindustrial.info) resistencia de materiales.

### **1.2.5.1 Mecanismos Complementarios.**

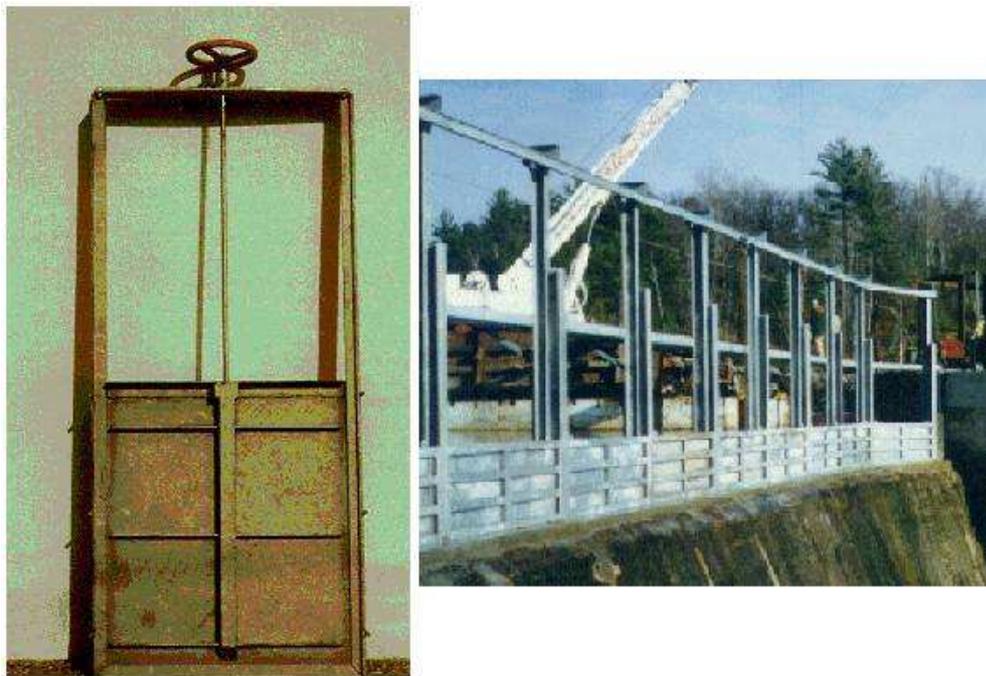
Por sus grandes dimensiones, peso y cargas que deben soportar, las compuertas deben ser movidas por sistemas mecánicos (eléctricos, hidráulicos, neumáticos, manuales). Estos sistemas pueden ser de gran variedad y su utilización depende de múltiples factores tales como espacio disponible, cargas transmitidas a la estructura y por supuesto el tipo de compuerta que deben mover. Los sistemas más comunes son: pórticos, puentes grúa, vigas de alce, servomotores, contrapesos y malacates.

Se deben incluir mecanismos adicionales como: marcos, sellos, rieles, fuentes de potencia, dispositivos de transporte y sistemas de control para garantizar su buen funcionamiento.

### 1.2.6 Compuerta de esclusa (*Sluise Gates*).

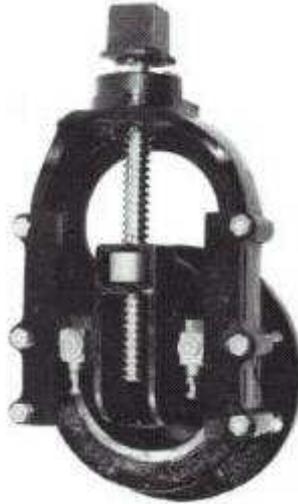
Son utilizadas en casos de largos pasajes de fluido, como un interceptor en canales, como reguladoras de nivel, en tanques de almacenamiento (figura 1.6). Su sistema puede consistir en una placa de diferentes geometrías (circular, cuadrada o rectangular), que se abre manual o automáticamente.

Puede ser utilizada solamente en situaciones donde el fluido sea en un solo sentido y puede ser diseñada para aguantar una presión de 20 pies por una de sus caras y 10 pies por la otra.



**Figura 1.6a Compuerta de esclusa Sluise Gates**

Fuente: SOTELO ÁVILA, Gilberto. 2002. Hidráulica General, Volumen 2, Fundamentos. México



**Figura 1.6b Compuerta de esclusa (Sluise Gates)**

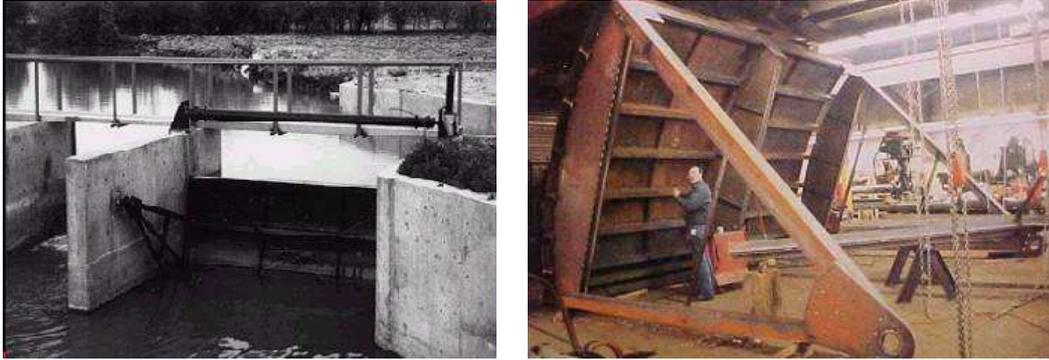
Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 2 ed. México: Prentice Hall, 2002.

### **1.2.7 Compuertas radiales (*taintor*).**

Es una de las compuertas más usadas en grandes presas donde usualmente se usan series de compuertas radiales entre columnas de concreto como se muestra en la (figura 1.7).

Consiste en una placa formada por un segmento cilíndrico y son giratorias alrededor de articulaciones que transmiten la presión (a través de soportes o miembro de acero) del agua directamente hacia la subestructura maciza. Al girar la compuerta hacia abajo, entra en una cavidad de concreto.

El diseño de esta compuerta es útil ya que es económica y su levantamiento requiere de poca fuerza y es confiable. La mayor ventaja de estas compuertas es su funcionamiento hidráulico y la facilidad de represar ríos anchos sin necesidad de contrafuertes intermedios.



**Figura 1.7 Compuertas radiales taintor**

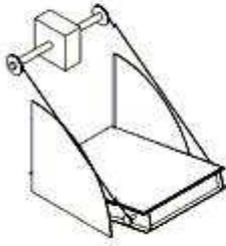
Fuente: SOTELO ÁVILA, Gilberto. 2002. Hidráulica General, Volumen 2, Fundamentos. México

### **1.2.8 Compuertas (*drop leaf*).**

Las compuertas drop leaf son fabricadas a partir de ángulos estructurales y placas acero unidas con soldadura (figura 8). Su tipo de fabricación depende de la presión que ejerce el agua sobre esta y del diseño del método de sellado, por lo que este tipo de compuerta no es tan hermética como otras compuertas mencionadas anteriormente.

Esta compuerta está diseñada para unas cabezas de 5 a 10 pies.

Sus usos más comunes son en control de flujo, proyectos de conservación de suelos, represas de cabeza pequeña, como reemplazo de compuertas taintor y en proyectos de irrigación.



**Figura 1.8 Compuertas drop leaf**

Fuente: SOTELO ÁVILA, Gilberto. 2002. Hidráulica General, Volumen 2, Fundamentos. México

## CAPÍTULO II

### CALCULO DE LOS ELEMENTOS

#### 2.1 ELEMENTOS BÁSICOS.

##### 2.1.1 Volumen:

Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro cúbico (m<sup>3</sup>).

$$V = Ab \cdot h$$

Ecuación. 1

$V$  = volumen

$Ab$  = área de la base.

$h$  = altura

##### 2.1.2 Masa:

Masa, es la cantidad de materia que contiene un cuerpo, siendo materia una sustancia impenetrable capaz de recibir toda clase de formas, independientemente de la posición que ocupa.

Según el estado de cohesión molecular de la materia, esta será sólida, con forma y volumen propio cuando la cohesión es positiva, líquida adoptando la forma del recipiente que la contiene cuando la cohesión es indiferente, y gaseosa tendiendo a expandirse y a ocupar todo lugar libre cuando la cohesión es negativa.

$$m = v \cdot \delta$$

Ecuación. 2

 $m$  = masa $V$ = volumen $\delta$ = densidad**2.1.3 Peso:**

Peso, o fuerza es el efecto de presión que se percibe al ponerse en contacto o suspender un cuerpo, este efecto, es consecuencia de la fuerza de gravitación terrestre contenida en el cuerpo.

$$W = m \cdot g$$

Ecuación. 3

 $W$  = peso $m$ = masa $g$ = aceleración de la gravedad

“La variación de la gravedad con la latitud son las siguientes”<sup>1</sup>

Latitud	g (m/seg <sup>2</sup> ).	Latitud	g (m/seg <sup>2</sup> ).
0° (ecuador)	9.78049	50°	9.81071
10°	9.78195	60°	9.81918
20°	9.78641	70°	9.82608
30°	9.79329	80°	9.83059
40°	9.80171	90° (polos)	9.83217

**Cuadro 2.1 Variaciones de gravedad con relación a la latitud**

Fuente: LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005

<sup>1</sup> LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005” pág. 53

El valor normal de la aceleración de la gravedad por acuerdo internacional se fija en  $9.80665 \text{ m/seg}^2$ . En la práctica, se toma como  $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$ .

### 2.1.4 Densidad.

La densidad (masa específica) de un cuerpo homogéneo, se define como la relación entre la masa  $m$  de un cuerpo y su volumen específico  $v$ .

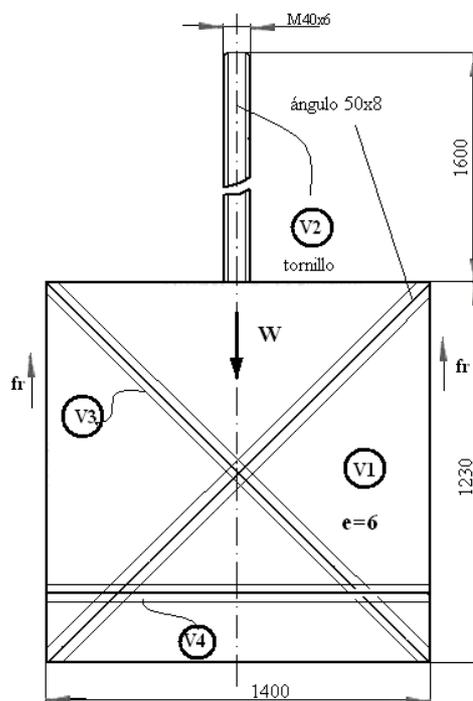
$$\delta = \frac{m}{v} \quad \text{Ecuación. 4}$$

$\delta$  = densidad

$m$  = masa

$v$  = volumen

Para realizar el cálculo del peso de la compuerta, la dividiremos en varios volúmenes:



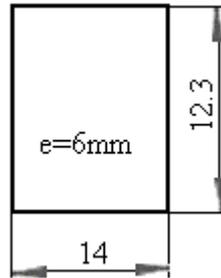
**Figura 2.1** Gráfico de compuerta representación de volúmenes y peso

Fuente: autor

Cálculos de volúmenes de compuerta con sus respectivos refuerzos y tornillo.

Reemplazando en la ecuación 1:

$$V1 = Ab \cdot h \text{ (Compuerta)}$$



**Figura 2.1.a Gráfico de compuerta**

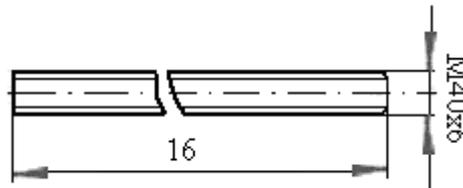
Fuente: autor

Reemplazando en la ecuación 1:

$$V1 = (14dm \cdot 12.3dm) \cdot 0.06dm$$

$$V1 = 10.33 \text{ dm}^3. \text{ Compuerta}$$

$$V2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \text{ (Tornillo)}$$



**Figura 2.1.b Gráfico de tornillo**

Fuente: autor

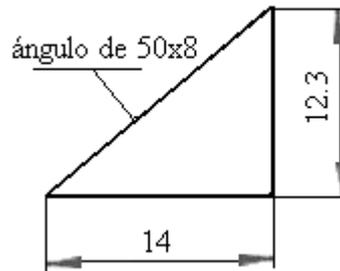
Reemplazando en la ecuación 1:

$$V2 = \frac{\pi \cdot (0.4dm)^2}{4} \cdot 16dm$$

$$V2 = 2.01 \text{ dm}^3. \text{ Tornillo}$$

Reemplazando en la ecuación 1:

$$V3 = (\sqrt{l^2 + l^2}) \cdot h \cdot e \cdot 4 \text{ (refuerzos cruzados)}$$



**Figura 2.1.c Gráfico de refuerzos cruzados**

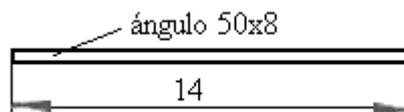
Fuente: autor

Reemplazando en la ecuación 1:

$$V3 = (\sqrt{(14dm)^2 + 12.3dm^2}) \cdot 1dm \cdot 0.08dm \cdot 4$$

$$V3 = 5.96 dm^3. \text{ (refuerzos cruzados)}$$

$$V4 = l \cdot h \cdot e \text{ (refuerzos paralelos)}$$



**Figura 2.1.d Gráfico de refuerzos paralelos**

Fuente: autor

Reemplazando en la ecuación 1:

$$V4 = (14dm \cdot 1dm \cdot 0.08dm) \cdot 2$$

$$V_4 = 2.24 \text{ dm}^3. \text{ (Refuerzos paralelos)}$$

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$V_t = 10.33 \text{ dm}^3 + 2.01 \text{ dm}^3 + 5.96 \text{ dm}^3 + 2.24 \text{ dm}^3$$

$V_t = 20.54 \text{ dm}^3$ . Volumen total de compuerta con respectivos refuerzos y tornillo.

“Peso específico (por unidad de volumen) de algunos cuerpos en (kg/dm<sup>3</sup>)”<sup>2</sup>

Cuerpos	Peso específico	Cuerpo	Peso específico
Acero	7.85	Hormigón	1.8 – 2.4
Aluminio	2.7	Ladrillo	1.6 – 1.9
Arena	1.5 – 1.6	Latón	8.5
Asfalto	1.3 – 1.5	Madera	1.2 – 1.4
Bronce fosfórico	8.8	Mármol	2.6 – 2.8
Calamina	4.1 – 4.5	Oro	19.3
Caucho	0.95 – 1.6	Papel	1.1 – 1.4
Cobre	8.9	Plata	10.5
Fundición Blanca	6.7 – 7.6	Platino	21.4
Fundición Gris	6.9 – 7.2	Plomo	11.3
Fundición Maleable	7.2 – 7.6	Sal común	2.1
Grasa	0.92 – 0.97	Titanio	4.5
Hielo	0.9	Uranio	18.8
Hierro	7.87	Zinc	7.1

### Cuadro 2.2 Peso específico de algunos cuerpos

Fuente: LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005”

<sup>2</sup> LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005” pág. 77

Una vez realizado el cálculo del volumen de la compuerta, procedemos a realizar el cálculo de la masa de la misma.

Cálculo de la masa de la compuerta con respectivos refuerzos y tornillo.

Reemplazando en la ecuación 2:

$$m = v \cdot \delta$$

$$m = \text{masa}$$

$$v = \text{volumen (Compuerta con refuerzos y tornillo)} = 20.54 \text{ dm}^3.$$

$$m = 20.54 \text{ dm}^3 \cdot 7.85 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} = 161.24 \text{ Kg}$$

$$\delta = \text{peso específico (Tomado de cuadro 2.2) "acero"} = 7.85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$m = 161.24 \text{ kg.}$$

El peso de la compuerta calculamos multiplicando la masa de la misma por la gravedad.

Calculo del peso de la compuerta

Reemplazando en la ecuación 3:

$$W = m \cdot g$$

$$W = \text{Peso}$$

$$m = \text{masa (Compuerta)} = 161.24 \text{ kg}$$

$$g = \text{gravedad (tomado de cuadro 2.1)} = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 161.24 \text{ Kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1580.14 \text{ N.}$$

$$W = 1580.14 \text{ N.}$$

### 2.1.5 Presión.

En los líquidos, la fuerza de cohesión molecular es muy pequeña; no tienen forma propia y toman la del recipiente que los contiene, manteniendo su superficie horizontal.

La presión que ejerce un líquido sobre las paredes del recipiente que lo contiene es proporcional a la altura del líquido y a su peso específico.

$$p = h \cdot \delta$$

Ecuación. 5

$p = \text{presión}$

$h = \text{altura}$

$\delta = \text{peso específico}$

### 2.1.6 Fricción.

Es un hecho experimental bien conocido que siempre que tratamos de mover un cuerpo en contacto con otro encontramos cierta resistencia. Por ejemplo, si tenemos un libro sobre una mesa y lo empujamos, vemos que se detiene después de recorrer cierta distancia, indicio que ha estado sometido a una fuerza que se opuso al movimiento.

Por tanto, fricción es la fuerza que aparece en la superficie en contacto de dos cuerpos diferentes en movimiento relativo, oponiéndose siempre a dicho movimiento.

La fricción puede ser por deslizamiento, por rodadura y por viscosidad.

### **Fricción por deslizamiento.**

Si se trata de dos cuerpos sólidos y uno se desliza sobre otro, se tiene la fricción por deslizamiento. Este es el caso de un libro que se desliza sobre la mesa. Si se desea que el libro continúe deslizándose es necesario ejercer sobre el libro una fuerza para vencer la fuerza de fricción. Como la superficie de los cuerpos presentan rugosidades, la fricción por deslizamiento se debe en parte, al que a reposar un cuerpo sobre otro las irregularidades de la superficie del primero se entrelazan o traban con las del segundo dificultándose así el movimiento relativo de ambos, lo que dinámicamente equivale a una fuerza opuesta a dicho movimiento. La fricción depende, además, de la fuerza de adhesión que se produce entre las moléculas de las superficies en contacto.

Para que el cuerpo se deslice con movimiento uniforme es necesario aplicarle una fuerza igual y contraria a la fricción.

### **Propiedades de la fricción por deslizamiento.**

Las propiedades de la fricción por deslizamiento son:

- 1) la fricción por deslizamiento depende de las sustancias en contacto.
- 2) La fricción por deslizamiento depende del estado en que se encuentran las superficies (pulimentación, barnizado, grasa, etc.)
- 3) La fricción por deslizamiento es independiente de la forma y el área de la superficie en contacto.
- 4) La fricción por deslizamiento es proporcional a la fuerza que ejerce perpendicularmente a las superficies en contacto. O sea, si  $N$  es la fuerza normal a las superficies y  $F$  la fuerza de fricción:

“Coeficientes de rozamiento de algunos elementos”<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005” pág. 134

Materiales en rozamiento	Estático		Dinámico	
	Seco	Lubricado	Seco	Lubricado
Acero sobre acero	0.15	0.10	0.10	0.09-0.08
Acero sobre fundición de hierro	0.19	0.10	0.18	0.08-0.05
Acero sobre bronce	0.19	0.10	0.18	0.08-0.05
Acero sobre manera dura	0.6-0.5	0.10	0.4	0.08
Acero sobre hielo	0.026		0.015	
Fundición sobre fundición (hierro)	0.20	0.16	0.14	0.10
Fundición sobre bronce	0.20	0.16	0.18	0.08
Fundición sobre madera dura	0.6	0.10	0.5	0.10
Bronce sobre bronce	0.2	0.11	0.19	0.06
Correa de cuero sobre fundición	0.4		0.3	
Correa de cuero sobre madera	0.5		0.4	

### Cuadro 2.3 Coeficientes de rozamiento de algunos materiales

Fuente: LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005”

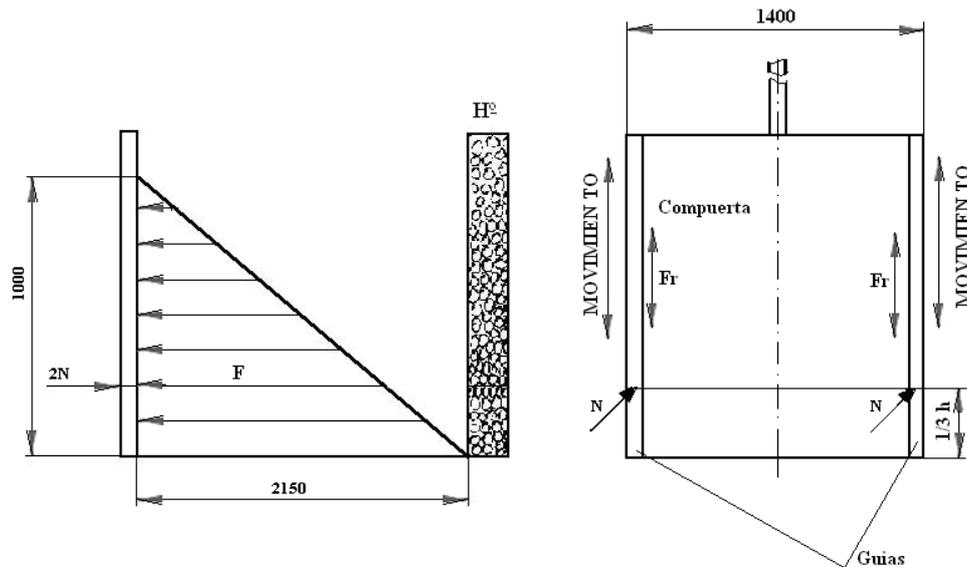
$$F = \mu \cdot N$$

Ecuación. 6

$F$  = fuerza

$\mu$  = coeficiente de fricción

$N$  = fuerza normal (perpendicular al plano)



**Figura 2.2.a Diagrama de esfuerzos**

Fuente: autor

En este gráfico tenemos la distribución de las fuerzas que se presentan sobre la compuerta, la presión que ejerce el agua sobre la compuerta está ubicada en la tercera parte de su altura, y la distribución de fuerzas se presenta en forma triangular como se ve en la figura anterior. Como la compuerta se desliza sobre las dos guías, aquí se presentan dos puntos de rozamiento que serían las fuerzas normales.

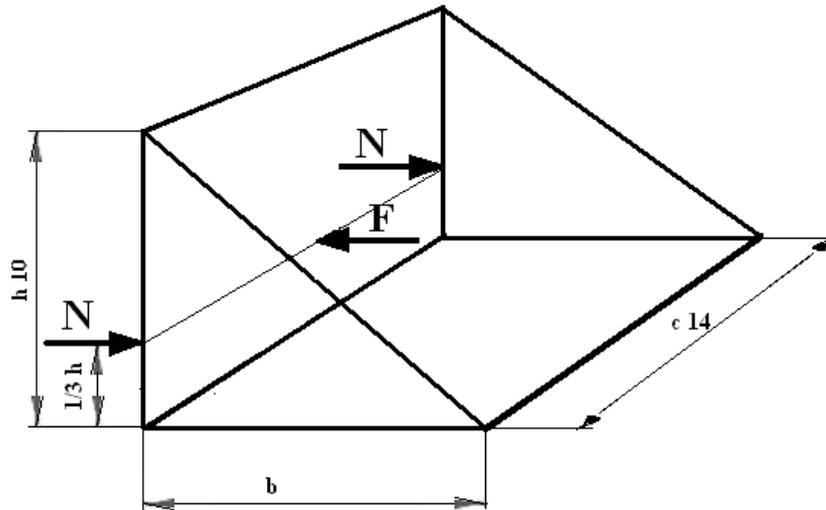
“Peso específico (por unidad de volumen) de algunos líquidos en (kg/dm<sup>3</sup>)”<sup>4</sup>

Cuerpos	Peso específico	Cuerpo	Peso específico
Aceite mineral	0.93	Benzina	0.70
Aceites vegetales	0.90- 0.97	Cerveza	1.03
Acido Nítrico	1.51	Gas-oil	0.86-0.89
Agua	1.00	Leche	1.03
Agua de mar	1.02	Mercurio	13.6

#### **Cuadro 2.4 Peso específico de algunos cuerpos**

Fuente: LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005”

<sup>4</sup> LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, Editorial Paraninfo, Madrid, 2005” pág. 79



**Figura 2.2.b Diagrama de esfuerzos**

Fuente: gráfico realizado por el autor

$$F = N$$

$$2F = N$$

$F$  = área del triángulo (figura 2.2.a)

$$A = \frac{b \cdot h}{2}$$

Ecuación. 7

$$b = h \cdot c \cdot \delta$$

Ecuación. 8

$A$  = área del triángulo =  $F$  (fig.2.2a)

$b$  = base del triángulo = 21.5 dm.

$h$  = altura del triángulo = 10 dm.

$c$  = ancho de compuerta = 14 dm.

$\delta$  = densidad del agua (cuadro 2.4)

Reemplazando en la ecuación 7,8:

$$N = \frac{h \cdot c \cdot h}{2} \cdot \delta$$

$$N = \frac{c \cdot h^2}{2} \cdot \delta$$

$$2N = \frac{c \cdot h^2}{2} \cdot \delta$$

$$N = \frac{c \cdot h^2}{4} \cdot \delta$$

$$N = \frac{b \cdot h^2}{4} \cdot \delta$$

$$N = \frac{14dm \cdot (10dm)^2}{4} \cdot 1 \frac{kg}{dm^3}$$

$$N = \frac{1400dm^3}{4} \cdot 1 \frac{kg}{dm^3}$$

$$N = 350 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación 6:

$$F = \mu \cdot N$$

$$F = \text{fuerza}$$

$$\mu = \text{coeficiente de fricción (0.15 acero sobre acero)}$$

$$N = \text{Fuerza normal (350 kg.)}$$

$$F = 0.15 \cdot 350 \text{ kg}$$

$$F = 52.5 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación 3:

$$F = m \cdot g$$

$$F = \text{fuerza}$$

$m = \text{masa del agua (52.5 kg)}$

$g = \text{gravedad (cuadro 2.1)} = 9.8 \text{ m/s}^2$

$$F = 52.5 \text{ kg} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 514.5 \text{ N}$$

$$F_t = F_c + F_r$$

$F_t = \text{Fuerza total}$

$F_c = \text{Fuerza de la compuerta (1580.14 N)}$

$F_r = \text{Fuerza de rozamiento (514.5 N)}$

$$F_t = 1580.14 \text{ N} + 2(514.5 \text{ N})$$

$$F_t = 2609.14 \text{ N}$$

## 2.2 TORNILLO

### 2.2.1 Normas y definiciones de roscas.

La terminología de roscas y tornillo, como se muestra en la figura, se explica como sigue:

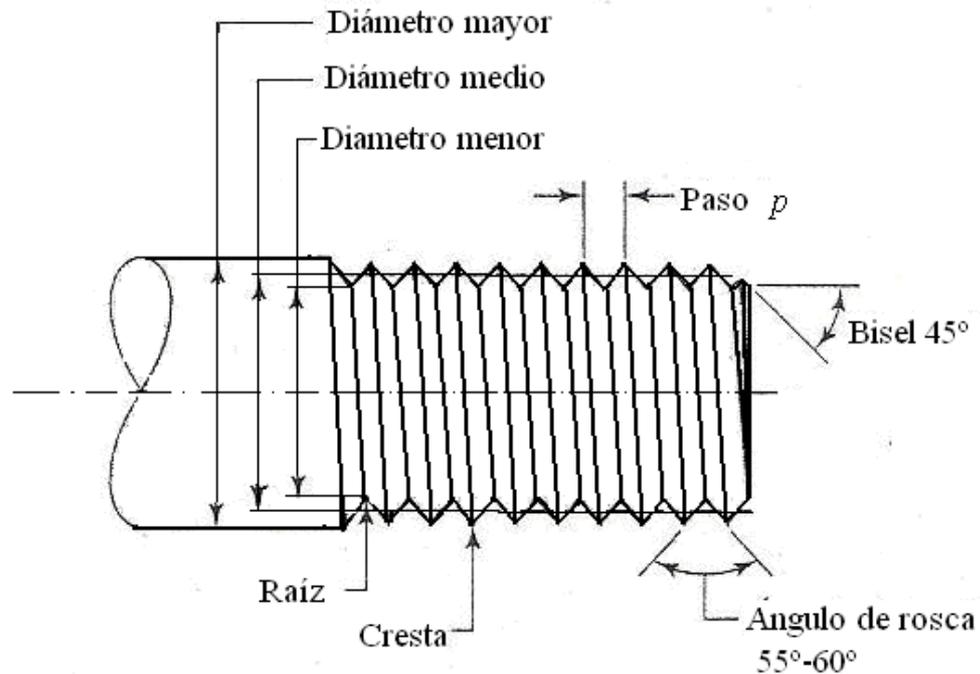
#### 2.2.1.1 Paso.

Es la distancia entre dos hilos adyacentes, medida en forma paralela al eje de la rosca. El paso en unidades inglesas es el recíproco del número de hilos por pulgada.

El paso en unidades métricas es la distancia medida entre los hilos de una rosca.

El diámetro mayor  $d$  es el más grande de la rosca.

El diámetro menor  $d_r$  o  $d_l$  es el más pequeño de la rosca.



**Figura 2.3 Nomenclatura de una rosca**

Fuente: SHINGLEY Joseph; MISCHKE Charles Diseño en ingeniería Mecánica, 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002.

### 2.2.1.2 Avance.

Es la distancia que se desplaza una tuerca en forma paralela al eje del tornillo cuando se da una vuelta. En el caso de una rosca simple, el avance es igual al paso.

Un elemento con rosca múltiple es el que tiene dos o más roscas talladas. Los productos estandarizados como tornillos, pernos y tuercas tienen roscas sencillas; un tornillo de rosca doble tiene un avance igual al doble del paso, un tornillo de rosca triple tiene un avance igual a tres veces del paso, etcétera.

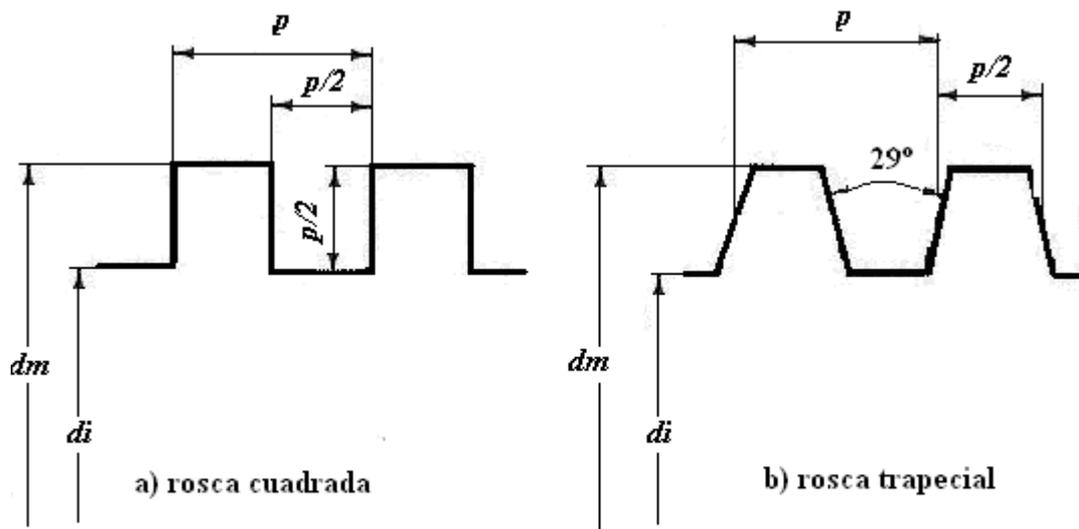
### 2.2.1.3 Calculo del torque.

El tamaño de las roscas se determina dando el paso para roscas métricas y por número de hilos por pulgada para roscas inglesas.

El área de la varilla sin rosca se llama área de esfuerzo de tensión de la varilla roscada.

En la siguiente figura se ilustra un esquema de rosca cuadrada y rosca trapezoidal respectivamente, que se emplean cuando se va a transmitir potencia. En este tipo de

roskas se utilizan otros pasos, puesto que no existe la necesidad de una norma para tales rosas.



**Figura 2.4 Rosca cuadrada y rosca trapecial**

Fuente: autor

El par de torsión es el producto de la fuerza  $P$  y el diámetro medio  $\frac{dm}{2}$ , para elevar la carga se escribe

$$T = \frac{F \times dm}{2} \times \left( \frac{l + \pi \cdot f \cdot dm}{\pi \cdot dm - f \cdot l} \right)$$

Ecuación 9

$T$ = par de torsión para elevar la carga

$$T = \frac{F \times dm}{2} \times \left( \frac{\pi \cdot f \cdot dm - 1}{\pi \cdot dm + f \cdot l} \right)$$

Ecuación 10

$T$ = par de torsión requerido para bajar la carga

$F$ = fuerza de la carga a levantar o bajar.

$dm$  = diámetro medio del tornillo.

$l$  = avance del tornillo.

$f$  = coeficiente de fricción (tornillo-tuerca)

.

Estas ecuaciones son utilizadas para roscas cuadradas donde las cargas normales en las roscas son paralelas al eje del tornillo.

En general, se debe utilizar un tercer componente del par de torsión en las aplicaciones del tornillo de transmisión de potencia. Cuando el tornillo se cargue axialmente, hay que emplear un cojinete o collarín de empuje entre los elementos rotatorio y estacionario, con objeto de soportar el efecto de la componente axial. En el gráfico 2.5 se ilustra un collarín de empuje para el que se supone que la carga está concentrada en el diámetro medio del collarín. Si  $fc$  es el coeficiente de fricción del collarín, el par de torsión que se necesita es:

$$T_c = \frac{F \cdot fc \cdot dc}{2}$$

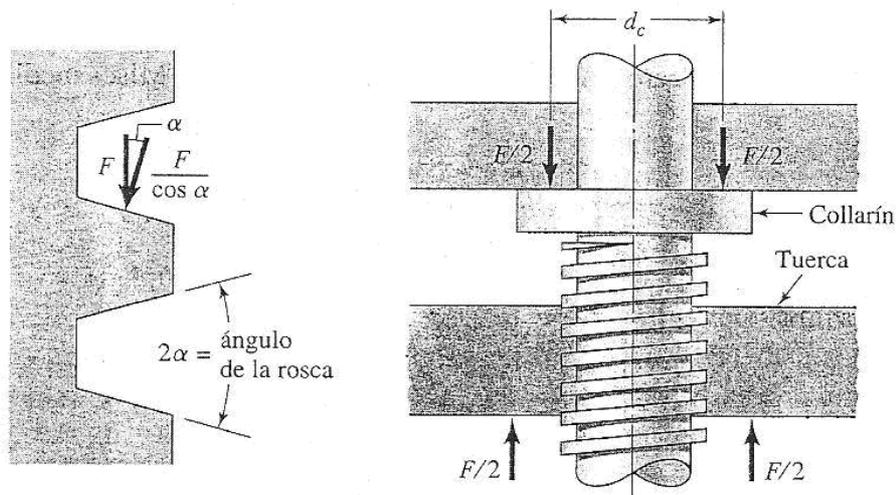
Ecuación 11

$T_c$  = par torsor en el collarín

$F$  = fuerza de la carga a levantar o bajar.

$fc$  = coeficiente de fricción en el collarín

$dc$  = diámetro medio del collarín.



**Figura 2.5 Diagrama de fuerzas en un tornillo de potencia**

Fuente: SHINGLEY Joseph; MISCHKE Charles Diseño en ingeniería Mecánica, 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002.

“Coeficientes de fricción para pares roscados”<sup>5</sup>

Material del tornillo	Material de la tuerca		
	Acero	Bronce	Fundición
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.25
Acero, aceite	0.11-0.17	0.10-0.16	0.11-0.17
Acero bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	0.06-0.09

**Cuadro 2.5 Coeficientes de fricción de algunos cuerpos**

Fuente: Joseph E. SHIGLEY, Charles R. MISCHKE, Diseño en ingeniería Mecánica 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002.

<sup>5</sup> Joseph E. SHIGLEY, Charles R. MISCHKE, Diseño en ingeniería Mecánica 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002. cap. 8 pág. 465

“Coeficientes de fricción de collarín de empuje”<sup>6</sup>

Combinación	Operando	Arrancando
Acero suave sobre fundición de hierro	0.12	0.17
Acero duro sobre fundición de hierro	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

**Cuadro 2.6 Coeficientes de fricción de algunos cuerpos**

Fuente: Joseph E. SHIGLEY, Charles R. MISCHKE, Diseño en ingeniería Mecánica 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002.

El par de torsión requerido para girar el tornillo contra la carga nos quedaría:

Ecuación 9 + Ecuación 11

$$T = \frac{F \times dm}{2} \times \left( \frac{l + \pi \cdot f \cdot dm}{\pi \cdot dm - f \cdot l} \right) + \frac{F \cdot fc \cdot dc}{2}$$

Ecuación 12

$T$  = torque para elevar la carga.

$F$  = fuerza = 2609.14 N.

$dm$  = diámetro medio del tornillo.

$l$  = avance = 5 mm.

$f$  = coeficiente de fricción del tornillo. = 0.12 (tabla 2.4)

$fc$  = coeficiente de fricción del collarín = 0.15 (tabla 2.5)

$dc$  = diámetro del collarín = 70 mm.

El requerimiento de desplazamiento que tiene que dar la compuerta para quedar completamente abierta o cerrada es de 950 mm, para lo cual se necesita construir un tornillo de potencia de una longitud mayor al desplazamiento de la compuerta, para satisfacer la necesidad de apertura o cierre.

La hipótesis inicial es un tornillo de 1000 mm de longitud con un paso de 6 mm.

<sup>6</sup> Joseph E. SHIGLEY, Charles R. MISCHKE, Diseño en ingeniería Mecánica 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002. cap. 8 pág. 465

Por lo tanto el número de vueltas necesario para la apertura o cierre de la compuerta es:

$$\text{Número de vueltas} = \frac{\text{Longitud del tornillo para la apertura de la compuerta}}{\text{paso}}$$

$$\text{Número de vueltas} = \frac{1000}{6}$$

$$\text{Número de vueltas} = 167 \text{ vueltas}$$

En las instalaciones donde se aplica el proyecto se dispone de un motoreductor que nos permite hacer el sistema de apertura o cierre automático. Las características del equipo se detallan a continuación:

Motor	
Marca	Leroy Sommer
Modelo	LS71
Potencia	0,18 Kw
RPM	1800

Reductor	
RPM	17
Reducción	102

Por lo tanto se debe determinar el torque a la salida del reductor, ya que ese torque es el que debe resistir el tornillo a diseñar, mediante la siguiente ecuación:

$$P_{red} = \eta_{red} P_{mot}$$

Ecuación 13

Una desventaja de en cualquier mecanismo de sinfín es que tiene muy altos deslizamientos y cargas de empuje, lo cual hace que su eficiencia baje a un nivel de 40% a 85%

“Eficiencia de engranajes tornillo sinfín para  $f=0.05$ ”<sup>7</sup>

Angulo de la hélice (grados)	Eficiencia %
1.0	25.2
2.5	45.7
5.0	62.0
7.5	71.3
10.0	76.6
15.0	82.7
20.0	85.9
30.0	89.1

### Cuadro 2.7 Eficiencia de engranajes tornillo sinfín

Fuente: SHINGLEY Joseph; MISCHKE Charles Diseño en ingeniería Mecánica, 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002.

De donde:

$P_{red}$  = Potencia del motoreductor = 0.18 kW (tomado de placa del motoreductor)

$\eta_{red}$  = Eficiencia del reductor = 0.75 (cuadro 2.7, anexo 5)

$P_{mot}$  = Potencia del motor

Reemplazando en la ecuación 13:

$$P_{red} = 0.18kW * 0.75$$

$$P_{red} = 0.135kW$$

A continuación, partiendo de la ecuación de potencia, determinamos el torque en el eje a la salida del reductor:

<sup>7</sup> Joseph E. SHIGLEY, Charles R. MISCHKE, Diseño en ingeniería Mecánica 6 edición. Barcelona España: McGraw Hill 2002.cap. 13 pág. 879

$$P = \frac{T\omega}{K}$$

Ecuación 14

De donde:

P= Potencia del reductor = 0.117 kW.

T= Torque

 $\omega$  =Velocidad angular = 17 rpm

K = Constante de transformación de unidades.

Reemplazando en la ecuación 14:

$$T = \frac{135 * 9.55}{17}$$

$$T = 75.84 \text{ N m}$$

Este torque real es el que debe soportar el tornillo de potencia, por lo tanto de la ecuación del par de torsión requerido para el giro del tornillo contra la carga, determinamos el diámetro medio:

$$T = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) + \frac{F f_c d_c}{2}$$

De donde:

T= Torque

F= Fuerza = 2609.14 N

 $d_m$  = diámetro medio del tornillo

l = avance = 5 mm.

 $f$  = coeficiente de fricción del tornillo= 0.12 (tabla 2.4) $f_c$  = coeficiente de fricción del collarín = 0,15 (tabla 2.5) $d_c$  = diámetro del collarín = 70 mm

Reemplazando en la ecuación 12 obtenemos:

$$75.84Nm = \frac{2609.14N \cdot dm}{2} \cdot \left( \frac{0.005m + \pi \cdot 0.12 \cdot dm}{\pi \cdot dm - 0.12 \cdot 0.005m} \right) + \frac{2609.14N \cdot 0.15 \cdot 0.07m}{2}$$

$$75.84Nm = 1304.57N \cdot dm \cdot \left( \frac{0.005m + 0.377 \cdot dm}{\pi \cdot dm - 0.0006m} \right) + 13.698Nm$$

$$75.84Nm - 13.689Nm = 1304.57N \cdot dm \cdot \left( \frac{0.005m + 0.377 \cdot dm}{\pi \cdot dm - 0.0006m} \right)$$

$$62.142Nm \cdot (\pi \cdot dm - 0.0006m) = 1304.57N \cdot dm \cdot (0.005m + 0.377 \cdot dm)$$

$$195.225Nm \cdot dm - 0.037Nm^2 = 6.523Nm \cdot dm + 491.823 \cdot dm^2$$

$$491.823 \cdot dm^2 - 188.702 \cdot dm + 0.037 = 0$$

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$X = \frac{-188.702 \pm \sqrt{188.702^2 - 4 \cdot 0.037 \cdot 491.823}}{2 \cdot 491.823}$$

$$X = \frac{-188.702 \pm \sqrt{35535.655}}{986.606}$$

$$X = \frac{-188.702 \pm 188.51}{986.606}$$

$$dm = 0.0383m = 38.3mm$$

Para el cálculo del torque del tornillo tenemos:

$$T = \frac{2609.14Kg \frac{m}{s^2} \cdot 0.0375m}{2} \times \left( \frac{0.005m + \pi \cdot 0.12 \cdot 0.0375m}{\pi \cdot 0.0375m - 0.12 \cdot 0.005m} \right) + \frac{2609.14Kg \frac{m}{s^2} \cdot 0.15 \cdot 0.07m}{2}$$

$$T = 48.92Nm \times \left( \frac{0.019m}{0.12m} \right) + 13.70Nm$$

$$T = 48.92Nm \times (0.158) + 13.70Nm$$

$$T = 7.73Nm + 13.70Nm \quad T = 21.43Nm$$

Para el cálculo de las revoluciones del motor en un tiempo de 5 minutos:

$$RPM = \frac{\# \text{ vueltas}}{t}$$

$RPM$  = revoluciones por minuto que da la tuerca.

$\#V$  = número de vueltas que dará la tuerca.

$t$  = tiempo en que subirá o bajará la compuerta

$$RPM = \frac{167}{5}$$

$$RPM = 33.4$$

Para el cálculo de la potencia que necesitamos para subir o bajar la compuerta:

Reemplazando en la ecuación 14:

$$Pot = \frac{T \cdot \omega}{K}$$

$Pot$  = potencia

$T$  = Torque = 21.43 N

$K$  = constante = 9.55 (para cambio de unidades)

$\omega$  = velocidad angular = 33.4 RPM

$$Pot = \frac{21.43Nm \cdot 33.4RPM}{9.55}$$

$$Pot = 74.95 \text{ Wat.}$$

$$1CV = 735.5 \text{ Wat}$$

$$Pot = \frac{1CV}{735.5 \text{ Wat}} \cdot \frac{74.95 \text{ Wat}}{X}$$

$$Pot = 0.102 \text{ CV}$$

$$1HP = 1.014 \text{ CV}$$

$$Pot = \frac{1 \text{ HP}}{1.014 \text{ CV}} \cdot \frac{0.102 \text{ CV}}{X}$$

$$Pot = 0.101 \text{ HP} \approx 1/8 \text{ HP} - 1/4 \text{ HP} \approx Pot = 1/4 \text{ HP}$$

## 2.3 CATALINA Y CADENA

### 2.3.1 Aplicación.

#### 2.3.1.1 Transmisión de engranajes con cadena.

Este es un mecanismo de transmisión circular que consta de una cadena sin fin (cerrada) cuyos eslabones engranan con ruedas dentadas (piñones) que están unidas a los ejes de los mecanismos conductor y conducido. Se comportan como las transmisiones mediante poleas y correa, pero con la ventaja de que, al ser las ruedas dentadas, la cadena no corre peligro de deslizarse. Además, la relación de transmisión se mantiene constante...precisamente, porque no existe deslizamiento y por si fuese poco tiene otra gran ventaja: la transmisión de grandes potencias (al contrario que el sistema de poleas con correas), lo que se traduce en una mayor eficiencia mecánica. Sin embargo, este mecanismo tiene inconvenientes frente al sistema de poleas: es más costoso, más ruidoso y necesita lubricación, por no hablar de la imposibilidad de invertir el giro de los engranajes Este mecanismo es un método de transmisión muy utilizado porque permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes paralelos, que estén bastante separados. Es el mecanismo de transmisión que utilizan las bicicletas y motocicletas, y en muchas máquinas e instalaciones industriales.

Las cadenas de rodillos están formados por cilindros huecos (rodillos exteriores) montadas entre placas o mallas, rodillos interiores o ejes, limitándose a la posición de las placas por medio de pasadores situados sobre los rodillos interiores.

Estas se aplican o utilizan para la transmisión de fuerzas entre dos ejes relativamente próximos, situados paralelamente.

Las cadenas están normalizadas, considerándose:

Paso de la rueda	$p$
Diámetro del rodillo (exterior)	$d$
Número de dientes de la rueda	$z$
Diámetro primitivo	$dp$

El número de eslabones de la cadena, aproximadamente en:

$$N = \frac{2 \cdot C}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{p \cdot (Z_1 + Z_2)^2}{40 \cdot C}$$

Ecuación 15

Redondeando el valor para obtener un número entero.

$N$  = número de eslabones

$C$  = distancia entre centros

$p$  = paso

$Z_1, Z_2$  = número de dientes de las ruedas (conductora y conducida)

La distancia entre centros, resulta

$$C = \frac{p}{8} \cdot \left[ A + \sqrt{(A + 0.9 \cdot B) \cdot (A - 0.9 \cdot B)} \right]$$

Ecuación 16

Siendo:

$$A = 2 \cdot N - (Z_1 + Z_2)$$

Ecuación 17

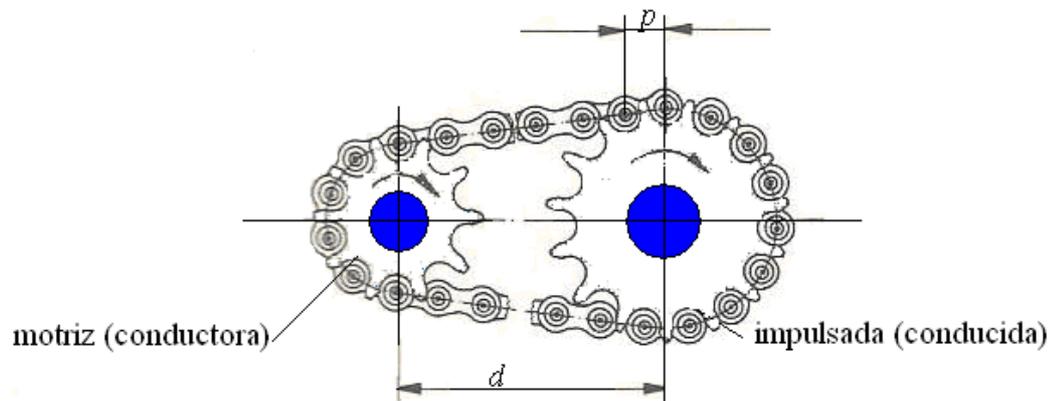
$$B = Z_2 - Z_1$$

Ecuación 18

$i$  = relación de transmisión

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Ecuación 19



**Figura 2.6 Diagrama catalina piñón y cadena**

Fuente: autor

### 2.3.1.2 Selección de cadena.

Reemplazando en la ecuación 15:

$$N = \frac{2 \cdot C}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{p \cdot (Z_1 + Z_2)^2}{40 \cdot C}$$

$N$  = número de eslabones

$C$  = distancia entre centros = 920 mm.

$Z_1$  = 20 dientes.

$Z_2$  = 40 dientes.

$p$  = paso de cadena = 12 mm.

$$N = \frac{2 \cdot 920}{12} + \frac{20 + 40}{2} + \frac{12 \cdot (20 + 40)^2}{40 \cdot 920} =$$

$$N = 153.3 + 30 + 1.17 = \quad N = 184.5 \approx 185 \text{ eslabones.}$$

Reemplazando en la ecuación 16:

$$C = \frac{P}{8} \cdot \left[ A + \sqrt{(A + 0.9 \cdot B) \cdot (A - 0.9 \cdot B)} \right]$$

Donde:

N = número de eslabones

C = distancia entre centros

p = paso

Z1, Z2 = número de dientes de las ruedas (conductora y conducida)

C = distancia entre centros.

$$A = 2 \cdot N - (Z_1 + Z_2)$$

$$B = Z_2 - Z_1$$

La distancia entre centros, resulta

$$C = \frac{12mm}{8} \cdot \left[ 310 + \sqrt{(310 + 0.9 \cdot 20) \cdot (310 - 0.9 \cdot 20)} \right]$$

$$C = 1.5mm \cdot \left[ 310 + \sqrt{(310 + 18) \cdot (310 - 18)} \right]$$

$$C = 1.5mm \cdot \left[ 310 + \sqrt{(328) \cdot (292)} \right]$$

$$C = 1.5mm \cdot \left[ 310 + \sqrt{(95776)} \right]$$

$$C = 1.5mm \cdot [310 + 309.48]$$

$$C = 1.5mm \cdot 619.48$$

$$C = 929.22mm$$

Reemplazando la ecuación 17

Siendo  $A = 2 \cdot N - (Z_1 + Z_2)$

$$A = 2 \cdot 185 - (20 + 40)$$

$$A = 2 \cdot 185 - (60)$$

$$A = 310$$

Reemplazando la ecuación 18

$$B = Z_2 - Z_1$$

$$B = 40 - 20$$

$$B = 20$$

Reemplazando la ecuación 19

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$i = \frac{40}{20}$$

$$i = 2$$

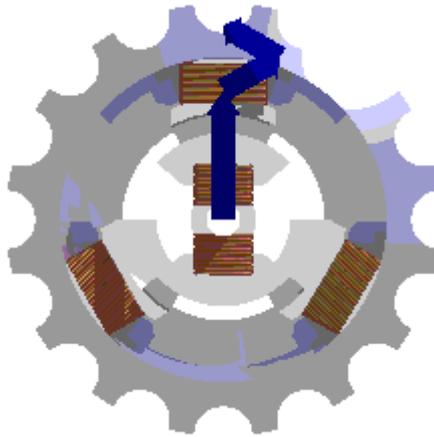
$$i = 2 \therefore 1$$

$i$  = relación de transmisión

### 2.3.2 Transmisión del movimiento de rotación.

El movimiento de rotación puede transmitirse fácilmente de un cuerpo a otro mediante correas, cadena o bandas, lo que es de gran valor industrial y técnico. Por ejemplo en las bicicletas el movimiento de los pedales se trasmite a la rueda trasera mediante una cadena que ajusta perfectamente en dos ruedas dentadas (catalina-cadena).

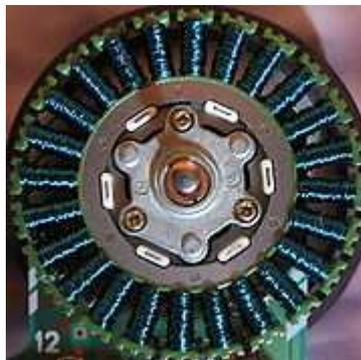
### 2.4 MOTOR ELÉCTRICO



**Figura 2.7 Diagrama motor eléctrico**

Fuente. <http://encarta.resitenciademateriales.org>

Campo magnético que rota como suma de vectores magnéticos a partir de 3 bobinas de la fase



**Figura 2.8 Rotor de un motor eléctrico**

Fuente: <http://encarta.resitenciademateriales.org>

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, es decir, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y de particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías.

#### **2.4.1 Principio de funcionamiento.**

Los motores de corriente alterna y los motores de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el cual circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente eléctrica por un conductor se produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

#### **2.4.2 Motores de corriente alterna.**

Los motores de corriente alterna se clasifican de la siguiente manera:

##### **2.4.2.1 Asíncrono o de inducción.**

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo

magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor, mayor es esta diferencia de frecuencias.

#### **2.4.2.1.1 Monofásicos.**

- Motor de arranque a resistencia.
- Motor de arranque a condensador.
- Motor de marcha.
- Motor de doble capacitor.
- Motor de polos sombreados.

#### **2.4.2.1.2 Trifásicos.**

##### **Motor de Inducción.**

A tres fases

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Un motor con carga equilibrada no requiere el uso de neutro. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.

##### **Rotor Devanado.**

Monofásicos

- Motor universal
- Motor de Inducción-Repulsión.

##### **Trifásicos.**

- Motor de rotor devanado.
- Motor asíncrono
- Motor síncrono

**Sincrónico.**

En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.

**Cambio de sentido de giro.**

Para efectuar el cambio de sentido de giro de los motores eléctricos de corriente alterna se siguen unos simples pasos tales como:

- Para motores monofásicos únicamente es necesario invertir las terminales del devanado de arranque
- Para motores trifásicos únicamente es necesario invertir dos de las conexiones de alimentación correspondientes a dos fases de acuerdo a la secuencia de trifases.

**Regulación de velocidad.**

En los motores asíncronos trifásicos existen dos formas de poder variar la velocidad, una es variando la frecuencia mediante un equipo electrónico especial y la otra es variando la polaridad gracias al diseño del motor. Esto último es posible en los motores de devanado separado, o los motores de conexión *Dahlander*.

**2.5 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO****2.5.1 Reductores de velocidad.**

Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de esta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos (estáticos y dinámicos). Esta adaptación se realiza generalmente con uno o varios pares de engranajes que adaptan la velocidad y potencia mecánica montados en un cuerpo compacto denominado reductor de velocidad aunque en algunos países hispanos parlantes también se le denomina caja reductora.

### 2.5.1.1 Tipos de reductores de velocidad.

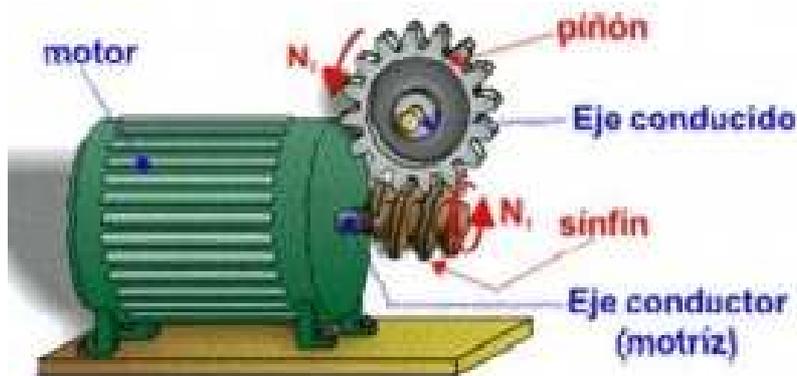
Los reductores de velocidad se suelen clasificar de un modo bastante anárquico, solapándose en algunos casos las definiciones de modo intrínseco y en otros casos hay que usar diversas clasificaciones para definirlos.

### 2.5.1.2 Clasificación según tipo de engranajes.

Los reductores se pueden clasificar por la tipología de sus engranajes, las clasificaciones más usuales son: Sin fin-Corona, engranajes y planetarios.

#### 2.5.1.2.1 Reductores de velocidad de Sin fin-Corona.

El tornillo sinfín es un mecanismo de transmisión circular compuesto por dos elementos: el tornillo (sinfín), que actúa como elemento de entrada (o motriz) y la rueda dentada, que actúa como elemento de salida (o conducido) y que algunos autores llaman corona. La rosca del tornillo engrana con los dientes de la rueda de modo que los ejes de transmisión de ambos son perpendiculares entre sí.



**Figura 2.9 Gráfico reductor de velocidad corona -sin fin**

Fuente: <http://encarta.resitenciademateriales.org>

El funcionamiento es muy simple: por cada vuelta del tornillo, el engranaje gira un solo diente o lo que es lo mismo, para que la rueda dé una vuelta completa, es necesario que el tornillo gire tantas veces como dientes tiene el engranaje. Se puede deducir de todo ello que el sistema posee una relación de transmisión muy baja, o lo que es lo mismo, es un excelente reductor de velocidad y, por lo tanto, posee elevada

ganancia mecánica. Además de esto, posee otra gran ventaja, y es el reducido espacio que ocupa.

El tornillo es considerado una rueda dentada con un solo diente que ha sido tallado helicoidalmente (en forma de hélice). A partir de esta idea, se puede deducir la expresión que calcula la relación de transmisión:



**Figura 2.10 Vista en corte de reductor de velocidad corona-sin fin**

Fuente: ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de Maquinas. 4 ed.  
México: Ed. Continental S. A, 2006.

#### **2.5.1.2.2 Reductores de velocidad de engranajes.**

Un tren de engranajes consiste en la combinación de más de un par de engranajes. Es un sistema de transmisión circular muy común con múltiples y variadas aplicaciones. Un ejemplo significativo es la caja de cambios de un automóvil, compuesto por varios trenes de engranajes. ¿por qué se usan trenes?

- Obtención de una relación de transmisión  $i$ , imposible de conseguir con un solo par de ruedas
- Obtención de una amplia gama de  $i$  en un mismo mecanismo
- Por motivos de espacio, debido a la necesidad de transmitir el movimiento entre ejes alejados
- Si se necesita cambiar la situación, orientación o sentido del movimiento del eje de salida. Si se desea transmitir el movimiento de un eje a otros simultáneamente



**Figura 2.11 Vista en corte de reductor de velocidad de engranajes**

Fuente: ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de Maquinas. 4 ed.

México: Ed. Continental S. A, 2006.

### 2.5.1.2.3 Reductores de velocidad Planetarios.

Son reductores de engranajes con la particularidad de que no están compuestos de pares de engranajes si no de una disposición algo distinta



**Figura 2.12 Reductor de velocidad engranajes y planetarios**

Fuente: ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de Máquinas. 4 ed.

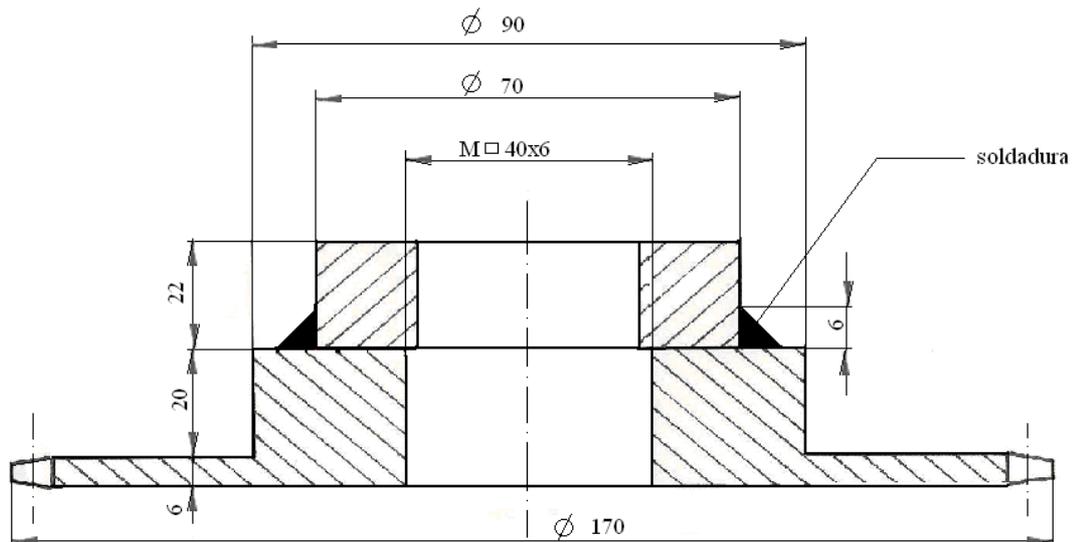
México: Ed. Continental S. A, 2006.

## 2.6 UNIONES SOLDADAS.

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales), usualmente logrado a través de la fusión, en la cual las piezas son soldadas derritiéndose ambas y agregando un material de relleno derretido (metal), el cual tiene un punto de fusión menor al de la pieza a soldar, para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al enfriarse, se convierte en una unión fuerte. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (en inglés *soldering*) y la soldadura fuerte (en inglés *brazing*), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

La confiabilidad de las uniones soldadas ha llegado a sustituir a las uniones remachadas en el diseño de máquinas y estructuras. Por otra parte suele ser más económico fabricar una pieza complicada soldando entre sí componentes sencillos (placas, barras, etc.) que hacerla de una sola pieza, por moldeo y acabado posterior.

La resistencia de las uniones a traslape, tanto en filetes laterales como frontales, se supone determinada por la resistencia al cortante de la garganta de la soldadura. En los filetes a 45° de la figura, llamado  $a$  al ancho de las bases, el área de la sección de la garganta sometida a cortante es igual a la longitud  $L$  del cordón por el espesor de la garganta, es decir,  $A = L \cdot a \cdot \text{sen}45^\circ$  o  $A = 0.707L \cdot a \text{ mm}^2$ . Los esfuerzos admisibles en uniones soldadas dependen del tipo de electrodo empleado en el proceso de soldadura. Por ejemplo, si se utiliza un electrodo E-70 para el proceso, el esfuerzo cortante admisible es 145 MPa. Para este caso, la resistencia de la soldadura a 45° es, en N,



**Figura 2.13 Corte de catalina y soldado a tuerca de volante de compuerta**

Fuente: autor

Para realizar el cálculo de la soldadura a traslape, comenzamos calculando el perímetro de la tuerca roscada que vamos a soldar con el volante.

$$U = \pi \cdot \vartheta$$

Ecuación 16

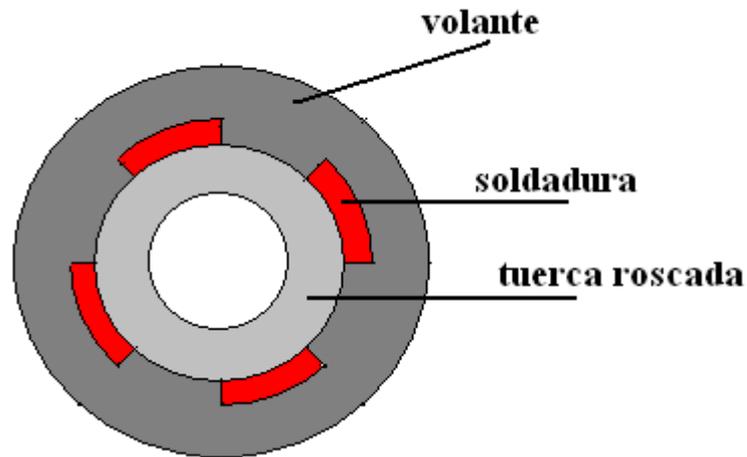
$U = \text{perímetro}$

$\vartheta = \text{diámetro} = 70 \text{ mm.}$

$U = 3.14 \cdot 70 \text{ mm}$

$U = 219.91 \text{ mm.}$

Como la longitud de soldadura entre las dos piezas, va ser un cordón discontinuo, como se ve en la figura 2.14, a este perímetro le dividiremos en dos partes:



**Figura 2.14.a Soldadura de tuerca roscada a volante de compuerta**

Fuente: autor

$$L = \frac{U}{2}$$

$$L = \frac{219.91\text{mm}}{2}$$

$$L = 109.96 \text{ mm.}$$

La resistencia en las uniones a traslape,

$$P = \tau \cdot A$$

Ecuación 17

$P$  = fuerza

$\tau$  = esfuerzo cortante (E-70) = (145MN)

$\tau$  = esfuerzo cortante (E-70) = (145x10<sup>6</sup> N)

$A$  = área de la sección de garganta

Reemplazando la ecuación 16 y 17:

$$P = (145 \times 10^6 N)(0.707aL \times 10^{-6})$$

$$P = 103 N \cdot aL$$

$a$  = ancho de platina

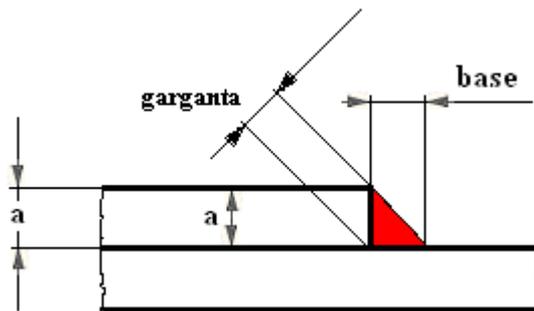
$L$  = longitud de cordón

$$P = 103 N \cdot 6 mm \cdot 109.96 mm =$$

$$P = 67952.65 N \cdot mm^2$$

Como la fuerza que ejerce la compuerta es 2609 N, la soldadura cumple con los esfuerzos calculados.

Por lo general la resistencia de una soldadura a traslape se expresa en términos de una fuerza admisible  $q$  por milímetro de longitud soldada, esta está dada por:



**Figura 2.14 b Nomenclatura de soldadura**

Fuente: autor

$$q = \frac{P}{L} = 103a \quad N/mm$$

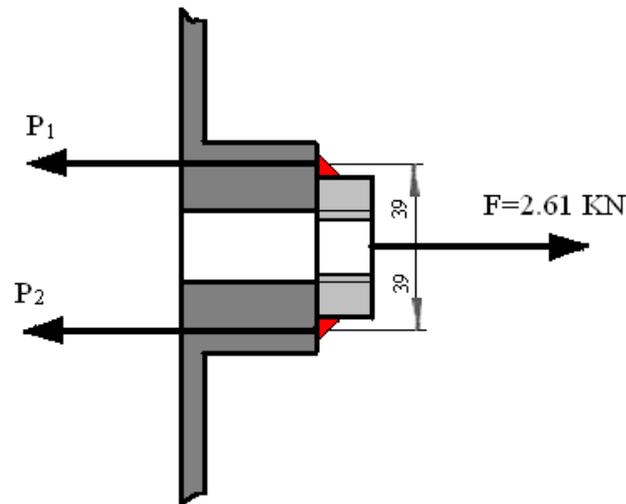
Ecuación 18

$q$  = fuerza admisible por mm. de longitud soldada

$P$  = resistencia de soldadura

$L$  = longitud de cordón

$a$  = área de la garganta



**Figura 2.15 Corte de catalina y soldado a tuerca de volante de compuerta**

Fuente: autor

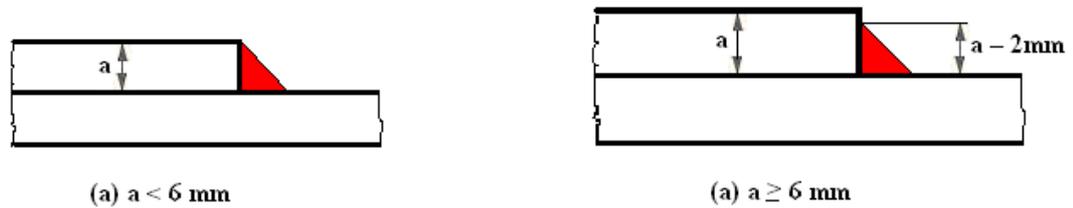
Las fuerzas  $P_1$  y  $P_2$  que van a soportar los cordones y que equilibran la fuerza  $P = 2.61\text{KN}$ . tomando momentos con respecto a la línea de acción de  $P_2$  se obtiene:

$$[\sum M_{P_2} = 0] \quad 78P_1 = 2.61 (39) \quad P_1 = \frac{2.61 \cdot 39}{78} = 1.31 \text{ KN}$$

$$[\sum M_{P_1} = 0] \quad 78P_2 = 2.61 (39) \quad P_2 = \frac{2.61 \cdot 39}{78} = 1.31 \text{ KN}$$

Como regla, es necesario tomar precauciones en lo referente al ancho de la base de una soldadura. Una razón para esto es que los perfiles de los bordes están redondeados y el ancho de la base sería menor que el espesor nominal de la pieza. Otra razón es que durante el proceso de soldado, la esquina del borde puede fundirse, lo que reduce el ancho de la base. Por estas razones, las especificaciones AWS (*American Welding Society*) requieren que el tamaño máximo de soldadura deba ser

de 2 mm menos que el ancho del cordón para piezas de 6 mm o de mayores espesores, como se representa en la figura 2.16.



**Figura 2.16 Ancho máximo de filetes**

Fuente: Ferdinand L. SINGER/ Andrew PYTEL. Resistencia de Materiales quinta edición, México D. F. 2000

Reemplazando la ecuación 26:

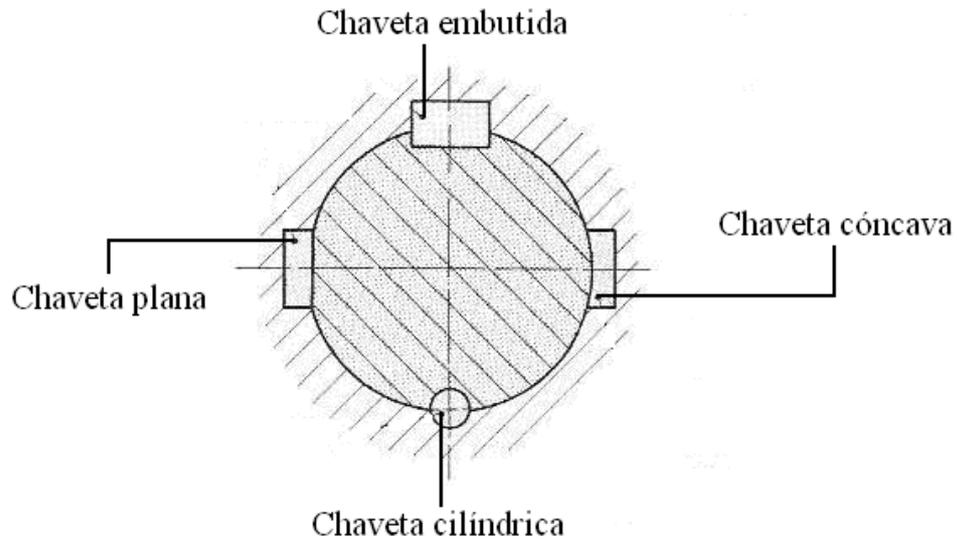
$$103a = \frac{P}{L_1} \quad L_1 = \frac{P}{103a} \quad a = 6 - 2 = 4 \quad L_1 = \frac{1.31 \text{KN} \cdot 10^3}{103 \cdot 4} = 31.79 \text{ mm.}$$

$$103a = \frac{P}{L_2} \quad L_2 = \frac{P}{103a} \quad a = 6 - 2 = 4 \quad L_2 = \frac{1.31 \text{KN} \cdot 10^3}{103 \cdot 4} = 31.79 \text{ mm.}$$

La longitud total del cordón sería  $L_1 + L_2$  tendríamos  $31.79 + 31.79 = 63.58 \text{ mm}$ .

Y la longitud soldada en la tuerca es de 109.96, por lo que nos garantiza que va a soportar la soldadura.

## 2.7 CHAVETAS



**Figura 2.17 Esquema de tipos de chavetas**

Fuente: autor

### 2.7.1 Uniones Enchavetadas.

Las chavetas tienen una inclinación de 1:100, al introducir la chaveta con una fuerza  $F$  quedan sujetos entre si el eje y la rueda.

### 2.7.2 Fuerzas en las uniones enchavetadas.

Las fuerzas normales  $F_n$  producen un rozamiento por medio del cual se transmite el momento torsor  $M_t$  del eje y la rueda. Por esta razón, la unión con chavetas puede considerarse como una unión con cierre de fuerza. Las caras laterales de la chaveta solo intervienen en la transmisión del momento torsor cuando este se hace mayor que la fuerza de rozamiento. En ese caso, la unión con chavetas funciona como una unión con cierre de forma. Como las ruedas fijadas con chavetas no tienen un movimiento concéntrico exacto, la unión con chavetas solo puede utilizarse para fines de segundo orden.

### 2.7.3 Tipos de chavetas.

#### 2.7.3.1 Chaveta embutida.

Este tipo de chaveta se coloca en las ranuras de la rueda y del eje y, si es solicitada con cierre de forma, es capaz de transmitir grandes momentos torsores.



**Figura 2.18 Chaveta embutida**

Fuente: autor

#### 2.7.3.2 Chaveta plana.

En este grupo solo pueden actuar con cierre de forma condicionalmente, por lo que solo pueden transmitir momentos torsores reducidos. En el eje solo se aplana una zona.

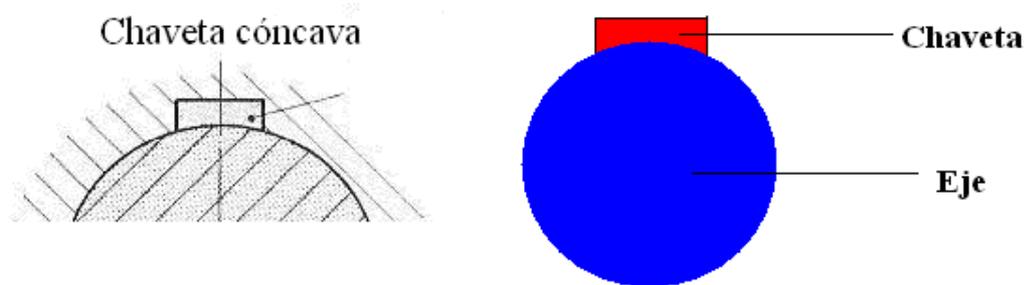


**Figura 2.19 Chaveta plana**

Fuente: autor

### 2.7.3.3 Chaveta cóncava.

La chaveta cóncava tiene la finalidad de fijar ruedas pequeñas colocadas posteriormente sobre ejes ya montados. Como no actúa con cierre de forma, tampoco puede transmitir momentos torsores grandes.

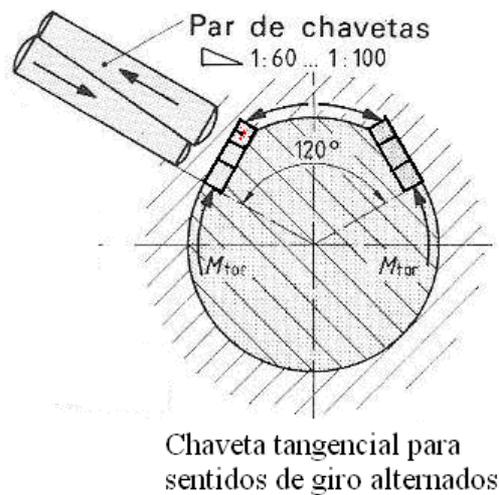


**Figura 2.20 Chaveta cóncava**

Fuente: autor

### 2.7.3.4 Chavetas tangenciales.

Esta unión se utiliza cuando hay que transmitir momentos torsores muy grandes y de sentido de giro alternativo. El momento torsor se transmite exclusivamente con cierre de forma.



**Figura 2.21 Chavetas tangenciales**

Fuente: autor

#### 2.7.4 Cálculo de la chaveta.

En las cuñas o chavetas hay dos modos de falla, al corte y por apoyo. La falla al corte ocurre cuando la chaveta es degollada en su ancho en el contacto entre el eje y la catalina. La falla por apoyo o aplastamiento ocurre por apretar cualquiera de los lados a compresión.

Falla por corte.- El esfuerzo promedio debido a corte directo se define en la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F}{A_{\text{corte}}}$$

Ecuación 19

De donde:

F = es la fuerza aplicada.

A<sub>CORTE</sub> = área que se está degollando. Para este caso A<sub>CORTE</sub> es el producto del ancho por la longitud de la chaveta.

Falla por aplastamiento.- El esfuerzo promedio de apoyo queda determinado por la ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{apoyo}}}$$

Ecuación 20

De donde:

$F$  = es la fuerza aplicada.

$A_{\text{apoyo}}$  = es el área de contacto entre el costado de la chaveta y el eje.

La fuerza para ambos tipos de falla queda determinada a partir del par de torsión del eje y de su radio.

Por lo tanto reemplazando en la ecuación:

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = \frac{75.84 \text{ N m}}{0.02225 \text{ m}}$$

$$F = 3412.37 \text{ N}$$

Las dimensiones de las chavetas y el diámetro de los prisioneros son normalizados, por lo que para esta aplicación se obtiene:

Para diámetros de flecha:  $0.875 \text{ in} < d \leq 1.25 \text{ in}$ , el ancho nominal de la chaveta es 0.25 in y el diámetro del prisionero 0.312 in.

La longitud de la chaveta deberá ser inferior a 1,5 veces el diámetro de la flecha.

Reemplazando valores en las ecuaciones 28 y 29 de esfuerzo obtenemos:

Falla por corte

$$\tau = \frac{3412.37N}{0.00635m * 0.0254m}$$

$$\tau = 21.15 \text{ MPa}$$

Falla por aplastamiento

$$\sigma_{\max} = \frac{S_y}{N_s}$$

Fórmula 21

$$\sigma = \frac{3412.37 N}{0.003175m * 0.0254}$$

$$\sigma = 42.31 \text{ MPa}$$

Debido que las chavetas se cargan al esfuerzo cortante, su fabricación requiere que se utilicen materiales dúctiles. Por lo general se selecciona un acero dulce al bajo carbono, para esta aplicación en particular se utilizara un acero SAE 1010 recomendado para la construcción de este tipo de elementos. A continuación se presentan las propiedades mecánicas de este material:

Número: SAE 1010

Estado: Laminado en frío

Resistencia máxima a la tensión: 365 MPa

Límite elástico a la tensión  $S_y = 303 \text{ MPa}$

Una vez conocidas las propiedades mecánicas del material de la chaveta y los esfuerzos máximos a los que va a estar sometido el elemento, determinamos los factores de seguridad tanto a cortante como a aplastamiento.

Reemplazando en la ecuación (21), obtenemos:

Sometida a esfuerzo de aplastamiento:

$$N_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}}$$

$$N_s = \frac{303 \text{ MPa}}{42.41}$$

$$N_s = 7$$

Sometida a esfuerzo cortante:

$$\tau_{trab} = \frac{\tau_{per}}{N_s}$$

Fórmula 22

El esfuerzo permisible a cortante es aproximadamente 0,6 Sy, por lo tanto:

$$\tau_{per} = 181.8 \text{ MPa}$$

Reemplazando:

$$N_s = \frac{\tau_{per}}{\tau_{trab}}$$

$$N_s = 8$$

## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO PARA EL ACCIONAMIENTO DE LAS COMPUERTAS

#### 3.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.

El motor eléctrico está acoplado al tornillo de la compuerta, mediante mecanismos de piñón catalina y cadena. Para el accionamiento de la compuerta, el motor eléctrico está fijado a un pedestal el cual se construyó en ángulo de hierro de 2" x 1/4 como se ve en la figura 3.1 anexo 5 proceso de trabajo 1. Este pedestal se soldó a los extremos superior e inferior de la compuerta, se utilizó electrodo AGA E-60-11 y se le forro con plancha de tool de 1/20" figura 3.2 anexo 5 proceso de trabajo 2, la misma esta sujeta al pedestal con tornillos tripepato, el pedestal está pintado con pintura anticorrosivo negro mate y la parte forrada que corresponde al tool con pintura crema laca automotriz.



**Figura 3.1 Marco de soporte de motor    Figura 3.2 Forrado de soporte de motor**

Fuente: Fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

Para evitar que las lluvias mojen los elementos, tanto mecánicos como eléctricos se construyó un techo, la estructura se realizó en tubo galvanizado de poste de 2 pulgadas de diámetro por 2 mm de espesor (figura 3.3) y para sujeción del techo se utilizó perfil correa G de 60 x 30 x 15 x 2 mm. (figura 3.4). Todos estos elementos, (estructura, correas y cubierta) fueron soldados con electrodos AGA E-60-11, y pintados con pintura celeste laca automotriz.



**Figura 3.3 Estructura de soporte de techo** **Figura 3.4 Correas para soporte de techo**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

Por otra parte, en la estructura que soporta el techo se construyó un pasamano de igual diseño de el que existe, el mismo que sirve de protección para los sedimentadores, este fue pintado con pintura celeste laca automotriz, los soportes del un lado de la estructura para el techo donde se construyo el pasamano están sujetos al piso (figura 3.5) con pernos de anclaje de 2 ½"x 5/8. En la otra parte de la estructura para la cubierta se soldaron los parantes del techo sobre el pasamano existente (figura 3.6).



**Figura 3.5 Pasamano, parantes de cubierta**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor



**Figura 3.6 Parantes soldados a estructura existente**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

Para el accionamiento de la compuerta, se acopló una catalina, la que se soldó en unión a traslape con el volante de la compuerta como se ve en la figura 3.7 anexo 5 proceso de trabajo 3, para así tener un solo cuerpo y que al girar el motor suba o baje la compuerta. El electrodo utilizado para este proceso fue E-70-18  $\varnothing$  1/8”.

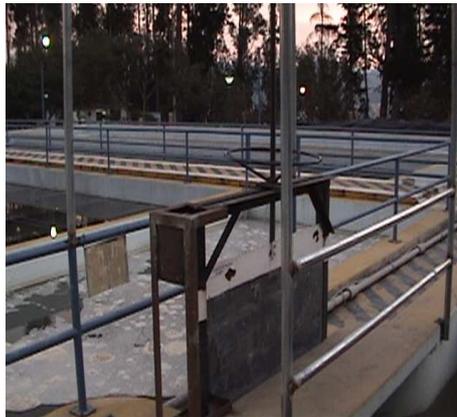
La catalina fue construida en plancha negra de 1 ¼“ de espesor, la misma fue mecanizada (torneada y fresada) y acoplada al volante.



**Figura 3.7 Acople de catalina a volante existente de compuerta de sedimentador**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

El volante de la compuerta tuvo que ser modificado para evitar roce con la cadena, el volante como se ve en la (figura 3.8) tenía una altura aproximada de unos 35 cm., lo que se realizó fue cortar los tensores del volante dejándolo casi plano (figura 3.9) sin que se modifique la dimensión del diámetro del volante, así evitamos que la cadena roce con este, y que la fuerza para abrir o cerrar la compuerta manualmente sea la misma que se utilizaba anteriormente.



**Figura 3.8 Volante de compuerta antes de modificación**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor



**Figura 3.9 Volante de compuerta modificado**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

En el motor está acoplado el piñón figura 3.10 anexo 5 proceso de trabajo 4, el mismo que está sujeto al motor mediante una chaveta y un prisionero. Entre el piñón que está en el motor y la catalina que está en la compuerta, están unidas mediante una cadena (figura 3.11) que forman el elemento de transmisión de movimiento. El motor está sujeto al pedestal mediante tornillos. Entre el motor y el volante se colocó un tensor de cadena el mismo que es de madera y evita que la cadena roce con el volante (figura 30), en el proceso de abierto y cerrado.



**Figura 3.10 Piñón acoplado a motor**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor



**Figura 3.11 Elemento de transmisión de movimiento: piñón catalina y cadena**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

También se construyó una protección adicional para el motor (figura 3.12), la misma fue construida en tool de 1/20, esta nos sirve para protección de la cadena cuando esté funcionando el motor, y cuando se presenten lluvias fuertes y el techo no pueda cubrir la lluvia, esta cubierta protegerá que el motor se moje y pueda presentar fallas debido al agua.



**Figura 3.12 Protección adicional de motor y cadena**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

### 3.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.

Objetivo: Control de un motor con doble sentido de giro.

Tensión trifásica 220V

Motor trifásico Potencia 1/4HP 220V 1A.

1 Tablero eléctrico hermético 20\*20\*10

1 contactor trifásico 10A 220V para abrir

1 contactor trifásico 10A 220V para cerrar

1 protector térmico trifásico de 0,5 1.6A regulable.

1 Breaker termo magnético trifásico 6A para circuito de Fuerza (comando del motor)

1 Fusible cilíndrico 2A para circuito de control (comando del giro del motor)

12 Bornes eléctricos

2 Fin carreras. 20A 220V doble contacto hermético.

5 focos.

1 pulsante de paro, para poder cambiar el sentido de giro y la posibilidad de apagar el motor en cualquier momento.

El objetivo es, si deseo abrir la compuerta el motor debe girar en un sentido de giro, para cerrar la compuerta debe girar en sentido contrario. El comando se lo realiza accionando los pulsantes que se ven en las (figuras 3.13 y 3.14), que a su vez comandan los respectivos contactores (ej. al accionar pulsante verde de abrir, se cierra contactor giro hacia la derecha).

En caso de algún problema en el motor, se dispone de un protector térmico que lo apagará cuando la corriente de consumo sea mayor a la normal (1 amperio) y encenderá un foco de falla.

Cada vez que la compuerta accione cualquiera de los fin carrera, el motor se apagará y se encenderá un foco (compuerta abierta o cerrada).



**Figura 3.13 Tablero de control eléctrico**

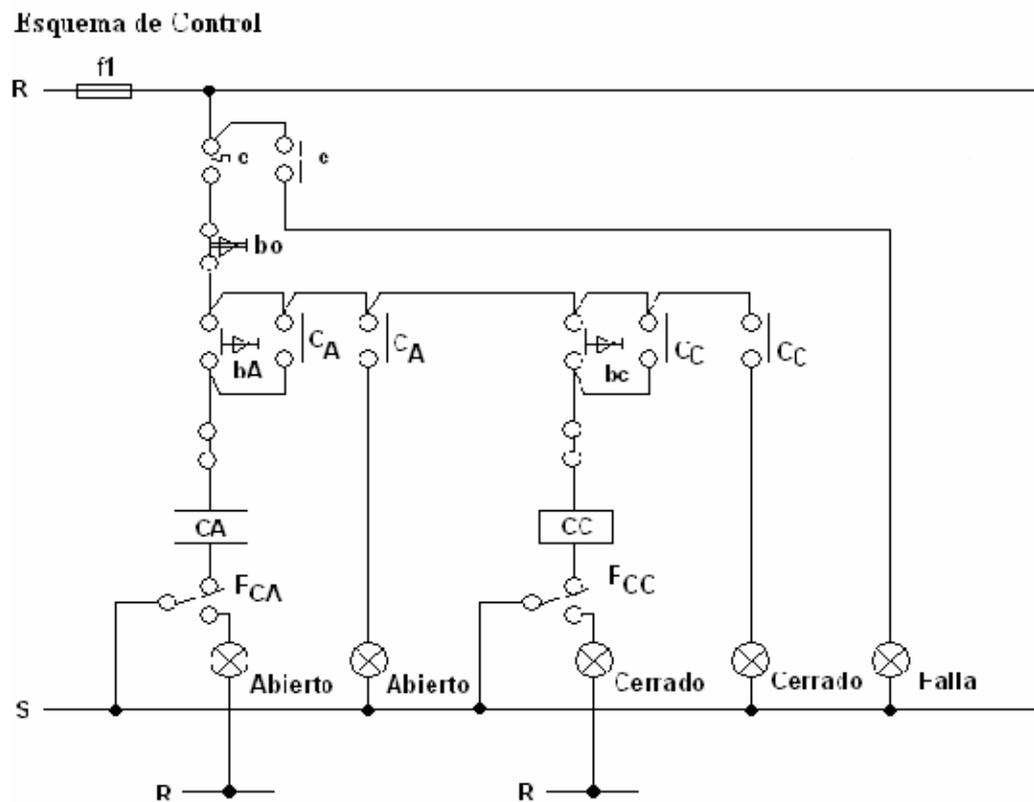
Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor



**Figura 3.14 Pulsantes y focos de tablero eléctrico**

Fuente: fotografías tomadas durante proceso constructivo por el autor

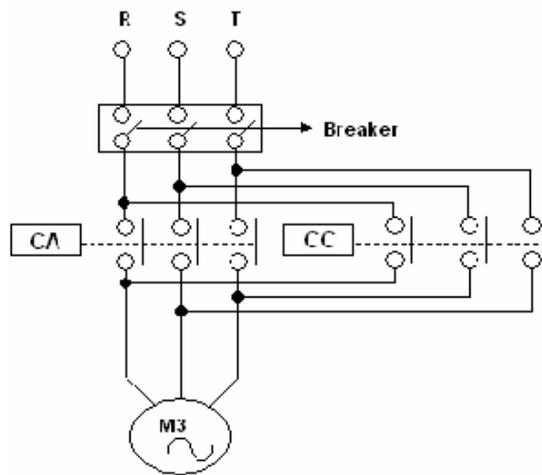
El circuito eléctrico de fuerza está armado con cable N 14 y el circuito de control con cable N 18. Ver diagrama adjunto.



**Figura 3.15** Esquema de control de tablero eléctrico

Fuente: autor

Diagrama de Fuerza



SIMBOLOGIA:

- e = protector térmico
- bo = pulsante de paro
- bA = pulsante abrir
- CA = Contador abrir
- bc = pulsante cerrar
- C = contador cerrar
- FC<sub>A</sub> = fin carrera compuerta abierta
- FC<sub>C</sub> = fin carrera compuerta cerrada

Figura 3.16 Diagrama de fuerza y simbología

Fuente: autor

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

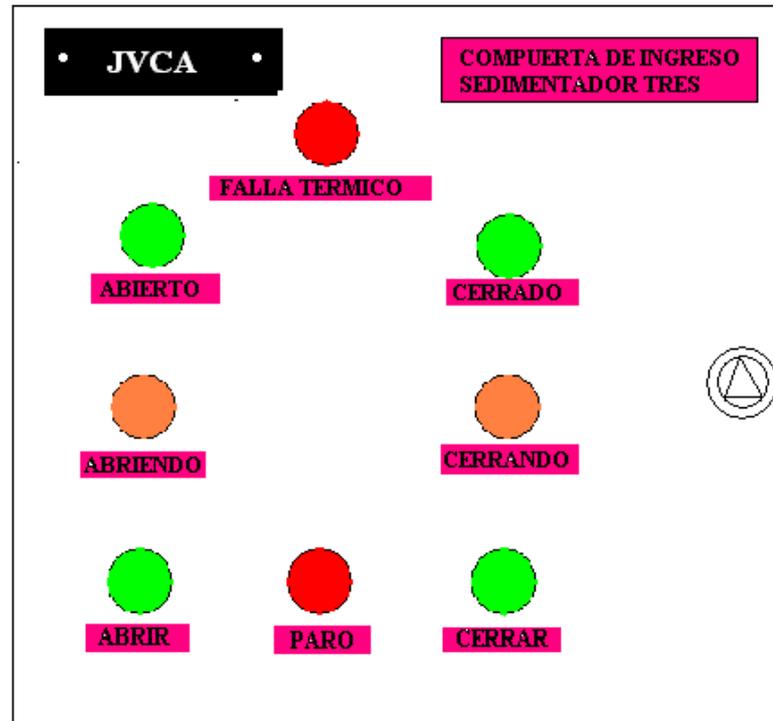
#### 4.1 VERIFICACIÓN.

Al pulsar el botón verde que está ubicado en la parte inferior derecha (grafico 4.1) la compuerta empieza a cerrarse prendiéndose el foco (**CERRAR**), y a continuación se prende el foco tomate (**CERRANDO**) el tiempo empleado en realizar esta operación es aproximadamente de 5 minutos, al cerrarse completamente la compuerta acciona el fin carrera que está ubicado en la parte en la parte inferior de la pared (grafico 4.2) el mismo que manda la señal al tablero cortando el proceso y apagándose los dos focos de (**CERRAR**) y (**CERRANDO**) y prendiendo el foco de (**CERRADO**).

Al pulsar el botón verde que está ubicado en la parte inferior izquierda (grafico 4.1) la compuerta empieza a abrirse prendiéndose el foco (**ABRIR**), y a continuación se prende el foco tomate (**ABRIENDO**) el tiempo empleado en realizar esta operación es el mismo que emplea la compuerta en cerrarse, al abrirse completamente la compuerta acciona el fin carrera que está ubicado en la parte en la parte superior de la pared (grafico 4.2) el mismo que manda la señal al tablero cortando el proceso y apagándose los dos focos de (**ABRIR**) y (**ABRIENDO**) y prendiendo el foco de (**ABIERTO**).

Al pulsar el botón rojo que se encuentra en la parte central inferior del tablero (figura 4.1) (**PARO**), la compuerta se parara, este botón accionará tanto en proceso de abriendo o cerrando la compuerta.

Cuando exista una sobrecarga de energía, problemas con el motor, daños en los fin carreras o trabado del mecanismo piñones-cadena se prendera el foco (**FALLA TÉRMICO**) y el tablero quedara sin energía debido a que salta el fusible de protección que tiene el tablero de control.



**Figura 4.1 Esquema de tablero de control para abierto y cerrado de sedimentador**

Fuente: autor



**Fin carrera inferior**



**Fin carrera superior**

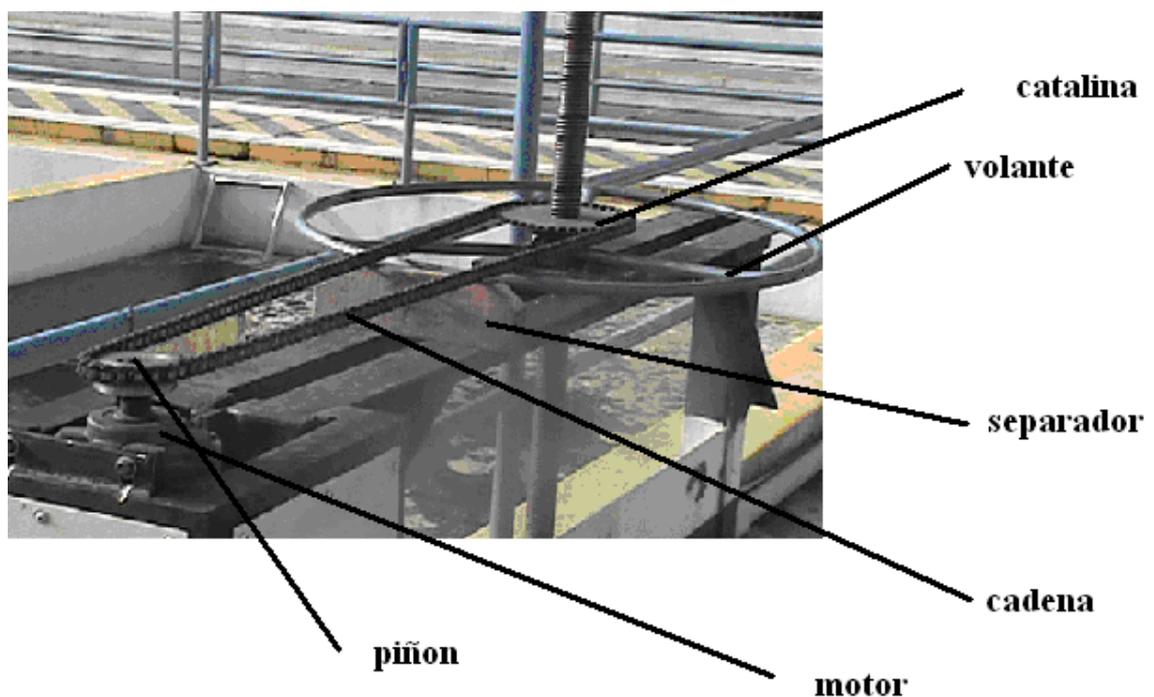


**Figura 4.2 Esquema de fin carreras para accionamiento de parada de compuerta del sedimentador # 3**

Fuente: fotografías tomadas durante el proceso constructivo por el autor

Se realizan varias pruebas de funcionamiento en lo referente al abierto y cerrado y parada de esta compuerta, y tanto la construcción mecánica como la construcción eléctrica, cumplen con los parámetros establecidos en el diseño y construcción de este trabajo.

Al realizar las pruebas de funcionamiento del mecanismo mecánico se percibe que la cadena roza con el volante por lo que se procede a colocarse un separador de madera como se ve en él (gráfico 4.3) para así evitar el roce entre el volante y la cadena, e impedir que se produzcan desgastes tanto de la cadena como del volante. Como el volante también es accionado manualmente si se produjere un desgaste por rozamiento este podría quedarse con rebabas que lastimarían las manos en el momento de accionar manualmente esta compuerta.



**Figura 4.3 Esquema de mecanismo mecánico piñón-catalina-cadena de sedimentador**

## **4.2 AJUSTES.**

Se realizaron ajustes en lo referente a la colocación de los fin carreras para la parada del motor, cuando la compuerta se cierra completamente. Estos fin carrera son ajustables y aquí se realizaron varias pruebas de funcionamiento para que el motor se apague en el momento que la compuerta está totalmente cerrada y de esta manera evitamos que se produzcan esfuerzos que puedan afectar al funcionamiento del mismo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Al construir el mecanismo de accionamiento para la compuerta, se ha llegado a optimizar tiempos de operación, así como también el esfuerzo físico que se realizaba al manipular esta compuerta.
- Al realizar la construcción de éste mecanismo, se debe tomar mucho en cuenta la alineación del piñón con la catalina, y de esta manera evitar los esfuerzos que se puedan producir, así como también se evitara que se produzca un desengrane de la cadena.
- Las guías de la compuerta deberán tener el ajuste necesario, para evitar problemas tales como el endurecimiento de las mismas y por otra parte si en éste existiría demasiado juego, dejaría pasar agua ocasionando problemas en el proceso de operación.
- Cuando el mecanismo tornillo y tuerca transforma el movimiento circular en rectilíneo, se recomienda que esté lubricado todo el tiempo, para que en el momento de la operación electromecánica se disminuya el rozamiento entre estos dos elementos.
- Esta compuerta está constituida por elementos eléctricos, tales como: pulsantes, fin carreras, tablero de comandos y focos indicadores. Como los elementos se encuentra a la intemperie, recomendamos su protección y mantenimiento preventivo.
- Para la construcción de este mecanismo, la empresa Etapa me proveyó, el motoreductor y todos los materiales que se utilizaron para su ejecución. Por esta razón se recomienda que para construcciones futuras, los motoreductores tengan una mayor velocidad para que su accionamiento sea más rápido.

- Por tratarse de una planta de potabilización de agua, se recomienda al departamento de mantenimiento realizar el cambio de las placas de las compuertas, sustituyéndolas por acero inoxidable.

## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias bibliográficas.

- ALONSO R. Marcelo / ACOSTA M Virgilio. Introducción a la física. Mecánica y Calor, cuarta edición. Colombia, editorial Cultural 1995.
- APPOLD Hans– FEILER Kurt, REINHARD Alfred,- SCHIMIDT Paul; Tecnología de los Metales, segunda edición, Barcelona España, editorial Reverté, 1998
- ARTEAGA TOVAR, R. Eduardo, Hidráulica Elemental. Universidad Autónoma Chapingo. Primera edición, México, editorial Departamento de Irrigación. 2005.
- BEER, Fernand & RUSSEL, Johnston. Mecánica Vectorial para Ingenieros Estática. 4 ed. Barcelona, España: editorial McGraw Hill, 2001.
- BEER, Fernand & RUSSEL, Johnston. Mecánica de materiales. 3 ed. Barcelona, España: editorial McGraw Hill, 1997.
- DOUTSCHMAN, Aaron D. Diseño de maquinas. 4 ed. México: Compañía editorial continental, 2006.
- LARBURU Nicolás; Máquinas Prontuario; Técnicas, Máquinas, Herramientas, primera edición, Madrid España, Editorial Paraninfo, 2005
- MOTT, Robert L. Diseño de elementos de maquinas. 2 ed. México: editorial Prentice Hall, 2002.
- ORTHWEIN, William C. Diseño de componentes de Maquinas. 4 ed. México: editorial Continental S. A, 2006.
- SHIGLEY, J.E. y MISCHKE, L.D. Diseño en ingeniería mecánica. 6 ed. España: editorial McGraw Hill, 2002.
- SINGER Ferdinand L / PYTEL Andrew. Resistencia de Materiales. Quinta edición, México D.F. editorial Tierra Firme, 1997
- SOTELO AVILA, Gilberto. Hidráulica General, Volumen 2, Fundamentos. México. Compañía editorial Continental 2000.
- SOTELO ÁVILA, Gilberto Apuntes de Hidráulica II. UNAM; Facultad de Ingeniería; División de Ingeniería Civil, Topografía y Geodésica; Departamento de Hidráulica. Compañía editorial Continental México. 2002.

### Referencias electrónicas.

- industriales, tecnologías. 2010. *tecnologiaindustrial*. tipos de cañetas, España, recuperado enero de 2010. [www.tecnologiaindustrial.info](http://www.tecnologiaindustrial.info).
- ENCARTA. (s.f.).2008. Motoredutores Estados Unidos Microsoft Corporation 2008. [www.encartaupdate.msn.com](http://www.encartaupdate.msn.com). Recuperado en abril de 2010, de •<http://encartaupdate.msn.com/teleport/teleport.aspx?Lang=E&tname=07searchmsn&Year=2008&q=hidraulica>
- ESCUELA POLITECNICA DEL LITORAL. (s.f.). Fundamentos hidráulicos Guayaquil Ecuador. [espol.edu.ec](http://espol.edu.ec). Recuperado en marzo de 2010, de [www.espol.edu.ec/bibliotecas/espolhtm](http://www.espol.edu.ec/bibliotecas/espolhtm)
- I.E.S. Mare Nostrum (Alicante. (s.f.). Piñón-catalina-cadena, España 2010.[www.iesmarenostrum.com](http://www.iesmarenostrum.com). Recuperado en febrero de 2010, de [www.iesmarenostrum.com/departamento/tecnologia/mecaneso/mecanica\\_basica/mec-cadena-pinon.htm](http://www.iesmarenostrum.com/departamento/tecnologia/mecaneso/mecanica_basica/mec-cadena-pinon.htm)
- PONTIFICIE UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR. (s.f.). elementos de hidráulica. Quito Ecuador 2008. [www.puce.edu.ec](http://www.puce.edu.ec). Recuperado en enero de 2010, de [www.puce.edu.ec/biblioteca/pucehtm](http://www.puce.edu.ec/biblioteca/pucehtm)
- UNIVERSIDAD CENTRAL. (s.f.). Soldadura. Quito Ecuador 2009 [www.ucentral.edu.ec](http://www.ucentral.edu.ec). Recuperado en enero de 2010, de <http://www.ucentral.edu.ec/biblioteca/ingenieriamec.ec>
- UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO. (s.f.).Tornillos de potencia. Quito Ecuador 2007. [www.usfq.edu.ec](http://www.usfq.edu.ec). Recuperado en febrero de 2010, de [www.usfq.edu.ec/biblioteca/usfqhtm](http://www.usfq.edu.ec/biblioteca/usfqhtm)
- UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA. (s.f.). Roscas construcción. Cuenca Ecuador 2010. [www.ups.edu.ec](http://www.ups.edu.ec). Recuperado en enero de 2010, de • <http://www.ups.edu.ec/bibliotecas/ups.ec>

# ANEXOS

## ANEXO 1:

## PESO ESPECÍFICO POR UNIDAD DE VOLUMEN LÍQUIDOS

Elementos y cuerpos		PESO ESPECÍFICO (POR UNIDAD DE VOLUMEN) (1 Kg/dm <sup>3</sup> = 62,42795 lb/pie <sup>3</sup> )			TABLA 3, . 3	
Cuerpos	Peso específico	Lb/pie <sup>3</sup>	Cuerpos	Peso específico	Lb/pie <sup>3</sup>	
Talco	2,6-2,8	162-175	Vanadio	5,6-6,0	350-375	
Talio	11,8	737	Vidrio	2,5-3,0	162-187	
Tantalio	16,6	1036	Wolframio	18,6-19,3	1161-1205	
Teluro	6,25	390	Wolframita	7,2-7,5	449-468	
Tierra	1,5-1,9	94	Yeso (escayola)	1,8-2,4	112-150	
Titanio	4,5	281	Yodo	4,93	308	
Toba	1,3	81	Yute	1,44	90	
Topacio	3,5-3,8	218-237	Zinc	7,1	449	
Torio	11,7	730	Zirconio (líquido)	6,5	325-362	
Turba	0,3-0,6	19-37	Zirconio (silicato)	3,3	206	
Uranio	18,8	1167				
CUERPOS LÍQUIDOS Y GASES LICUADOS						
Cuerpos	Peso específico	Lb/pie <sup>3</sup>	Cuerpos	Peso específico	Lb/pie <sup>3</sup>	
Aceite mineral	0,93	58	Etileno	0,57	36	
Aceite de oliva	0,92	57	Flúor	1,1	69	
Aceite de pescado	0,91-0,93	57-58	Fuel-oil	0,98-1,1	61-67	
Aceite de ricino	0,97	61	Gas-oil	0,86-0,89	54-56	
Aceites vegetales	0,9-0,97	56-61	Glicerina	1,26	79	
Acetileno	0,61	38	Helio	0,13	8	
Ácido clorhídrico	0,91	57	Heptano	0,69	43	
Ácido fluorhídrico	0,99	62	Hexano	0,66	41	
Ácido nítrico	1,51	94	Hidrógeno	0,071	44	
Ácido sulfhídrico	0,92	57	Leche	1,03	64	
Agua	1,00	62	Mercurio	13,6	849	
Agua de mar	1,02	64	Metano	0,42	26	
Aire	0,88	55	Neón	1,21	76	
Albúmina	1,05	66	Nitrógeno	0,81	51	
Alcohol	0,8	50	Octano	0,70	44	
Amoníaco	0,63-0,68	39-42	Oxígeno	1,13	71	
Anhídrico carbónico	0,95-1,6	59-100	Parafina	0,93-1,0	58-62	
Anhídrico sulfuroso	1,4-1,6	87-100	Pentano	0,63	39	
Anilina	1,04	65	Petróleo	0,8	50	
Alquitrán	0,85-1,2	53-75	Propano	0,59	37	
Argón	1,4	87	Propileno	0,61	38	
Bencina	0,7	44	Salitre potásico	1,2-1,4	75-87	
Benzol	0,9	56	Toluol	0,87	54	
Bromo	3,12	195	Trementina	0,85	53	
Butano	0,6	37	Xenón	3,52	220	
Cerveza	1,03	64				
Cloro	1,56	97				
Cloroformo	1,5	94				
Cloruro amónico	1,14	71				
Cloruro sódico	1,15	72				
Criptón	2,15	134				
Etano	0,55	34				
Éter	0,72	45				

## Continuación. ANEXO 1

Elementos y cuerpos	PESO ESPECÍFICO (POR UNIDAD DE VOLUMEN) (1 Kg/dm <sup>3</sup> = 62,42795 lb/pie <sup>3</sup> )				TABLA 3 <sub>2</sub> . 3	
	Cuerpos	Peso específico	Lb/pie <sup>3</sup>	Cuerpos	Peso específico	Lb/pie <sup>3</sup>
Galena	7,4-7,6	462-474	Naftalina	1,15	72	
Galio	5,9	368	Negro de humo	1,7-1,8	106-112	
Gneis	2,6-2,8	162-175	Nieve	0,2-0,8	12-50	
Goma laca	1,2	75	Níquel	8,9	556	
Grafito	1,9-2,3	119-144	Nitrato potásico	1,9-2,1	119-131	
Granate	3,4-4,3	212-268	Nitrato sódico	2,3	144	
Granito	2,6-3,0	162-187	Nitrocelulosa	1,6-1,7	100-106	
Grasa	0,92-0,97	57-61				
Grava	1,8	112	Ocre	3,5	218	
Greda	1,5-1,9	94-119	Ópalo	2,3-2,4	144-150	
Gres	2,5-2,6	156-162	Oro	19,3	1205	
Gutapercha	0,95-1,05	59-66	Oropimente	3,43	214	
			Osmio	22,5	1405	
Harina	0,4-0,6	25-37	Óxido de bario	5,7	356	
Hematites	4,5-5,2	281-325	Óxido de calcio	3,3	206	
Hielo	0,9	56	Óxido de cromo	5,2	325	
Hierro	7,87	491	Óxido de hierro	5,2-5,9	325-368	
Hormigón	1,8-2,4	112-150	Óxido de plomo	9,3	581	
Huesos	1,7-2,0	106-125				
Hulla	1,2-1,5	75-94	Papel	1,1-1,4	69-87	
			Paladio	12,0	749	
Indio	7,25	453	Patatas	0,8-1,1	50-69	
Iridio	22,5	1405	Pedernal	2,6-2,8	162-175	
			Pez (betún)	1,2-1,3	75-81	
Jade	2,6-2,8	162-175	Piedra (arenisca, ca- liza, granito, etc.)	2,6-2,8	162-175	
Kieselgutur	0,1-0,5	6-31	Piedra pómez	0,4-0,9	25-56	
Klinker	2,6-2,7	162-169	Pirita de cobre	4,1-4,3	256-268	
			Pirita de hierro	4,9-5,2	306-325	
Ladrillo ordinario	1,6-1,9	100-119	Pirolusita	3,8-4,8	237-300	
Ladrillo macizo	2,2-2,9	162-181	Pizarra	2,6-2,8	162-175	
Lana	1,3-1,4	81-87	Plata	10,5	662	
Latón	8,5	531	Platino	21,4	1342	
Lava	2,3-2,7	144-169	Plomo	11,3	712	
Lignito	1,2-1,5	75-94	Pólvora	1,75	109	
Lino	1,5	94	Porcelana	2,2-2,5	137-156	
Linoleo	1,2	75	Pórfido	2,5-2,6	156-162	
Litio	0,53	34	Potasio	0,85	54	
Madera de pino, abeto	0,6-0,7	37	Renio	20,5	1280	
Madera de pino tea	0,8	50	Resina	1,05-1,1	66-69	
Madera de roble,						
Castaño	0,8	50	Rodio	12,4	774	
Maderas duras	1,2-1,4	75-87	Rubidio	1,52	95	
Magnesio	1,7	109	Rutenio	12,4	774	
Manganeso	7,3	456				
Marfil	1,8-1,9	112-119	Sal común (de cocina)	2,1	131	
Mármol	2,6-2,8	162-175	Sal gema	2,1-2,3	131-144	
Metal delta	8,6	537	Selenio	4,4-4,5	275-281	
Mica	2,6-3,2	162-200	Sílice	2,6	162	
Minio de plomo	8,6-9,1	537-568	Silicio	2,3	147	
Molibdeno	10,2	637	Sodio	0,97	61	
Mortero de cal	1,6-1,8	100-112	Sosa (carbonato)	1,45	91	
Mortero de cemento	1,8-2,2	112-137	Sosa cáustica	1,7-2,1	106-131	

**ANEXO 2:**

**COEFICIENTES DE ROZAMIENTO**

Máquinas simples	<b>ROZAMIENTO DE MATERIALES</b>																																																																																																						
<p><b>Rozamiento</b></p> <p>Rozamiento (fricción), es la resistencia que se opone al movimiento existente o que se ha de producir; actúa según las superficies en contacto. En el primer caso, el rozamiento es dinámico, pudiendo ser por resbalamiento o rodadura; en el segundo caso, es estático.</p> <p>La resistencia al rozamiento es proporcional a la presión normal entre las superficies en contacto.</p> $F = N\mu$ <p>siendo:</p> <p>F La fuerza para superar la resistencia al rozamiento.                      N La presión normal entre las superficies en contacto.  <math>\mu</math> El coeficiente de rozamiento (Tabla 7.4).</p> <p>Generalmente, se considera que el rozamiento por resbalamiento es independiente del valor de las superficies en contacto, y el de rodadura independiente de la velocidad, aunque también están influenciados por el tipo del lubricante, temperatura, velocidad y presión superficial; en todo caso, es mayor el rozamiento estático que el dinámico.</p> <p><b>Angulo de rozamiento</b></p> <p>El ángulo de rozamiento de un cuerpo situado en un plano inclinado, es igual al que forma este plano con la horizontal, cuando el cuerpo inicia el descenso.</p> $\begin{aligned} N &= G \cos \rho \\ \operatorname{tg} \rho &= \frac{h}{b} \\ F &= N \operatorname{tg} \rho = \mu N \\ \operatorname{sen} \rho &= \frac{h}{l} \\ \operatorname{tg} \rho &= \mu \end{aligned}$ <p>Autoretención de G, para <math>\rho \leq \mu</math>.</p>																																																																																																							
Máquinas simples	<b>COEFICIENTES DE ROZAMIENTO</b>			TABLA 7.4																																																																																																			
<b>MATERIALES EN ROZAMIENTO</b>																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">Estático</th> <th colspan="2">Dinámico</th> </tr> <tr> <th>Seco</th> <th>Lubricado</th> <th>Seco</th> <th>Lubricado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acero sobre acero</td> <td>0,15</td> <td>0,10</td> <td>0,10</td> <td>0,09-0,08</td> </tr> <tr> <td>Acero sobre fundición de hierro</td> <td>0,19</td> <td>0,10</td> <td>0,18</td> <td>0,08-0,05</td> </tr> <tr> <td>Acero sobre bronce</td> <td>0,19</td> <td>0,10</td> <td>0,18</td> <td>0,08-0,05</td> </tr> <tr> <td>Acero sobre antifricción</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,04</td> </tr> <tr> <td>Acero sobre madera dura</td> <td>0,6-0,5</td> <td>0,10</td> <td>0,4</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>Acero sobre hielo</td> <td>0,026</td> <td></td> <td>0,015</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fundición sobre fundición (hierro)</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,14</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td>Fundición sobre bronce</td> <td>0,20</td> <td>0,16</td> <td>0,18</td> <td>0,08</td> </tr> <tr> <td>Fundición sobre madera dura</td> <td>0,6</td> <td>0,10</td> <td>0,5</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td>Bronce sobre bronce</td> <td>0,20</td> <td>0,11</td> <td>0,19</td> <td>0,06</td> </tr> <tr> <td>Revestimiento de freno sobre acero</td> <td>0,4</td> <td></td> <td>0,1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Correa de cuero sobre fundición</td> <td>0,4</td> <td></td> <td>0,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Correa de cuero sobre madera</td> <td>0,5</td> <td></td> <td>0,4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Neumáticos sobre calzada (hormigonada, asfaltada)</td> <td></td> <td>0,75-0,65</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Neumáticos sobre calzada empedrada (seca)</td> <td></td> <td>0,6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Neumáticos sobre calzada mojada</td> <td></td> <td>0,3-0,1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cojinetes de máquinas (rodaduras)</td> <td>0,1</td> <td></td> <td>0,06-0,03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rodamientos de bolas y de rodillos</td> <td></td> <td></td> <td>0,003-0,001</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Estático		Dinámico		Seco	Lubricado	Seco	Lubricado	Acero sobre acero	0,15	0,10	0,10	0,09-0,08	Acero sobre fundición de hierro	0,19	0,10	0,18	0,08-0,05	Acero sobre bronce	0,19	0,10	0,18	0,08-0,05	Acero sobre antifricción				0,04	Acero sobre madera dura	0,6-0,5	0,10	0,4	0,08	Acero sobre hielo	0,026		0,015		Fundición sobre fundición (hierro)	0,20	0,16	0,14	0,10	Fundición sobre bronce	0,20	0,16	0,18	0,08	Fundición sobre madera dura	0,6	0,10	0,5	0,10	Bronce sobre bronce	0,20	0,11	0,19	0,06	Revestimiento de freno sobre acero	0,4		0,1		Correa de cuero sobre fundición	0,4		0,3		Correa de cuero sobre madera	0,5		0,4		Neumáticos sobre calzada (hormigonada, asfaltada)		0,75-0,65			Neumáticos sobre calzada empedrada (seca)		0,6			Neumáticos sobre calzada mojada		0,3-0,1			Cojinetes de máquinas (rodaduras)	0,1		0,06-0,03		Rodamientos de bolas y de rodillos			0,003-0,001	
	Estático		Dinámico																																																																																																				
	Seco	Lubricado	Seco	Lubricado																																																																																																			
Acero sobre acero	0,15	0,10	0,10	0,09-0,08																																																																																																			
Acero sobre fundición de hierro	0,19	0,10	0,18	0,08-0,05																																																																																																			
Acero sobre bronce	0,19	0,10	0,18	0,08-0,05																																																																																																			
Acero sobre antifricción				0,04																																																																																																			
Acero sobre madera dura	0,6-0,5	0,10	0,4	0,08																																																																																																			
Acero sobre hielo	0,026		0,015																																																																																																				
Fundición sobre fundición (hierro)	0,20	0,16	0,14	0,10																																																																																																			
Fundición sobre bronce	0,20	0,16	0,18	0,08																																																																																																			
Fundición sobre madera dura	0,6	0,10	0,5	0,10																																																																																																			
Bronce sobre bronce	0,20	0,11	0,19	0,06																																																																																																			
Revestimiento de freno sobre acero	0,4		0,1																																																																																																				
Correa de cuero sobre fundición	0,4		0,3																																																																																																				
Correa de cuero sobre madera	0,5		0,4																																																																																																				
Neumáticos sobre calzada (hormigonada, asfaltada)		0,75-0,65																																																																																																					
Neumáticos sobre calzada empedrada (seca)		0,6																																																																																																					
Neumáticos sobre calzada mojada		0,3-0,1																																																																																																					
Cojinetes de máquinas (rodaduras)	0,1		0,06-0,03																																																																																																				
Rodamientos de bolas y de rodillos			0,003-0,001																																																																																																				

### ANEXO 3

## COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA PARES ROSCADOS Y COLLARÍN DE EMPUJE

**Tabla 8-5**

Coefficientes de fricción  $f$  para pares roscados

Fuente: H.A. Rothbart, *Mechanical Design and Systems Handbook*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1985.

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Fundición de hierro
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

**Tabla 8-6**

Coefficientes de fricción de collarín de empuje

Fuente: H.A. Rothbart, *Mechanical Design and Systems Handbook*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1985.

Combinación	Operando	Arrancando
Acero suave sobre fundición de hierro	0.12	0.17
Acero duro sobre fundición de hierro	0.09	0.15
Acero suave sobre bronce	0.08	0.10
Acero duro sobre bronce	0.06	0.08

Ham y Ryan<sup>1</sup> demostraron que el coeficiente de fricción en los hilos de un tornillo es independiente de la carga axial, prácticamente independiente de la velocidad, disminuye con lubricantes pesados, presenta poca variación con las combinaciones de materiales y es mejor para acero sobre bronce. Los coeficientes de fricción deslizante en tornillos de transmisión de potencia son de alrededor de 0.10 a 0.15.

En la tabla 8-4 aparecen las presiones de apoyo seguras en hilos, para proteger las superficies móviles del desgaste anormal. En la tabla 8-5 se presentan los coeficientes de fricción deslizante para pares de materiales comunes. En la tabla 8-6 se muestran los coeficientes de la fricción de inicio y de operación para pares comunes de materiales.

### 8-3 Sujetadores roscados

A medida que se estudien las secciones sobre sujetadores roscados y su uso, hay que estar alerta a la presencia de una mezcla de puntos de vista estocásticos y determinísticos. En la mayoría de los casos, la amenaza es por sobrecargar a los sujetadores, y esto se logra mejor mediante métodos estadísticos. La amenaza de la fatiga es menor y los métodos determinísticos tal vez sean adecuados.

En la figura 8-9 se presenta un dibujo de un perno estándar de cabeza hexagonal. Los puntos de concentración del esfuerzo se encuentran en el entalle, al inicio de los hilos (*runout*) y en el entalle de la raíz del hilo, en el plano de la tuerca cuando está presente. Véase la tabla E-26 para las dimensiones. El diámetro de la cara de la arandela es el

E-29

<sup>1</sup> Ham y Ryan, *An Experimental Investigation of the Friction of Screw-threads*, Bulletin 247, University of Illinois Experiment Station, Champaign-Urbana, IL.

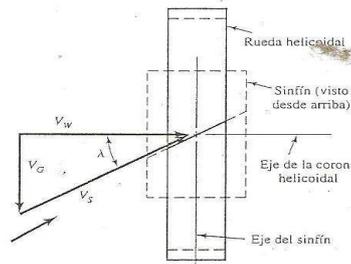
**ANEXO 4**

**EFICIENCIA DE ENGRANAJES DE TORNILLO SINFIN**

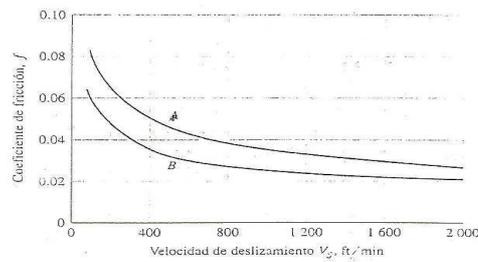
**Tabla 13-7**  
Eficiencia de engranajes de tornillo sinfín para  $f = 0.05$

Ángulo de la hélice $\lambda$ , grados	Eficiencia $\eta$ , %
1.0	25.2
2.5	45.7
5.0	62.0
7.5	71.3
10.0	76.6
15.0	82.7
20.0	85.9
30.0	89.1

**Figura 13-41**  
Componentes de la velocidad en un engranaje de tornillo sinfín.



**Figura 13-42**  
Valores representativos del coeficiente de fricción para engranajes de tornillo sinfín. Estos valores se basan en una lubricación adecuada. Utilice la curva B para materiales de alta calidad, como un sinfín con endurecimiento superficial acoplado con una rueda helicoidal de bronce fosforado. Use la curva A cuando se espere mayor fricción, como con un sinfín acoplado con una rueda helicoidal hechos de fundición de hierro.



Seleccionando un valor típico del coeficiente de fricción, digamos  $f = 0.05$  y los ángulos de presión de la figura 13-7, se utiliza la ecuación (13-38) para obtener alguna información útil de diseño. Resolviendo esta ecuación para los ángulos de la hélice de 1 a 30°, se obtienen los interesantes resultados de la tabla 13-7.

Muchos experimentos han demostrado que el coeficiente de fricción depende de la velocidad relativa o del deslizamiento. En la figura 13-41,  $V_G$  representa la velocidad en la línea de paso de la rueda y  $V_S$  la velocidad en la línea de paso del sinfín. En forma vectorial,  $V_W = V_G + V_S$ ; en consecuencia,

$$V_S = \frac{V_W}{\cos \lambda} \tag{13-39}$$

Los valores publicados del coeficiente de fricción varían hasta 20%, sin duda debido a las diferencias en el acabado superficial, los materiales y la lubricación. Los valores en la gráfica de la figura 13-42 son representativos e indican la tendencia general.

## ANEXO 5

### PROCESOS DE TRABAJO

Construcción de armadura para motor.

Forrado de armadura.

Mecanizado de catalina para acoplar a compuerta

Mecanizado de piñón para acoplar a motor.

**CONSTRUCCIÓN DE ARMADURA PARA MOTOR.**

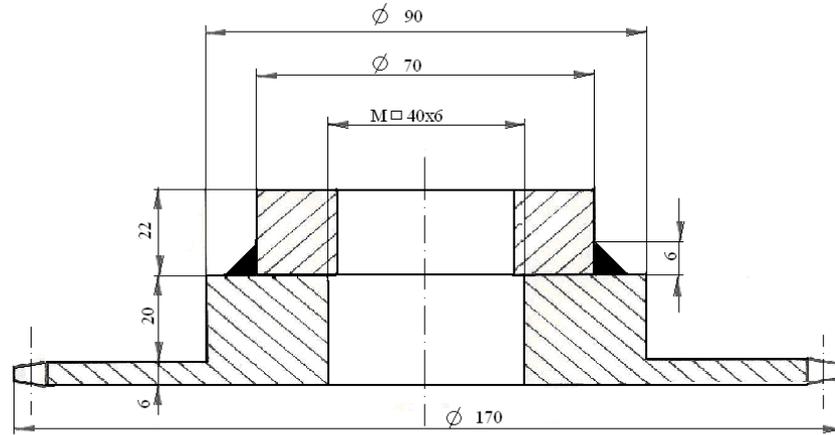
Material: plancha de acero		CICLO DE OPERACIONES			Nombre: Fabián Calderón				
Fase	Operación	Designación	Croquis	Útil	Herramienta verificación	Avance mm.	Velocidad De Corte	R.P.M	Tiempo
1		Corte de ángulo de 2 ½ " x ¼ x 1.18 m. Cant. 2				---	---	---	20`
2		Corte de ángulo de 2 ½ " x ¼ x 1.08 m. Cant. 2			flexómetro	---	---	---	20`
3		Corte de ángulo de 2 ½ " x ¼ x 0.30 m. Cant. 8			flexómetro	---	---	---	20`
4		Corte de ángulo de 2 ½ " x ¼ x 0.20 m. Cant. 2			flexómetro	---	---	---	20`
5		Punteado, escuadrado y soldado con electrodo E-60-11			flexómetro	---	---	---	70`
6		Amolado			flexómetro	---	---	---	20`
7		Pintado				---	---	---	60`

**FORRADO DE ARMADURA.**

Material: plancha de acero		<b>CICLO DE OPERACIONES</b>			Nombre: Fabián Calderón				
Fase	Operación	Designación	Croquis	Útil	Herramienta verificación	Avance mm.	Velocidad De Corte	R.P.M	Tiempo
1		Corte de tool de 1/20" 1.18 m x 0.30 m. cant. 2							10'
2		Corte de tool de 1/20" 1.08 m. x 0.30 m cant. 1		Cizalla	flexómetro				10'
3		Perforado con broca de 1/8" en las tres planchas		Cizalla	flexómetro				60'
4		Pintado de planchas pintura crema laca automotriz.		Broca	flexómetro				60'
5		Colocación de plancha en armazón con tornillos 3/16" x 1 1/2"			Flexómetro				60'

**MECANIZADO DE CATALINA PARA ACOPLAR A COMPUERTA.**

Material: plancha de acero	<b>CICLO DE OPERACIONES</b>	Nombre: Fabián Calderón
----------------------------	-----------------------------	-------------------------



Fase	Operación	Designación	Croquis	Útil	Herramienta verificación	Avance mm.	Velocidad De Corte	R.P.M	Tiempo
1	Operación	Corte							
2	1.1	Corte de plancha de acero de 1 ¼ " x 200 mm. de diámetro con oxicorte.				0.8	30		25'
		Mecanizado torno							
	2.1	Perforado broca de ½ "		broca	calibrador	1.2	24	500	20'
	2.2	Refrentado		Cuchilla de refrentar	calibrador	1.2	24	45 85	50'
	2.3	Cilindrado D= 170 y D= 90		Cuchilla de cilindrar	Calibrador	1.2	18	140	35'
	2.4	Perforado y cilindrado interior D= 40		Cuchilla cilind. interiores	calibrador	0.6	14	26	60'
3	Operación	Mecanizado fresa							
	3.1	Fresado de dientes		Fresa circular	calibrador				

**MECANIZADO DE PIÑÓN PARA ACOPLAR A MOTOR.**

Material: plancha de acero		CICLO DE OPERACIONES			Nombre: Fabián Calderón					
Fase	Operación	Designación	Croquis	Útil	Herramienta verificación	Avance mm.	Velocidad De Corte	R.P.M	Tiempo	
1	1.1	Corte Corte de plancha de acero de 1 ¼ " x 90 mm. de diámetro con oxicorte.				0.8	30		25'	
	2.1	Mecanizado con torno y taladro			broca				10'	
2	2.2	Mecanizado torno Perforado broca de ½ "		Cuchilla de refrentar	calibrador	1.2	24	500		
	2.3	Refrentado Cilindrado D= 85 y D= 45		Cuchilla de cilindrar	calibrador	1.2	24	85 170	60'	
	2.4	Perforado y cilindrado interior D= 20		Cuchilla cilind. interiores	Calibrador	0.8	18	145	65'	
3	2.5	Perforado y roscado con machuelo M8 para prisionero		broca y machuelo M8	calibrador	0.8	30		60'	
	3.1	Mecanizado fresa Fresado de dientes		Fresa circular calibrador	calibrador	0.6	14	30	60'	