



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO  
EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA SEMI-AUTOMÁTICA  
PARA EL PROCESO DE IMPRESIÓN POR TRANSFERENCIA  
DE AGUA PARA AUTOPARTES DE AUTOBÚS. CASO  
ESPECÍFICO - MIVILTECH”**

**AUTOR: JUAN FRANCISCO MUÑOZ GUZMÁN**

**DIRECTOR: ING. LEIVA, CRISTIAN**

**CODIRECTOR: ING. MÉNDEZ, GUILLERMO**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

### DECLARO QUE:

El proyecto con título "Diseño de una máquina semi-automática para el proceso de impresión por transferencia de agua para autopartes de autobús. Caso específico - MIVILTECH" fue realizado en su totalidad por el señor Juan Francisco Muñoz Guzmán, desarrollado como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

Inscribo en la bibliografía:

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud del presente documento, me responsabilizo del contenido, veracidad y autenticidad científica de la presente tesis de grado.



Ing. Leiva Cristian

Director



Juan Francisco Muñoz Guzmán



Ing. Méndez Guillermo

Codirector

Sangolquí, 2015-04

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

JUAN FRANCISCO MUÑOZ GUZMÁN

### DECLARO QUE:

La tesis de grado titulada “Diseño de una máquina semi-automática para el proceso de impresión por transferencia de agua para autopartes de autobús. Caso específico - MIVILTECH” ha sido realizada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud del presente documento, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la presente tesis de grado.



Juan Francisco Muñoz Guzmán

Sangolquí, 2015-04

## AUTORIZACIÓN

**JUAN FRANCISCO MUÑOZ GUZMÁN**

### AUTORIZO QUE:

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “Diseño de una máquina semi-automática para el proceso de impresión por transferencia de agua para autopartes de autobús. Caso específico - MIVILTECH”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



Juan Francisco Muñoz Guzmán

Sangolquí, 2015-04

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Jaime(+) y María del Carmen

A mis hermanas Karen y Johanna

A mi novia Carolina.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida junto a mi familia, por enseñar a levantarme frente a cualquier obstáculo, a mis padres por su bendición, por todo su sacrificio en el cielo y en la tierra, por su guía, consejos y confianza. A mis hermanas por su apoyo incondicional. A mi novia por su comprensión y exigencia, a mis primos y amigos por su amistad.

Madrecita, gracias por darme la vida, por toda la confianza, por todo tu sacrificio, esfuerzo y enseñanzas.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXIV
RESUMEN.....	XXVII
ABSTRACT .....	XXVIII
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....	4
1.5. OBJETIVOS .....	4
1.5.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO .....	5
1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	6
CAPÍTULO II.....	9

MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. CONOCIMIENTOS PRELIMINARES. ....	9
2.1.1. PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS. ....	9
2.1.2. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES .....	10
2.2. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE LA MÁQUINA.....	10
2.2.1. RANGOS DE APLICACIÓN .....	11
2.3. MÁQUINA SEMI-AUTOMÁTICA .....	11
2.4. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE LA MÁQUINA.....	13
2.5. DIAGRAMA DE FLUJO .....	14
2.6. SISTEMAS PRESENTES EN LA MÁQUINA. ....	15
2.6.1. CALENTAMIENTO DE AGUA.....	15
2.6.1.1. Por energía solar .....	15
2.6.1.2. Por calderas .....	15
2.6.1.3. Por serpentín.....	15
2.6.1.4. Por resistencias eléctricas o niquelinas. ....	15
2.6.1.5. Por energía geotérmica. ....	15
2.6.2. SISTEMA DE ELEVACIÓN DEL AUTOPARTE.....	15
2.6.2.1. Tornillo de potencia .....	15
2.6.2.2. Cilindros neumáticos. ....	15
2.6.2.3. Piñón cremallera .....	16
2.6.3. TIPOS DE CONTROL.....	16
2.6.3.1. Control ON/OFF .....	16
2.6.3.2. Control Proporcional (P) .....	16



2.6.3.3. Control Proporcional Integral (PI) .....	16
2.6.3.4. Control Proporcional Derivativo (PD) .....	16
2.6.3.5. Control Proporcional Integral Derivativo (PID) .....	16
2.6.4. ELEMENTOS PARA CONTROL DEL PROCESO.....	16
2.6.4.1. Control Lógico Programable (PLC).....	16
2.6.4.2. Tarjetas programables de control. ....	17
2.7. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS Y FUNCIONAMIENTO. ....	18
2.7.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	18
2.7.1.1. Presión Hidrostática .....	18
2.7.1.1.1. Distribución de fuerzas en pared vertical plana.....	18
2.7.1.2. Esfuerzos .....	19
2.7.1.2.1. Esfuerzo normal.....	20
2.7.1.2.2. Esfuerzo cortante.....	21
2.7.1.2.3. Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (T.E.C.M) .....	22
2.7.1.2.4. Concentradores de Esfuerzos.....	23
2.7.1.2.4.1. Cuñas .....	23
2.7.1.2.4.2. Esfuerzos en Cuñas.....	23
2.7.1.2.4.3. Esfuerzo por comprensión en cuñas: .....	24
2.7.1.2.4.4. Esfuerzo cortante en cuñas:.....	24
2.7.1.2.4.5. Factor de seguridad de la chaveta: .....	24
2.7.1.3. Rodamientos .....	24
2.7.1.3.1. Cargas en rodamientos:.....	25
2.7.1.3.2. Clasificación de rodamientos: .....	25

2.7.1.3.3. Selección de rodamientos. (FAG, 2000) .....	25
2.7.1.3.3.1. Aplicación estática. (FAG, 2000) .....	27
2.7.1.3.3.2. Carga estática equivalente:.....	27
2.7.1.3.3.3. Aplicación dinámica .....	28
2.7.1.3.3.4. Vida útil.....	28
2.7.1.3.3.5. Carga dinámica equivalente.....	29
2.7.1.4. Tornillos de potencia .....	29
2.7.1.4.1. Diámetro del tornillo de potencia.....	32
2.7.1.4.2. Par de torsión para elevar una carga.....	33
2.7.1.4.3. Eficiencia de tornillos de potencia.....	35
2.7.1.4.4. Esfuerzos estáticos en tornillos de potencia. ....	36
2.7.1.4.4.1. Torsión.....	36
2.7.1.4.4.2. Esfuerzo cortante hilos en contacto.....	36
2.7.1.4.4.3. Resistencia de flexión entre hilos en contacto.....	37
2.7.1.4.4.4. Aplastamiento en hilos en contacto.....	38
2.7.1.4.4.5. Espesor de la tuerca. ....	38
2.7.1.4.4.6. Resistencia a la fatiga del tornillo de potencia.....	39
2.7.1.4.4.7. Cargas columnares en tornillos de potencia.....	41
2.7.1.4.4.7.1. Factores de pandeo.....	41
2.7.1.4.4.7.2. Fijación de los extremos.....	41
2.7.1.4.4.8. Análisis de columnas. (Mott, 2006).....	42
2.7.1.4.4.8.1. Columnas largas: Fórmula de Euler .....	42
2.7.1.4.4.8.2. Columnas cortas: Fórmula de J. B. Johnson. ....	43

2.7.1.5. Tanques de almacenamiento para líquidos .....	43
2.7.1.5.1. Criterios de diseño para tanques .....	44
2.7.1.5.2. Cálculo de espesor de la placa de tanques de pared plana .....	44
2.7.1.6. “Teoría de placas planas”(Seely, 1954) .....	44
2.7.1.6.1. Placas con bordes simplemente apoyados .....	44
2.7.1.6.2. Placas con bordes totalmente apoyados.....	45
2.7.1.6.3. Esfuerzo máximo para la placa.....	45
2.7.1.7. Rigidizador intermedio.....	45
2.7.1.7.1. Selección de rigidizadores para placas planas.....	47
2.7.1.8. Soldadura.....	47
2.7.1.8.1. Tipo de uniones.....	49
2.7.1.8.2. Tipos de soldadura .....	50
2.7.1.8.3. Esfuerzos en soldaduras. ....	51
2.7.1.8.3.1. Torsión:.....	51
2.7.1.8.3.2. Flexión: .....	52
2.7.1.9. Transferencia de calor .....	53
2.7.1.9.1. Consideraciones de diseño.....	53
2.7.1.9.2. Transferencia de calor por conducción. ....	53
2.7.1.9.3. Transferencia de calor por convección. ....	54
2.7.1.9.4. Transferencia de calor por radiación.....	54
2.7.1.10. Filtros industriales para líquidos.....	54
2.7.1.10.1. Tipos de filtros.....	54
2.7.1.11. Manómetros.....	55

2.7.1.11.1. Tipos de Manómetros .....	55
2.8. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS ELECTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	55
2.8.1.1. Contacto Eléctrico .....	55
2.8.1.2. Contacto.....	55
2.8.1.3. Conexión o cierre .....	55
2.8.1.4. Desconexión o apertura.....	56
2.8.1.5. Conmutación .....	56
2.8.1.6. Regulación .....	56
2.8.1.7. Aparatos de maniobra .....	56
2.8.1.8. El contactor .....	56
2.8.1.8.1. Datos técnicos para la selección de un contactor .....	57
2.8.1.8.1.1. Tipo de contactor .....	57
2.8.1.8.1.2. Valores nominales.....	57
2.8.1.8.1.3. Circuito de control y contactos auxiliares .....	57
2.8.1.8.1.4. Clase de servicio.....	58
2.8.1.8.1.5. Categoría de empleo.....	58
2.8.1.9. Resistencia de inmersión.....	58
2.8.1.10. Bombas eléctricas .....	60
2.8.1.10.1. Datos técnicos para la selección de una bomba eléctrica .....	60
2.8.1.11. Motor eléctrico .....	60
2.8.1.11.1. Tipo de motor.....	60
2.8.1.11.2. Posición del motor .....	60
2.8.1.11.3. Potencia y velocidad .....	60

2.8.1.11.4. Grado de protección del motor.....	61
2.8.1.11.5. Tipo de servicio.....	61
2.8.1.12. Guardamotor .....	61
2.8.1.13. Variador de frecuencia.....	66
2.8.1.14. PLC (Controlador Lógico Programable) .....	66
2.8.1.15. Sensores .....	66
2.8.1.16. Display.....	67
2.9. DEFINICIÓN SISTEMA MECATRÓNICO .....	67
CAPÍTULO III.....	69
3.1. DISEÑO MECATRÓNICO.....	69
3.1.1. DISEÑO MECÁNICO .....	69
3.1.1.1. Tanque.....	69
3.1.1.1.1. Dimensionamiento del tanque.....	73
3.1.1.1.2. Elementos del tanque: .....	77
3.1.1.1.3. Selección del material para construcción del tanque.....	78
3.1.1.1.4. Cálculo de espesor de la placa para base del tanque. ....	80
3.1.1.1.4.1. Cálculo de esfuerzo de la placa de la base del tanque.....	81
3.1.1.1.4.1.1. Placa con bordes simplemente apoyados. ....	81
3.1.1.1.4.1.2. Placa con bordes totalmente apoyados. ....	82
3.1.1.1.4.2. Reducción del espesor de la placa base rigidizadores. ....	82
3.1.1.1.4.2.1. Rigidizadores caso 1 .....	82
3.1.1.1.4.2.2. Rigidizadores caso 2 .....	84
3.1.1.1.4.3. Selección de perfiles para rigidizadores de la base del tanque .....	87

3.1.1.1.5. Cálculo de espesor de placas laterales del tanque .....	96
3.1.1.1.5.1. Cálculo de esfuerzo de las placas laterales del tanque. ....	97
3.1.1.1.5.1.1. Placa con bordes simplemente apoyados .....	97
3.1.1.1.5.1.2. Placa con bordes totalmente apoyados .....	97
3.1.1.1.5.2. Reducción del espesor de las placas laterales con rigidizadores. ....	97
3.1.1.1.5.2.1. Rigidizadores para paredes laterales Caso 1 .....	97
3.1.1.1.5.2.2. Rigidizadores para paredes laterales Caso 2 .....	97
3.1.1.1.5.3. Selección de perfiles para rigidizadores para paredes del tanque.....	100
3.1.1.1.5.4. Selección de rigidizadores para anillo superior del tanque. ....	104
3.1.1.1.5.5. Selección de perfiles para rigidizadores para anillo inferior .....	107
3.1.1.1.6. Selección de pedestales niveladores para el tanque .....	110
3.1.1.2. Estructura y sistema de elevación .....	113
3.1.1.2.1. Brazo de frontal .....	117
3.1.1.2.1.1. Cálculo de esfuerzos para la sección del brazo frontal.....	118
3.1.1.2.1.2. Cálculo de esfuerzo en la placa lateral para la junta empernada.....	128
3.1.1.2.1.3. Cálculo de esfuerzos para placas laterales del brazo frontal .....	134
3.1.1.2.2. Cálculo de esfuerzos para la placa de la base móvil.....	137
3.1.1.2.3. Cálculo de esfuerzos de la estructura del brazo elevador posterior .....	139
3.1.1.2.4. Diseño de rodillos guías para base móvil.....	141
3.1.1.2.5. Diseño del sistema de elevación-Tornillo de potencia.....	145
3.1.1.2.5.1. Cálculo de diámetro medio para el tornillo de potencia .....	146
3.1.1.2.5.2. Par de torsión para elevar carga .....	151
3.1.1.2.5.3. Verificación conjunto autotrabante: .....	152

3.1.1.2.5.4. Par de torsión para descender carga: .....	152
3.1.1.2.5.5. Esfuerzo producido por el par de torsión: .....	152
3.1.1.2.5.6. Esfuerzo de aplastamiento en el tornillo de potencia.....	153
3.1.1.2.5.7. Teoría de esfuerzo cortante máximo (T.E.C.M).....	153
3.1.1.2.5.8. Espesor de la tuerca .....	154
3.1.1.2.5.9. Esfuerzo cortante de los hilos en contacto .....	154
3.1.1.2.5.10. Resistencia a flexión entre hilos en contacto .....	155
3.1.1.2.5.11. Verificación de resistencia a la fatiga del tornillo de potencia .....	156
3.1.1.2.5.12. Cargas columnares en el tornillo de potencia. ....	158
3.1.1.2.5.13. Chaveta.....	161
3.1.1.2.6. Diseño del mecanismo de acople entre tuerca y estructura .....	163
3.1.1.2.6.1. Acople de chapa metálica .....	165
3.1.1.2.7. Selección de rodamientos.....	167
3.1.1.2.7.1. Rodamientos para rodillos guía para base móvil. ....	167
3.1.1.2.7.2. Rodamientos para extremos de tornillo de potencia. ....	170
3.1.1.2.8. Verificación de la resistencia de la estructura principal .....	173
3.1.1.3. Planos Mecánicos (ANEXO A) .....	179
3.1.1.4. Diagramas de Manufactura (Anexo E).....	179
3.1.2. DISEÑO SISTEMA ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS .....	180
3.1.2.1. Selección Elementos Eléctricos, Electrónicos Y Control .....	180
3.1.2.1.1. Sistema de calentamiento de agua. ....	180
3.1.2.1.1.1. Resistencia eléctricas .....	180
3.1.2.1.2. Selección del motor eléctrico .....	183

3.1.2.1.3. Selección de variador de frecuencia .....	185
3.1.2.1.4. Selección bomba eléctrica de agua .....	185
3.1.2.1.5. Selección del sensor de temperatura.....	186
3.1.2.1.6. Selección del sensor de nivel.....	186
3.1.2.1.7. Selección de sensores de posición.....	187
3.1.2.1.8. Selección del Controlador.....	189
3.1.2.1.9. Selección del controlador de temperatura.....	189
3.1.2.1.10. Selección de gabinete eléctrico, luces piloto, pulsadores.....	190
3.1.2.1.10.1. Distribución del tablero de control .....	191
3.1.2.2. Planos Eléctricos, Electrónicos Y Control .....	191
3.1.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	191
3.1.3.1. Opciones de funcionamiento de la máquina .....	191
3.1.3.2. Secuencia de funcionamiento de la máquina.....	192
3.1.3.2.1. Modo automático .....	192
3.1.3.2.2. Modo manual.....	194
3.1.3.2.3. Modo de pruebas.....	196
3.1.3.2.4. Paro de Emergencia .....	197
3.1.3.3. Programación del PLC .....	198
3.1.3.3.1. Asignación de variables control: .....	198
3.1.3.3.2. Programación Ladder: .....	199
3.1.3.3.3. Simulación sistema de control.....	199
CAPÍTULO IV .....	201
PRUEBAS Y RESULTADOS .....	201



4.1. DESARROLLO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	201
4.1.1. PRUEBAS FUNCIONALES.....	201
CAPÍTULO V .....	207
5.1. COSTOS .....	207
5.1.1. COSTOS DIRECTOS.....	207
5.1.2. COSTOS INDIRECTOS.....	210
5.1.3. COSTOS TOTALES.....	211
5.2. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO .....	212
5.2.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	212
5.2.1.1. Cálculo de flujo neto de efectivo anual (Fn).....	212
5.2.2. TASA INTERNA DE RETORNO .....	214
CAPÍTULO VI .....	215
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	215
6.1. CONCLUSIONES .....	215
6.2. RECOMENDACIONES.....	216
BIBLIOGRAFÍA.....	217
ANEXOS .....	219
A. PLANOS MECÁNICOS .....	219
B. PLANOS ELECTRICOS .....	237
C. PROGRAMACIÓN LADDER .....	247
D. DIAGRAMAS DE MANUFACTURA.....	251
E. DIAGRAMAS DE MANUFACTURA .....	253
FABRICACIÓN DE TANQUE.....	253

CORTE Y ARMADO DE REIGIDIZADORES .....	254
FABRICACIÓN DEL TORNILLO DE POTENCIA.....	254
FABRICACIÓN DE CARCASA PARA LA TUERCA.....	255
FABRICACIÓN DE LA TUERCA .....	255
CORTE Y ARMADO DE ESTRUCTURA PRINCIPAL .....	256
CORTE Y ARMADO DE BRAZO FRONTAL Y BRAZO POSTERIOR .....	256
FABRICACIÓN DE RODILLOS GUÍA.....	257
FABRICACIÓN DE LA PLACA LATERAL DE LA BASE MÓVIL .....	257
FABRICACIÓN DEL ACOUPLE PARA MECANISMO DE ELEVACIÓN.....	258

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1.- Sólidos con partes cóncavas al agua.....	9
Fig. 2. 2.- Sólidos con partes convexas al agua.....	9
Fig. 2. 3.- Porcentaje de operaciones manual/automático de la máquina .....	13
Fig. 2. 4.- Diagrama de flujo de la máquina.....	14
Fig. 2. 5.- Placa con manufactura “Artesana” e industrial.....	17
Fig. 2. 6.- Distribución de la fuerza en la pared vertical plana. ....	18
Fig. 2. 7.- Dimensiones del área para cálculo de presión.....	19
Fig. 2. 8.- Representación de esfuerzo a tracción .....	20
Fig. 2. 9.- Representación de esfuerzo de flexión .....	20
Fig. 2. 10.- Representación de esfuerzo cortante puro .....	21
Fig. 2. 11.- Representación de esfuerzo de torsión.....	21
Fig. 2. 12.- Representación de esfuerzo transversal .....	22
Fig. 2. 13.- Fuerza tangencial aplicada a la cuña .....	23
Fig. 2. 14.- Cargas radiales en rodamientos .....	25
Fig. 2. 15.- Cargas axiales en rodamientos.....	25
Fig. 2. 16.- Terminología para tornillos de potencia .....	30
Fig. 2. 17.- Roscas utilizadas para tornillos de potencia.....	31
Fig. 2. 18.- Esquema de tornillo de potencia para elevar cargas.....	33
Fig. 2. 19.- Diagrama de cuerpo libre de la tuerca sobre el tornillo de potencia .....	34
Fig. 2. 20.- Estado de esfuerzo en la raíz del filete .....	39
Fig. 2. 21.- Esquema para cálculo de coeficiente de momento. ....	46
Fig. 2. 22.- Unión empalmada.....	49

Fig. 2. 23.- Unión Superpuesta .....	49
Fig. 2. 24.- Unión de esquina .....	50
Fig. 2. 25.- Unión en T .....	50
Fig. 2. 26.- Unión de borde .....	50
Fig. 2. 27.- Pulsador rasante de diámetro de 22mm .....	56
Fig. 2. 28.- Contactor trifásico para riel din.....	57
Fig. 2. 29.- Resistencias de inmersión. ....	59
Fig. 2. 30.- Relación Voltaje/Frecuencia en variadores .....	66
Fig. 2. 31.- Sistema mecatrónico de la máquina .....	67
Fig. 3. 1.- Esquema general de la máquina.....	69
Fig. 3. 2.- Etapas del tanque.....	72
Fig. 3. 3.- Flujo del agua en el tanque.....	73
Fig. 3. 4.- Dimensiones del autoparte más grande.....	74
Fig. 3. 5.- Dimensiones del autoparte en posición horizontal .....	74
Fig. 3. 6.- Dimensión de la diagonal vista frontal del autoparte .....	75
Fig. 3. 7.- Dimensión de la diagonal vista lateral del autoparte .....	75
Fig. 3. 8.- Elementos del tanque .....	77
Fig. 3. 9.- Posición rigidizador intermedio caso 1 .....	83
Fig. 3. 10.- Posición de varios rigidizadores Caso 1.....	85
Fig. 3. 11.- Posición rigidizador intermedio Caso 2 .....	86
Fig. 3. 12.- Distribución de la carga en el rigidizador intermedio .....	87
Fig. 3. 13.- fuerzas actuantes en el rigidizador de 1,104 [m].....	88
Fig. 3. 14.- Cargas puntuales en el centro de la viga .....	90

Fig. 3. 15.- Diagrama de fuerzas en la viga.....	90
Fig. 3. 16.- Dimensiones de la placa lateral para el cálculo de presión .....	96
Fig. 3. 17.- Distribución de rigidizadores internos para la pared lateral caso 1 .....	98
Fig. 3. 18.- Distribución de rigidizadores para la pared lateral caso 2. ....	99
Fig. 3. 19.- Fuerza puntual equivalente en la pared vertical .....	100
Fig. 3. 20.- Área total que soporta el rigidizador.....	101
Fig. 3. 21.- Fuerza equivalente que actúa en el anillo superior del tanque.....	104
Fig. 3. 22.- Posición del perfil del anillo superior del tanque.....	106
Fig. 3. 23.- Pedestal nivelador de tornillo de acero negro .....	113
Fig. 3. 24.- Puntos de sujeción del autoparte, vista frontal .....	113
Fig. 3. 25.- Vista lateral del tanque y del autoparte. ....	114
Fig. 3. 26.- Vista lateral de la estructura principal .....	116
Fig. 3. 27.- Esquema general de la máquina.....	117
Fig. 3. 28.- Brazo frontal .....	117
Fig. 3. 29.- Placas interiores y exteriores para brazo frontal de elevación.....	118
Fig. 3. 30.- Diagrama de cuerpo libre de brazo elevador.....	118
Fig. 3. 31.- Momento, torque y fuerza resultante en el brazo elevador.....	120
Fig. 3. 32.- Fuerzas actuantes en el brazo frontal .....	123
Fig. 3. 33.- Estado de esfuerzos aplicados .....	127
Fig. 3. 34.- Fuerzas, momentos y toques resultantes en brazo frontal .....	128
Fig. 3. 35.- Placa exterior de brazo elevador.....	129
Fig. 3. 36.- Vista frontal brazo elevador .....	129
Fig. 3. 37.- Vista lateral brazo elevador.....	131

Fig. 3. 38.- Fuerzas, momentos y torque resultante en la placa exterior .....	132
Fig. 3. 39.- Momento que actúa en la placas del brazo elevador, vista frontal. ....	133
Fig. 3. 40.- Placa con agujero central a flexión. ....	135
Fig. 3. 41.- Dimensiones placa lateral brazo elevador.....	135
Fig. 3. 42.- Área neta efectiva placas laterales brazo elevador .....	135
Fig. 3. 43.- Dimensiones placa lateral base móvil .....	137
Fig. 3. 44.- Área neta efectiva placa lateral base móvil .....	138
Fig. 3. 45.- Esquema de estructura de sistema de elevación .....	139
Fig. 3. 46.- Dimensiones de estructura de acople a mecanismo de elevación .....	139
Fig. 3. 47.- Esquema de la base móvil de la máquina.....	141
Fig. 3. 48.- Dimensiones de rodillos guías para base móvil .....	141
Fig. 3. 49.- Torque actuante en la placa lateral de la base móvil.....	142
Fig. 3. 50.- Fuerzas tangenciales en agujeros para tornillos de rodillos guía .....	142
Fig. 3. 51.- Fuerza de esfuerzo cortante puro en rodillos guía .....	143
Fig. 3. 52.- Vistas de rodillo guía, Área proyectada.....	143
Fig. 3. 53.- Vista Explosionada de base móvil de la máquina.....	145
Fig. 3. 54.- Medidas referenciales para tornillo de potencia. ....	147
Fig. 3. 55.- Esfuerzo combinados actuantes en el tornillo de potencia .....	156
Fig. 3. 56.- Dimensiones del tornillo de potencia.....	161
Fig. 3. 57.- Dimensiones de la chaveta para el tornillo de potencia.....	162
Fig. 3. 58.- Esquema del sistema de elevación.....	163
Fig. 3. 59.- Rosca ACME seccionada en el plano axial.....	164
Fig. 3. 60.- Acople entre la tuerca y el mecanismo de elevación, 3D .....	164

Fig. 3. 61.- Esquema y dimensiones de la carcasa .....	165
Fig. 3. 62.- Dimensiones del acople entre carcasa y brazo posterior .....	166
Fig. 3. 63.- Esquema de unión entre rodillo guía y rodamiento .....	167
Fig. 3. 64.- Fuerzas resultantes actuantes en la estructura principal.....	173
Fig. 3. 65.- Conexión sensor de temperatura .....	186
Fig. 3. 66.- Sensor de nivel .....	187
Fig. 3. 67.- Final de carrera de rodillo .....	187
Fig. 3. 68.- Sensor fotoeléctrico. ....	188
Fig. 3. 69.- Encoder en el eje del motor .....	188
Fig. 3. 70.- Controlador de temperatura "Fullguage" .....	190
Fig. 3. 71.- Ubicación de los elementos en el tablero de control .....	190
Fig. 3. 72.- Distribución de los elementos dentro del tablero de control .....	191

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Tipo de operación de la máquina .....	12
Tabla 2. 2 Clasificación de rodamientos .....	26
Tabla 2. 3 Factor de esfuerzo estático para rodamientos.....	28
Tabla 2. 4 Ventajas de los diferentes tipos de rosca de tornillos de potencia.....	31
Tabla 2. 5 Valores de $\phi$ de rosca ACME para las opciones de tuerca .....	32
Tabla 2. 6 Esfuerzo permisible para diferentes conjuntos tuerca-tornillo.....	33
Tabla 2. 7 Coeficiente de rozamiento tornillo-tuerca con diferentes materiales.....	35
Tabla 2. 8 Coeficiente para diferentes tipos de roscas.....	37
Tabla 2. 9 Altura de trabajo del filete.....	38
Tabla 2. 10 Factor K para cargas columnares .....	42
Tabla 2. 11 Soldabilidad de metales comunes.....	48
Tabla 2. 12 Tipos de soldadura.....	51
Tabla 2. 13 Valores nominales para contactores .....	57
Tabla 2. 14 Clase de servicio de contactores.....	58
Tabla 2. 15 Nomenclatura diferentes tipos de carga en A.C. para el contactor .....	59
Tabla 2. 16 Nomenclatura diferentes tipos de carga en D.C. para el contactor.....	59
Tabla 2. 17 Nomenclatura para protección IP .....	62
Tabla 3. 1 Alternativas de diseño del tanque .....	70
Tabla 3. 2 Tabla de ponderación de las alternativas de diseño del tanque .....	72
Tabla 3. 3 Tiempo en llenar la “Etapa A” con variación en el largo y el caudal.....	76
Tabla 3. 4 Descripción de los elementos del tanque .....	77
Tabla 3. 5 Ventajas y desventajas de cada material propuesto para el tanque .....	78



Tabla 3. 6 Ponderación de alternativas de selección del material del tanque.....	79
Tabla 3. 7 Tipos de acero inoxidable .....	79
Tabla 3. 8 Propiedades mecánicas acero A304 .....	80
Tabla 3. 9 Espesor total de la placa con varios rigidizadores según el Caso 1. ....	85
Tabla 3. 10 Calculo de espesor de la placa según caso 2 .....	86
Tabla 3. 11 Toma de decisión de la posición de los rigidizadores para la base .....	87
Tabla 3. 12 Propiedades mecánicas acero A36.....	91
Tabla 3. 13 Cálculo del espesor de la placa para varios rigidizadores caso 1 .....	98
Tabla 3. 14 Cálculo del espesor de la placa para varios rigidizadores caso 2.....	99
Tabla 3. 15 Toma de decisión de posición de rigidizadores para la pared lateral..	100
Tabla 3. 16 Ventajas y desventajas de sistemas de elevación.....	114
Tabla 3. 17 Tabla de ponderación del sistema de elevación .....	115
Tabla 3. 18 Cálculos de esfuerzo del tubo estructural cuadrado-brazo posterior ..	140
Tabla 3. 19 Propiedades mecánicas del Nylon PA6.....	144
Tabla 3. 20 Hilos por pulga de acuerdo al diámetro del tornillo .....	148
Tabla 3. 21 Propiedades mecánicas Acero 1040.....	149
Tabla 3. 22 Propiedades mecánicas bronce .....	149
Tabla 3. 23 Ponderación para el sistema de calentamiento de agua .....	180
Tabla 3. 24 Ponderación para la selección del controlador .....	189
Tabla 3. 25 Asignación de la señal de entrada al PLC .....	198
Tabla 3. 26 Asignación de la señal de salida del PLC.....	199
Tabla 4. 1 Pruebas funcionales de la máquina en modo automático .....	201
Tabla 4. 2 Pruebas funcionales de la máquina en modo manual .....	203

Tabla 4. 3 Pruebas funcionales de la máquina en modo pruebas .....	205
Tabla 4. 4 Costo de producción anual.....	213
Tabla 4. 5 Cálculo de VAN.....	213
Tabla 4. 6 Cálculo de la TIR .....	214
Tabla 5. 1 Costo de materiales directos .....	207
Tabla 5. 2 Costo de elementos y accesorios.....	208
Tabla 5. 3 Costo de Maquinado y ensamblaje .....	210
Tabla 5. 4 Costo de mano de obra indirecta .....	210
Tabla 5. 5 Costos operativos .....	211
Tabla 5. 6 Costo total de la máquina de impresión por transferencia de agua .....	211

## RESUMEN

Se realiza el diseño de una máquina semi-automática para el proceso de impresión por transferencia de agua para autopartes de autobús. Caso específico – MIVILTECH. El proyecto de la máquina se lo ejecuta dividiéndola por tres subsistemas. Primer subsistema, tanque, diseñado para sumergir autopartes de 2,36[m] de largo, 0,8[m] de ancho y 0,8[m] de altura. Cuenta con un sistema de recirculación de agua con el respectivo filtrado para líquido, niquelinas que elevan a la temperatura ideal del agua, entre 30°C y 35°C. Segundo subsistema, elevación, el cual puede desplazarse en el plano vertical únicamente y de forma automáticamente a un autoparte a la vez trasladándola con la ayuda de una base móvil acoplada al conjunto tornillo de potencia – tuerca que está conectado directamente al eje de un motor eléctrico que opera a diferentes velocidades de acuerdo a la posición de ascenso descenso del autoparte. Tercer subsistema de la máquina está implementado por los elementos eléctricos, electrónicos y el sistema de control, el cual usa un PLC encargado de controlar los actuadores de la máquina (motor, niquelinas, bomba de agua) de acuerdo a los pasos, condiciones configuradas y a la selección del modo de operación propuesto entre modo automático, manual, pruebas. Los parámetros son medidos a través del sensor de temperatura, sensor de nivel, sensores de posición como fines de carrera, sensor fotoeléctrico y a través del conjunto de encoder. Los requerimientos para la óptima fijación de la lámina de polivinílico al autoparte sometida son: correcto nivel y temperatura de agua, velocidad de descenso fuera y dentro del agua, tiempo de inmersión, velocidad de ascenso y filtrado de impurezas.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **AUTOPARTES**
- **IMPRESIÓN POR TRANSFERENCIA DE AGUA**
- **TEMPERATURA**
- **POLIVINÍLICO**
- **SEMI-AUTOMÁTICA**

## ABSTRACT

The design of a manual and automatic machine for water transfer printing process for parts of a bus. Specific case – MIVILTECH. The machine was designed dividing it into three subsystems. First subsystem, tank, designed to immerse car parts 2.36 [m] long, 0.8 [m] wide and 0.8 [m] tall. It has a water recirculation system with the respective filter for liquid and electrical heating that work raising the temperature function between 30°C and 35°C. The second subsystem, elevation, which can move just in a vertical plane and automatically moving just one part per operation. The parts move according the movement of a mobile base assembly coupled to power screw that is connected directly to the shaft of an electric motor operating at different speeds according to the lift-down position of the car part. The third subsystem of the machine is made of the electrical, electronics and control system elements. The control systems is a PLC. It controls the actuators of the machine (electrical engine, electrical heating and water pump) according to the steps, conditions configured and operating mode selection proposed between automatic mode, manual mode and test mode. A temperature sensor, a level sensor, position sensors by limit switches, a photoelectric sensor assembly and through the encoder measure the requirements for optimal fixation of the sheet of polyvinyl subjected to car part. That elements of the machine guarantee the correct level and water temperature, rate of descent speed in the water, dive time, ascent rate and filtering impurities for new procedures.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La Real Academia Española, RAE, define a impresión como “Efecto o sensación que algo o alguien causa en el ánimo.” Por ello se intenta captar la atención con una sobresaliente apariencia, creando una diferenciación de los objetos con forma artística.

Lo común no siempre es lo preferido al momento de adquirir un producto, la gran mayoría prefiere dar un toque personalizado a su adquisición, sin embargo el caracterizar un producto tiene un valor agregado a su costo nominal que dependiendo del producto, del diseño, entre otros factores, este puede ser excesivamente elevado.

El instante en el que se desea personalizar un producto no necesariamente se debe modificar parcial o totalmente su estructura original, se puede individualizar un producto con tan solo agregar puntos o líneas de pintura en partes específicas así como cambiar totalmente su pintura con un solo color o con la combinación de diferentes colores, en varias formas con lo que se considera una obra artística con dibujos o modelos que se acoplan a gustos del cliente.

Concentrando la atención en personalizar objetos en la apariencia y no en su figura originalmente definida se considera factores como la viabilidad, consumo de recursos tanto económicos como de carácter de tiempo, se han inventado ya métodos y técnicas para imprimir diseños personalizados sobre superficies irregulares a esto se lo llama IMPRESIÓN POR TRANSFERENCIA DE AGUA, sin embargo todo el proceso se lo realiza actualmente de forma manual.

## 1.2. ANTECEDENTES

Miviltech, es una empresa totalmente nueva dedicada en primera instancia a la fabricación de autopartes de autobús en fibra de carbono, plástico entre otros materiales de acuerdo a los requerimientos de sus clientes.

Actualmente es proveedor principal de MIRAL, una de las más grandes empresas de fabricación y ensamblaje de cabinas de autobuses en el país.

Miviltech, para la etapa final de la fabricación de autopartes, pinta sus productos utilizando pistolas aerográficas. Este método para pintar autopartes requiere periodos largos de tiempo tanto en la aplicación de la pintura como para el sacado, limita detalles en los dibujos que son pintados en cada autoparte y la inversión económica para el cliente en caso de requerir algún diseño personalizado es elevada debido a la mayor cantidad de recursos invertidos durante su fabricación.

Con el objetivo dar mayor satisfacción a sus clientes la empresa decide crear una nueva máquina semi-automática que sea de ayuda para el proceso final en la pintura de autopartes de autobús, sin tener complicaciones con superficies planas o con relieve, a costo reducido, minimizando tiempo de producción de fácil transferencia o alta definición de dibujos complejos.

Al implementar este proceso Miviltech resuelva utilizar la técnica de impresión por transferencia de agua (Water transfer Printing) que consiste en adherir una lámina, que contenga un dibujo, a cualquier tipo de superficie con la ayuda del empuje que produce el agua al instante en el que es sumergido el objeto y con la aplicación de una sustancia química que permite su total fijación. Gracias a este método se puede pintar autopartes de autobús de una manera rápida, sencilla y a un bajo costo, mejora la apariencia de las autopartes sometidas al proceso y garantiza la durabilidad de esta sea cual sea su posterior uso.

El proceso de impresión por transferencia de agua se lo practica en países como Estados Unidos y parte del continente Europeo, sin embargo dicho

proceso lo se lo realiza en forma manual por su compleja manipulación a los elementos sometidos. Al realizar el procedimiento de forma manual, hay mayor probabilidad de causar errores en el proceso, con pérdidas económicas durante la fabricación de autopartes en general.

Milvitech, al contar con el diseño de una máquina capaz de ejecutar el proceso de manera semi-automática puede implementarla en el momento pertinente del desarrollo de la empresa, una vez puesta en marcha tiene la opción de expandir su mercado a nivel nacional dado que en el país no se practica este novedoso proceso hasta la actualidad. El instante que la máquina esté operativa será capaz de realizar impresiones de nuevos diseños totalmente personalizados y en cualquier superficie de partes fabricadas en materiales como plástico, acero, madera y otros diferentes tipos de materiales que están en la capacidad de soportar este procedimiento, que contengan detalles en su apariencia y gran definición de sus dibujos los cuales toman mayor tiempo pintarlas con métodos comunes y su costo de producción no justifica la inversión.

### **1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Milvitech desde su fundación ha invertido gran cantidad de tiempo en la fabricación de cada autoparte utilizando pistolas aerográficas para su proceso final.

El procedimiento de impresión por transferencia de agua se puede llevar a cabo de forma manual, es decir sin la ayuda de máquinas automatizadas, sin embargo la intervención de los operadores hace que la probabilidad aumente en cuanto a la presencia de errores durante el procedimiento conllevando pérdidas de recursos.

El proceso de impresión por transferencia de agua necesita la aplicación de un químico activador el cual puede producir efectos colaterales ante una excesiva exposición directa al contacto con la piel de los operadores.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

Miviltech, al enrolarse en la fabricación de autoparte para autobús planea implementar una máquina que realiza el proceso de impresión por transferencia de agua, con el cual se ahorra en gran medida el tiempo de fabricación de productos con diseños personalizados y reducción de consumo de recursos energéticos.

Para evitar que se cometa errores en posicionamiento de las autopartes durante el proceso, se diseña una máquina semi-automática que entre otras funciones puede controlar con gran precisión la trayectoria programada para cada autoparte.

La máquina es capaz de detectar el instante en el que el autoparte comienza su inmersión hasta su total recubrimiento con agua de la zona objetivo para contabilizar un minuto y elevarla para finalizar con el proceso.

Con la finalidad de cuidar y velar por la salud de los operadores y cumplir con los reglamentos de bioseguridad, la máquina sumerge y posteriormente eleva a cada autoparte sin la necesidad de la intervención del personal a tener contacto con los químicos utilizados durante el proceso.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una máquina semi-automática para el proceso de impresión por transferencia de agua para autopartes de autobús. Caso específico – MIVILTECH.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar una máquina modular en la que se pueda aplicar el proceso a cualquier autoparte de autobús dentro del rango de las dimensiones del alcance del proyecto.



- Diseñar el sistema de control de la máquina que garantice la secuencia de operaciones para la correcta impresión al autoparte.
- Comprobar el sistema de control mediante la simulación de la secuencia de operaciones.
- Realizar un estudio financiero para determinar la viabilidad del proyecto.

## **1.6. ALCANCE DEL PROYECTO**

El alcance del proyecto se basa de acuerdo a las características físicas del autoparte más grande que fabrica MIVILTECH. Se considera las dimensiones máximas al igual que el peso máximo para diseñar una máquina óptima.

El dimensionamiento del tanque en donde se sumerge al autoparte de autobús más grande deberá ser capaz de almacenar un volumen de 1,6 m<sup>3</sup> pertenecientes a elementos cuyas medidas se detallan a continuación.

- Largo: 2600 mm
- Ancho: 800 mm
- Alto: 800 mm

El tanque contiene agua que debe estar a una temperatura entre 30°C y 35°C, para elevar la temperatura del agua se selecciona un sistema de calentamiento de agua en la etapa de diseño, al igual que la temperatura se debe asegurar el nivel adecuado de agua para garantizar un correcto proceso.

El sistema necesita recirculación y filtración de agua para lo cual se escoge, en la etapa de selección de elementos, un sistema que cumpla con las condiciones descritas en el mismo capítulo, debe tener un filtrado de agua que garantice la captura de partículas que puedan ser perjudiciales para una nueva ejecución del proceso o para la maquinaria.

La máquina debe componerse con un elemento encargado de sostener, sumergir y elevar el autoparte, se considera factores como los materiales que se utilizan para la fabricación del autoparte y se define como peso límite 40kg

para operación de la máquina, el acople general del elemento elevador de la máquina para los acoples secundarios son universal. Los acoples secundarios no son parte del proyecto debido a la exclusividad de dimensiones y diseños por parte de Miviltech.

El mecanismo para descender y ascender al elemento que sujeta el autoparte debe ser capaz de garantizar la seguridad de la pieza sometida y le de los operadores, debe operar a velocidades diferentes y controladas establecidas en la etapa de diseño. Los sensores y/o fines de carrera para el correcto posicionamiento del autoparte se determinan en la etapa de selección de elementos.

Para el sistema de control se selecciona o diseña elementos capaces de esta operación considerando como factor principal el número de entradas y salidas al igual que la potencia para accionar los actuadores.

Los indicadores se visualiza mediante un tablero de control que muestra a través de un display la temperatura del agua y por medio de leds indicadores se verifica el correcto funcionamiento de cada elemento, con selectores y/o pulsadores se puede escoger el tipo de proceso entre manual y automático, los rangos y número de opciones se los define en la etapa de diseño.

## **1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

Los requerimientos previos al proceso de impresión por transferencia de agua son:

- Las autopartes deben encontrarse totalmente listas para el proceso.
- La película de PVA (alcohol polivinílico), debe contener el diseño personalizado que va a ser impreso en la superficie de cada autoparte.

Un sensor garantiza el nivel adecuado de agua para realizar el proceso de impresión por transferencia de agua, verificado este factor se calienta el agua una temperatura entre 30°C y 35°C con la ayuda del sistema de calentamiento

Los operadores son los encargados de colocar el autoparte en los acoples del elemento elevador.

El operador posiciona la lámina de polivinílico en la superficie del agua contenida en el tanque, a continuación y con la ayuda de una pistola aerográfica se rocía el químico activador sobre toda el área de la lámina de polivinílico.

Se presiona el botón de START.

El elemento elevador de la máquina desciende a velocidad constante hasta antes que el autoparte entre en contacto con el agua, de forma automática cambia la velocidad de descenso siendo esta menor que la inicial hasta sumergir totalmente el autoparte que permanece bajo el agua durante aproximadamente un minuto y posteriormente el elemento elevador asciende el autoparte hasta la posición de más alta o punto de partida.

Los o el operador retira el autoparte de los acoples del elemento elevador obteniendo una perfecta impresión de la lámina en la superficie del autoparte.

Finalmente actúa el sistema de recirculación de agua que hace pasar el líquido a través de un filtro para retención de residuos e impurezas del proceso anterior para que el agua pueda ser reusada durante varios procesos.



## CAPÍTULO II

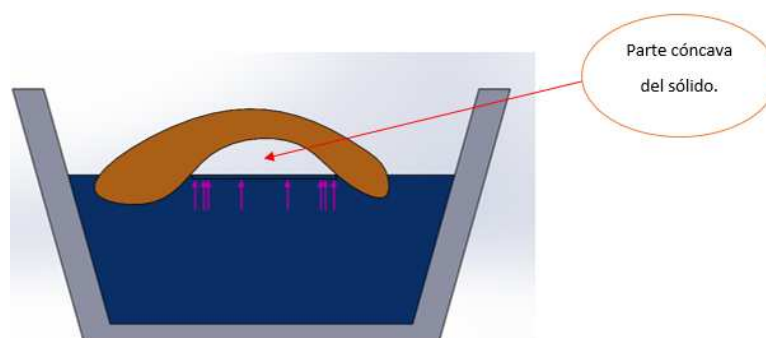
### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se define conceptos básicos y principios teóricos para describir el proceso y en los cuales se basa el diseño de las partes para la máquina que se utiliza en el proceso de impresión por transferencia de agua.

#### 2.1. CONOCIMIENTOS PRELIMINARES.

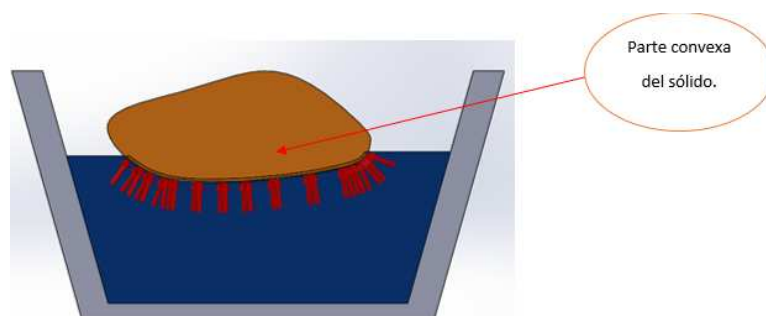
##### 2.1.1. PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS.

Los líquidos tiene la propiedad de tomar la forma del recipiente que los contiene, de igual forma si se sumerge completamente un cuerpo, el líquido se adapta a las superficies que el cuerpo posee siempre que estas sean convexas al líquido y no retengan aire que quede atrapado entre sus cavidades.



**Fig. 2. 1.- Sólidos con partes cóncavas al agua.**

En la Fig. 2.1 se observa que la parte cóncava del sólido contiene aire, por tal razón el agua no se adapta a la forma completa del sólido.



**Fig. 2. 2.- Sólidos con partes convexas al agua**

Mientras en la Fig. 2.2 se observa que el sólido contiene una parte convexa, por tal razón el agua puede adaptarse completamente a la forma del sólido parcialmente sumergido.

### **2.1.2. PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES**

Un objeto que flote o se halle sumergido en un líquido experimenta una fuerza hacia arriba aplicada en el centro de gravedad del objeto, a esta fuerza se la denomina empuje. El principio que establece que “el empuje sobre un objeto sumergido en un líquido es igual al peso del fluido desalojado” fue deducido por Arquímedes (287 – 212 a.C.), y se denomina principio de Arquímedes. (Kane&Sternheim, 1989, p. 292)

Es necesario diferencia entre la fuerza o empuje que se aplica en el sólido sumergido y la presión que actúa en el mismo.

Definiendo a empuje como la fuerza puntual que actúa sobre el centro de gravedad del cuerpo sumergido y como presión a la fuerza distribuida en toda la superficie inferior convexa del cuerpo sumergido.

Por lo tanto el agua ejerce una presión proporcional al peso del mismo en la superficie inferior del cuerpo.

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE LA MÁQUINA**

Para realizar impresiones en 2D en la actualidad el procedimiento que se utiliza es realmente fácil y no limita los diseños personalizados que pueden ser impregnados en las láminas. Se puede realizar gráficos y/o diseños complejos con alta definición en un software y con la ayuda de una impresora se impregna en un papel, cartulina, etc. y en el caso de ser de gran tamaño se lo puede realizar en lonas y otros materiales con la ayuda de un plotter. Sin embargo cuando se habla impresiones en alto relieve con superficies no uniformes o en 3D el procedimiento no es sencillo, probablemente si se inventa una máquina impresora a color en 3D el proceso llegará a ser igual de fácil como en el caso de 2D pero actualmente aún no se ha desarrollado tal impresora.

Por otra parte se puede realizar una impresión en 2D e impregnarla en superficies irregulares, entonces se ha desarrollado una “impresora 3D”.

Las láminas utilizadas deben cumplir con requisitos como elasticidad, uniformidad en el grosor, resistencia para evitar el agrietamiento durante el proceso, evitar la existencia de burbujas de aire durante la impresión en superficies irregulares, entre otros factores.

Con el antecedente descrito en el párrafo anterior se desarrolla un innovador proceso llamado “Impresión por Transferencia de Agua”.

Este proceso utiliza una lámina de polivinílico que cumple con todos los requerimientos para obtener perfectas impresiones en superficies irregulares.

Al desplegar la lámina de polivinílico sobre la superficie del agua contenida en el tanque y posteriormente al aplicar el químico activador, en base al principio de Arquímedes, al sumergir un cuerpo, la presión que el agua ejerce en toda la superficie del cuerpo regular e irregular realiza una perfecta impresión de la lámina de polivinílico con el diseño personalizado al ser transferida a la superficie del cuerpo, sin perder ningún detalle del diseño y obteniendo un terminado elegante y único.

Mediante un proceso químico dentro de un tanque se obtiene que los diseños escogidos son transferidos al objeto adecuándose a las formas del mismo logrando un acabado inigualable.

#### **2.2.1. RANGOS DE APLICACIÓN**

Cualquier material de superficie dura y no porosa como vidrio, madera, metal, fibra de vidrio, cerámica, la mayoría de plásticos, o cualquier tipo de material que no se deteriore al contacto con el agua.

### **2.3. MÁQUINA SEMI-AUTOMÁTICA**

De acuerdo con la Real Academia Española define a:

Máquina: “Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para producir un efecto determinado”.

Automático: “Dicho de un mecanismo: Que funciona en todo o en parte por sí solo.”

Según, “World Reference” define a:

Máquina: “Conjunto de mecanismos dispuestos para producir, aprovechar o regular una energía motriz”.

Automático: “Mecanismo que funciona en todo o en parte por sí mismo”

De esta manera se define Máquina Automática: Conjunto de mecanismos combinados dispuestos a convertir un tipo de energía a otro para producir un efecto, fenómeno o proceso determinado sin la iteración humana.

**Tabla 2. 1**

**Tipo de operación de la máquina**

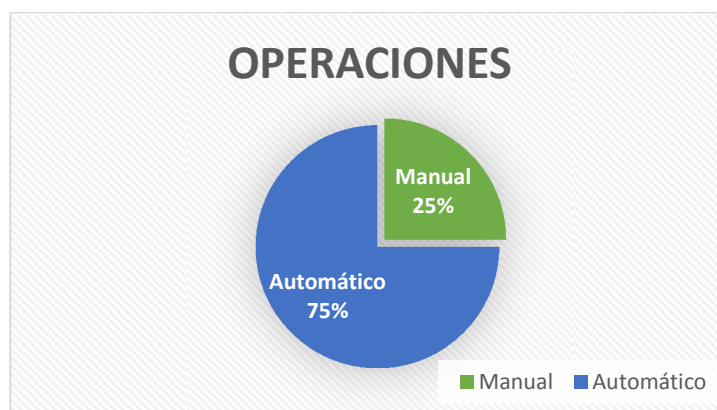
OPERACIÓN	MANUAL/AUTOMÁTICO
Colocar el autoparte en el soporte principal	Manual
Control de nivel y temperatura del agua.	Automático
Sumergir el autoparte	Automático
Control de posición del autoparte	Automático
Manipulación del autoparte dentro del agua	Automático
Elevar el autoparte a la posición programada	Automático
Retroalimentación del agua	Automático
Retirar el autoparte del soporte principal	Manual

Sin embargo, la presente tesis diseña una Máquina Semi-Automática. Entiéndase por Máquina Semi-Automática: Conjunto de mecanismos combinados dispuestos a convertir un tipo de energía a otro para producir un efecto, fenómeno o proceso determinado con la iteración humana en algunas acciones y en otras desarrolladas por si solas.



Al considerar la definición, es importante precisar las operaciones de la máquina, es decir las acciones realizadas por agentes, y los procedimientos automáticos. La tabla 2. 1 define los tipos de operaciones que realiza la máquina

De acuerdo con el tipo y el número de operaciones se define la máquina en:



**Fig. 2. 3.- Porcentaje de operaciones manual/automático de la máquina**

## **2.4. DEFINICIÓN DEL PROCESO DE LA MÁQUINA.**

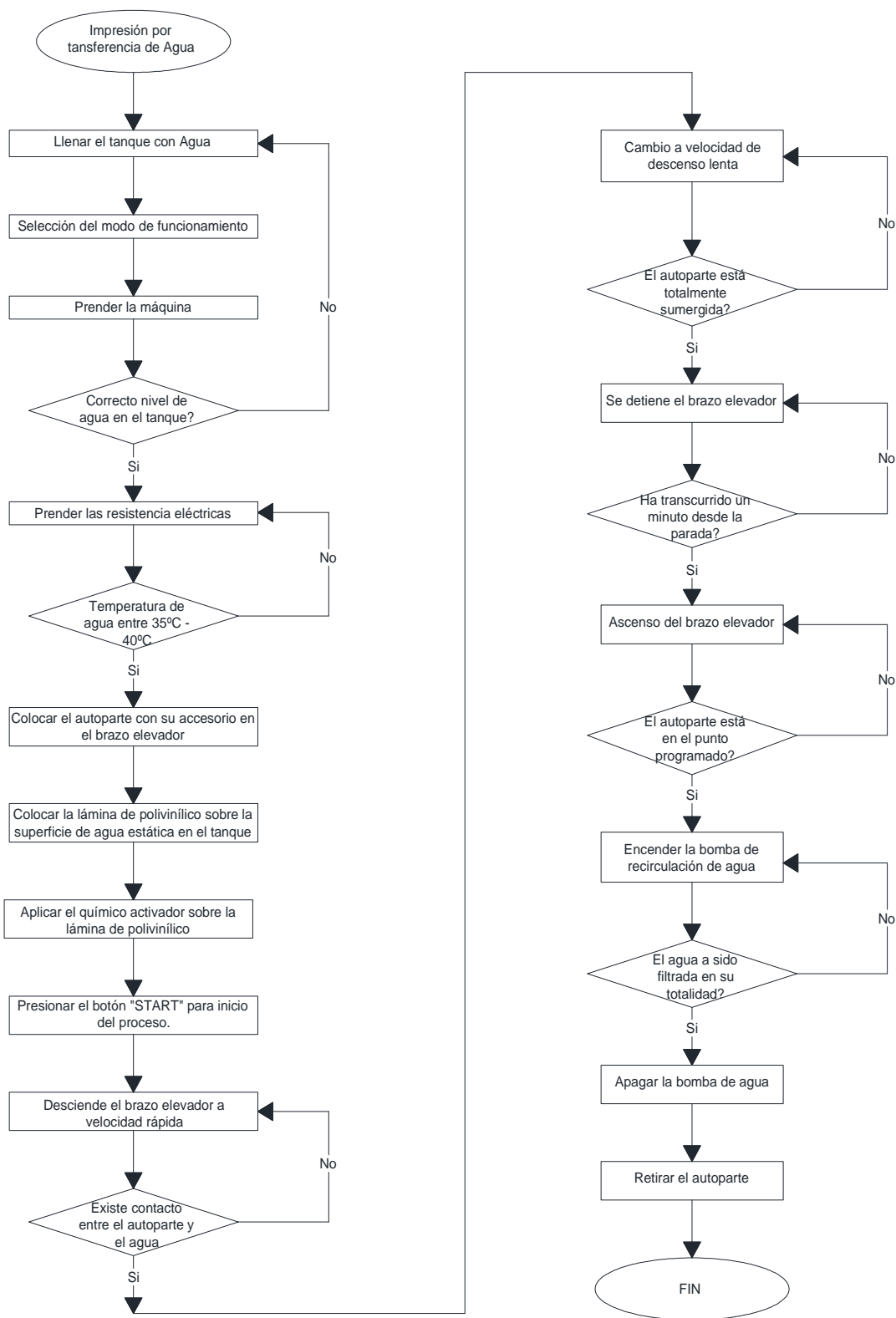
La máquina de impresión por transferencia de agua garantiza el nivel de agua en el tanque, para obtener sobresalientes resultados se debe acceder a una temperatura de agua "ideal", con esto se avala la correcta impresión del gráfico en la superficie del cuerpo.

Consecuentemente al cumplir las dos condiciones anteriores, el operador presiona el botón de "START", posteriormente el elemento desciende a una velocidad óptima, es decir constante y controlada, la máquina mueve el autoparte al ser sumergida a menor velocidad constante con el fin de garantizar la perfecta adherencia de la lámina a la superficie.

A continuación la máquina eleva el autoparte hasta la posición programada.

Finalmente, la tarea de la máquina también es filtrar las impurezas que quedan en la superficie del agua después de haber realizado un proceso para lo cual enciende el sistema de recirculación de agua pasando por un filtro, atrapando los residuos.

## 2.5. DIAGRAMA DE FLUJO



**Fig. 2. 4.- Diagrama de flujo de la máquina de impresión por transferencia de agua**

## **2.6. SISTEMAS PRESENTES EN LA MÁQUINA.**

El correcto funcionamiento de la máquina de impresión por transferencia de agua depende de los subsistemas que la componen.

### **2.6.1. CALENTAMIENTO DE AGUA**

#### **2.6.1.1. Por energía solar**

A través de la instalación de paneles se aprovecha la energía térmica de los rayos solares para transferir al agua y poder calentarla.

#### **2.6.1.2. Por calderas**

Se calienta agua mediante la combustión de combustibles líquidos livianos y/o gaseosos.

#### **2.6.1.3. Por serpentín.**

El serpentín es una tubería capaz de soportar altas temperaturas, absorbe energía térmica de elementos en contacto a temperatura mayor.

#### **2.6.1.4. Por resistencias eléctricas o niquelinas.**

Las niquelinas son resistencias eléctricas que convierten la energía eléctrica en térmica.

#### **2.6.1.5. Por energía geotérmica.**

Usa la energía calórica del interior de la tierra y la traslada al agua través de un serpentín.

### **2.6.2. SISTEMA DE ELEVACIÓN DEL AUTOPARTE**

#### **2.6.2.1. Tornillo de potencia**

Convierte el movimiento rotacional a en lineal.

#### **2.6.2.2. Cilindros neumáticos.**

Se puede utilizar la carrera del pistón neumático para elevar elementos.

### **2.6.2.3. Piñón cremallera**

Convertir el movimiento rotacional a desplazamiento lineal.

## **2.6.3. TIPOS DE CONTROL**

### **2.6.3.1. Control ON/OFF**

Es un sistema de control básico, es un sistema de dos posiciones encendido apagado.

### **2.6.3.2. Control Proporcional (P)**

Es un control que es proporcional a la señal de error.

### **2.6.3.3. Control Proporcional Integral (PI)**

El valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud del mismo, (error acumulado)

### **2.6.3.4. Control Proporcional Derivativo (PD)**

El control derivativo mide la entrada instantánea del error en función del tiempo, prediciendo que tan grande será la sobre excitación del sistema aplicando las correcciones apropiadas antes de que se presente.

### **2.6.3.5. Control Proporcional Integral Derivativo (PID)**

Este tipo de control es la combinación del control proporcional, integral y derivativo reuniendo las tres ventajas y siendo el tipo de control más óptimo.

## **2.6.4. ELEMENTOS PARA CONTROL DEL PROCESO**

### **2.6.4.1. Control Lógico Programable (PLC)**

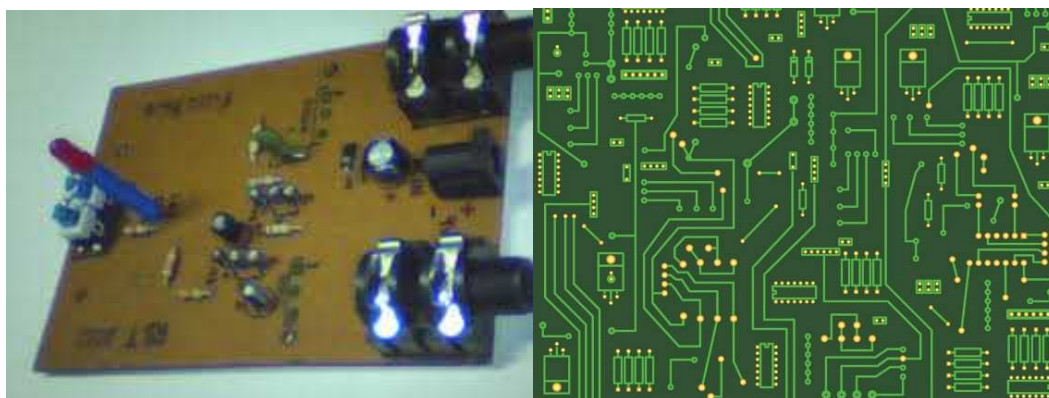
“Es un sistema para control basado en un procesador y elementos necesarios para que este procesador opere de forma conveniente”. (Domingo&Gámiz&Grau&Martínez, 2003, p. 126)

“Es un elemento de control de procesos de propósito general amoldable a prácticamente todas las situaciones en las que se requiere una automatización.” (Domingo&Gámiz&Grau&Martínez, 2003, p. 128)

Es un elemento robusto que en su interior posee una tarjeta electrónica con procesador, memoria, tarjeta de red, entradas digitales, analógicas (depende del modelo) y salidas tipo relé para el control de actuadores básicamente.

#### **2.6.4.2. Tarjetas programables de control.**

Son tarjetas diseñadas para un propósito específico que depende de los requerimientos del usuario. Su construcción puede ser de forma “artesanal (manual)” o de forma industrial.



**Fig. 2. 5.- Placa con manufactura “Artesana” e industrial**

**Recuperado de: [www.superpcb.com](http://www.superpcb.com)**

Otra opción es adquirir tarjetas comerciales como por ejemplo “Arduino”, sin embargo se debe diseñar una placa para la etapa de potencia, protección y el respectivo acondicionamiento de señal dependiendo de actuadores o sensores a utilizar como complemento para el total control de un proceso industrial

## 2.7. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS Y FUNCIONAMIENTO.

### 2.7.1. CONCEPTOS BÁSICOS

#### 2.7.1.1. Presión Hidrostática

Cuando un líquido está en equilibrio (reposo), contenido en cualquier recipiente considera que en el fondo el líquido soporta sobre sí el peso del que contiene encima. Al sumergir en cualquier líquido un cuerpo, este soporta una presión que será directamente proporcional a la densidad del líquido, la gravedad y de la altura de sumergimiento (Khouri, 2004, p.255), calculando la magnitud de la presión hidrostática por la siguiente fórmula:

$$P_H = \delta * g * h \quad (\text{Ec. 2. 1})$$

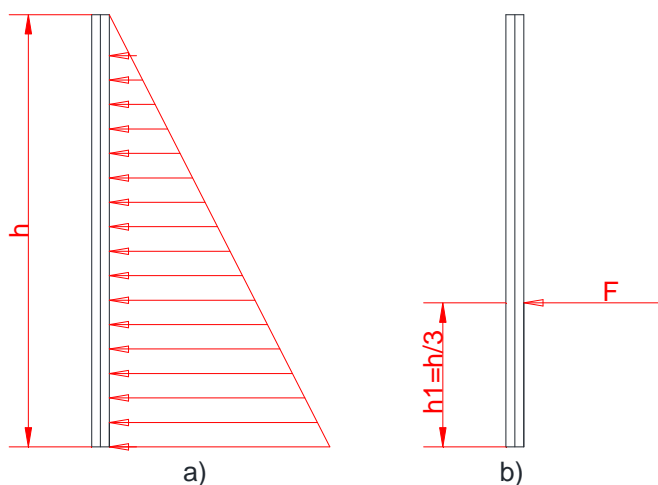
Donde:

$P_H$ : Presión hidrostática.

$\delta$ : Densidad del líquido

$h$ : Altura de sumergimiento medida desde la superficie del líquido.

#### 2.7.1.1.1. Distribución de fuerzas en pared vertical plana



**Fig. 2. 6.- Distribución de la fuerza en la pared vertical plana.**

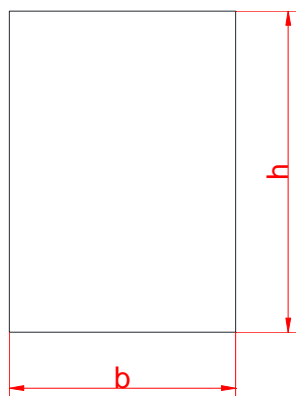
La presión hidrostática varía de acuerdo a la altura del líquido que se encuentra sobre determinado punto, por lo tanto la fuerza en una pared vertical se halla uniformemente distribuida como indica Fig.2.5, literal a.

Una carga teórica puntual es la fuerza equivalente que se encuentra ubicada a un tercio de su altura como lo indica Fig.2.5 literal b), (Mott, 1996, p. 88) para el cálculo de esta se utiliza la siguiente fórmula:

$$F = \frac{1}{2} * P_H * A \quad (\text{Ec. 2. 2})$$

Donde:

A: El área donde actúa la presión hidrostática total.



**Fig. 2. 7.- Dimensiones del área para cálculo de presión**

$$A = b * h_r \quad (\text{Ec. 2. 3})$$

Donde:

b: Base del área donde actúa la presión hidrostática total

h<sub>r</sub>: Altura del área donde actúa la presión hidrostática

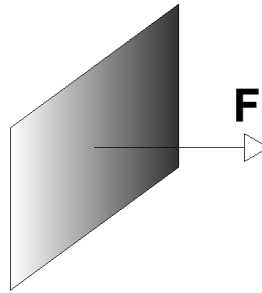
### **2.7.1.2. Esfuerzos**

Se define esfuerzos a la distribución de fuerzas que actúan en un punto sobre la superficie la cual tendrá componentes normales y tangenciales, a esta distribución se la llama esfuerzo normal (se lo representa con la letra,  $\sigma$ ,

sigma), y cortante (se lo representa con la letra  $\tau$ , tau) respectivamente. (Juvinal, 1991, p. 169)

#### 2.7.1.2.1. Esfuerzo normal

**Tracción o compresión:** La carga es perpendicular a la superficie



**Fig. 2. 8.- Representación de esfuerzo a tracción**

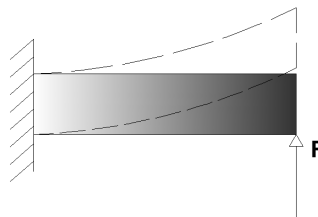
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 2. 4})$$

Donde:

F: Fuerza o carga a tracción o a compresión.

A: Área en donde se aplica la fuerza.

**Flexión:** Fuerza que tiende a curvar o a flexionar al elemento



**Fig. 2. 9.- Representación de esfuerzo de flexión**

$$\sigma = \frac{M * Y}{I} \quad (\text{Ec. 2. 5})$$

Donde:

M: Momento Flector

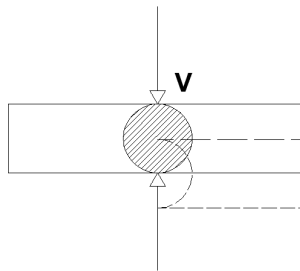


I: Inercia respecto al eje de flexión

Y: Distancia de flexión desde el eje neutro hasta el punto en el cual se desea saber el esfuerzo.

#### 2.7.1.2.2. Esfuerzo cortante

**Puro:** Fuerza cortante aplicada al elemento



**Fig. 2. 10.- Representación de esfuerzo cortante puro**

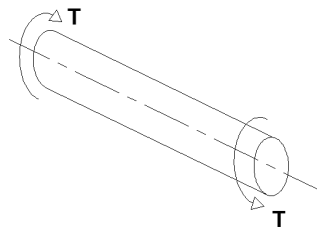
$$\tau_v = \frac{V}{A} \quad (\text{Ec. 2. 6})$$

Donde:

V: Fuerza cortante.

A: Área del elemento sometido

**Torsión:** Cualquier momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico.



**Fig. 2. 11.- Representación de esfuerzo de torsión**

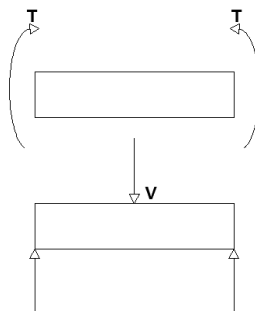
$$\tau_t = \frac{T}{Q} \quad (\text{Ec. 2. 7})$$

Donde:

T: Torque aplicado al elemento.

Q: Módulo polar de la sección.

**Transversal:** Para elementos mecánicos sometidos a flexión.



**Fig. 2. 12.- Representación de esfuerzo transversal**

$$\tau_L = \frac{K * V}{A} \quad (\text{Ec. 2. 8})$$

Donde:

K: Constante de esfuerzo máximo debido a la flexión.

#### 2.7.1.2.3. Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo (T.E.C.M)

Una vez determinados los Esfuerzos principales  $\sigma_x$  y  $\tau_{xy}$  el esfuerzo cortante máximo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ) está dado por:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_x^2} \quad (\text{Ec. 2. 9})$$

Cumpliendo que:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y^{**}}{2} \quad (\text{Ec. 2. 10})$$

Donde:

$S_y^{**}$ : Esfuerzo de fluencia calculado

Con la condición de:

$$S_y^{**} < S_y$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia real del material.

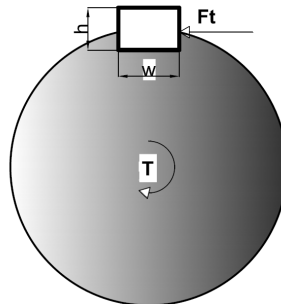
#### 2.7.1.2.4. Concentradores de Esfuerzos

Teóricamente se puede diseñar elementos regulares y uniformes (en material) sin embargo los elementos mecánicos reales por cuestiones de diseño, generalmente, requieren ser geoméricamente irregulares como chaveteros, ranuras para anillos de seguridad o de diferente volumen, estas irregularidades producen que el elemento mecánico sea más vulnerable en esas zonas llamadas concentradores de esfuerzos. (Juvinal, 1991, p. 172 )

##### 2.7.1.2.4.1. Cuñas

Son elementos utilizados para transmitir potencia desde o hacia un eje. Las cuñas van colocadas en ranuras fabricadas en lo ejes llamadas chaveteros. Las proporciones estándar exigen el ancho de la cuña sea aproximadamente de un cuarto el diámetro del eje. (Estándar ANSI B117.1). Los valores usuales para el concentrador de esfuerzos en chaveteros oscilan entre:  $K_t=1.3$  y  $K_t=2.0$ . Para el cálculo de esfuerzos se considera el valor del diámetro del eje. (Juvinal, 1991, p. 259)

##### 2.7.1.2.4.2. Esfuerzos en Cuñas



**Fig. 2. 13.- Fuerza tangencial aplicada a la cuña**

El torque que resistirá la cuña de acuerdo a Juvinall “El par de torsión que puede transmitirse con el cortante de la cuña es similar al producto del esfuerzo limitante, área y radio”. (1991, p. 173)

$$T = \frac{0,58 * S_y * L_c * d^2}{8} \quad (\text{Ec. 2. 11})$$

Donde:

T: Torque aplicado.

d: Diámetro del eje.

2.7.1.2.4.3. Esfuerzo por comprensión en cuñas:

$$\sigma_a = \frac{2F_t}{h * L} \quad (\text{Ec. 2. 12})$$

2.7.1.2.4.4. Esfuerzo cortante en cuñas:

$$\tau_v = \frac{F_t}{w * L} \quad (\text{Ec. 2. 13})$$

Donde:

F<sub>t</sub>: Fuerza tangencial producida por el torque aplicado

w: El ancho de la chaveta.

h: El alto de la chaveta.

L: La profundidad de la Chaveta.

2.7.1.2.4.5. Factor de seguridad de la chaveta:

$$\sigma_a = \frac{S_y}{F.S.} \quad (\text{Ec. 2. 14})$$

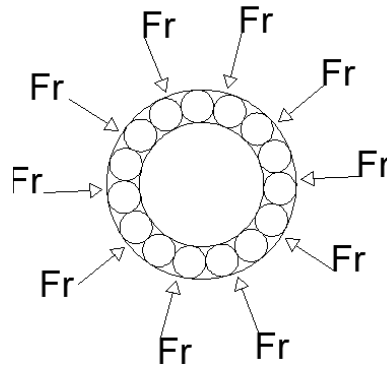
F.S.: Factor de seguridad de la chaveta.

### 2.7.1.3. Rodamientos

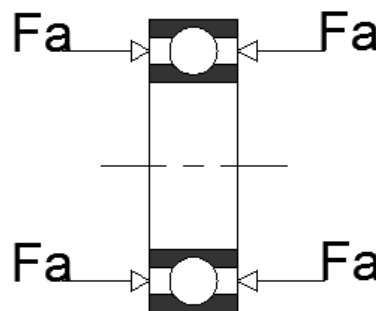
Los rodamientos son elementos mecánicos utilizados para conectar dos partes móviles que se encuentran en rotación, una respecto a la otra baja

parámetros de carga, su objetivo es reducir la fricción a su mínimo valor entre estas. (Juvinal, 1991, p. 452)

#### 2.7.1.3.1. Cargas en rodamientos:



**Fig. 2. 14.- Cargas radiales en rodamientos**



**Fig. 2. 15.- Cargas axiales en rodamientos**

#### 2.7.1.3.2. Clasificación de rodamientos:

Por la carga que soportan (cargas radiales, axiales, combinadas)

Por sus elementos de rodadura (de bola, de cilindro)

#### 2.7.1.3.3. Selección de rodamientos. (FAG, 2000)

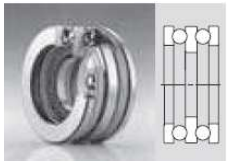

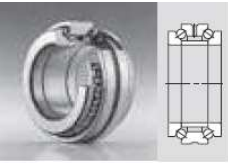
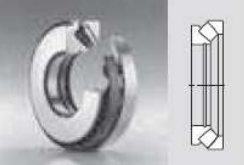
En esta sección se hace una comparación entre la carga que soporta el rodamiento y la requerida, para se debe diferenciar entre un rodamiento para una aplicación estática o dinámica.

Tabla 2. 2

## Clasificación de rodamientos

Nombre de rodamiento	Gráfico	Nombre de rodamiento	Gráfico
Rodamiento rígido de bolas		Rodamiento de rodillos cilíndricos de una hilera	
Rodamiento de una hilera de bolas de contacto angular		Rodamiento de rodillos cilíndricos de doble hilera	
Rodamiento de bolas de contacto angular de doble hilera		Rodamiento de rodillos cilíndricos lleno de rodillos	
Rodamiento con cuatro caminos de rodadura		Rodamiento de rodillos cónicos	
Rodamiento oscilante de bolas		Rodamiento oscilante de rodillos de una hilera	
Rodamiento axial de bolas, de simple efecto		Rodamiento oscilante tipo E	

 Continúa

Rodamiento axial de bolas de doble efecto		Rodamiento axial de rodillos cilíndricos	
Rodamiento axial de bolas de contacto angular, de doble efecto		Rodamiento axial oscilante de rodillos.	

Fuente: (FAG, 2000)

#### 2.7.1.3.3.1. Aplicación estática. (FAG, 2000, p. 54)

Una aplicación es estática si el movimiento relativo entre los aros del rodamiento es nula o demasiado lente ( $n < 10 \text{ min}^{-1}$ ). La relación de  $C_0$  y  $P_0$  indica si la selección es la correcta.

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} \quad (\text{Ec. 2. 15})$$

Donde:

$f_s$ : Factor de esfuerzos estáticos.

$C_0$ : Capacidad de carga estática.

$P_0$ : Carga estática equivalente.

De acuerdo a la aplicación se debe obtener los valores de  $f_s$  con los siguientes parámetros:

#### 2.7.1.3.3.2. Carga estática equivalente:

$$P_0 = X_0 * F_r + Y_0 * F_a \quad [KN] \quad (\text{Ec. 2. 16})$$

Donde:

$F_r$ : Carga Radial. [KN]

$F_a$ : Carga Axial. [KN]

$X_0$ : Factor Radial.

$Y_0$ : Factor Axial.

Los valores de  $X_0$  y de  $Y_0$  son valores dados por el fabricante de rodamientos.

**Tabla 2. 3**

**Factor de esfuerzo estático para rodamientos**

Factor de esfuerzos estáticos	Rango	Tipo de exigencia
$f_s$	1.5-2.5	Elevada exigencia
$f_s$	1.0-1.5	Exigencia normal
$f_s$	0.7-1.0	Reducida exigencia.

Fuente: (FAG, 2000)

2.7.1.3.3.3. Aplicación dinámica

Basando el documento en la norma DIN/ISO281 se parte de la fatiga del material con los siguientes parámetros.

2.7.1.3.3.4. Vida útil.

Los rodamientos están sometidos a esfuerzos pese a cumplir con especificaciones de carga, lubricación y montaje adecuado. Para evitar daños en la máquina se necesita hacer un mantenimiento preventivo reemplazando ciertos elementos, como los rodamientos, que han cumplido su vida útil. Para esto se utiliza:

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [10^6 \text{ revoluciones}] \quad (\text{Ec. 2. 17})$$

Donde:

$L_{10} = L$ : Vida nominal [10<sup>6</sup> revoluciones]

$C$ : Capacidad de carga dinámica [KN]



P: Carga dinámica equivalente [KN]

p: Exponente de vida.

El exponente de vida p es de 3 para rodamientos de bolas y de 10/3 para rodamientos de rodillos. (FAG, 2000, p.56)

Los valores C están dados por el fabricante del rodamiento,

#### 2.7.1.3.3.5. Carga dinámica equivalente

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad [KN] \quad (\text{Ec. 2. 18})$$

Donde:

$F_r$ : Carga Radial. [KN]

$F_a$ : Carga Axial. [KN]

X: Factor Radial.

Y: Factor Axial.

Los valores de X y de Y son valores dados por el fabricante de rodamientos.

#### 2.7.1.4. Tornillos de potencia

De acuerdo con Juvinal, son conocidos también como “Accionadores Lineales o tornillos de translación de movimiento”. Son dispositivos mecánicos utilizados para convertir un movimiento angular, ya sea del tornillo o de la tuerca, en desplazamiento lineal transmitiendo por lo general fuerza o potencia. Sus principales aplicaciones son utilizadas para: (1991, p. 425)

- Obtener gran ventaja mecánica con el objetivo de levantar peso, gatos mecánicos.
- Ejercer fuerza en gran magnitud, prensas y máquinas de prueba a la tensión.
- Obtener un posicionamiento preciso, tornillo micrométrico.
- Producir un movimiento relativamente lento y controlado a lo largo del eje del tornillo, tornillo de avance de tornos.

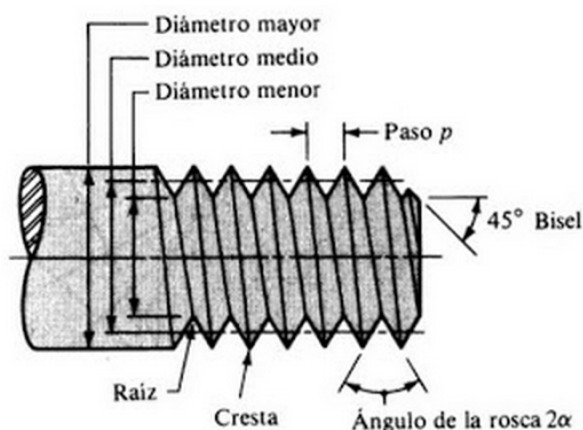
- Recorrido libre y autobloqueo, elevadores mecánicos.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta aspectos importantes al considerar como opción a un tornillo de potencia:

- Trabajan con un elevado roce entre tornillo y rosca.
- Pérdida de energía producto del rozamiento.
- Elevado desgaste.
- Calentamiento entre tuerca y tornillo.

Para elevar la vida útil del mecanismo y contrarrestar los aspectos mencionados es importante la correcta selección y aplicación de un material de lubricación.

Se utilizará la siguiente terminología de la rosca del tornillo ilustrado en la Fig. 2.15



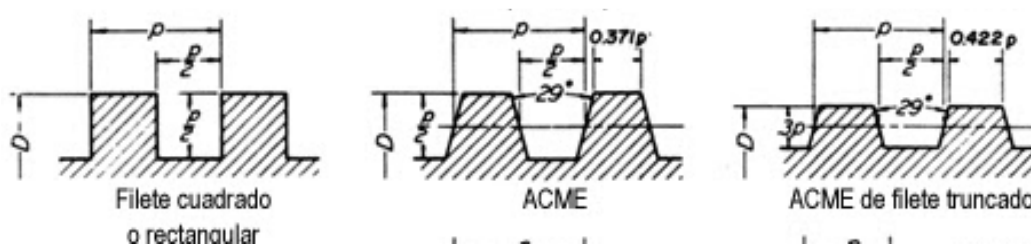
**Fig. 2. 16.- Terminología para tornillos de potencia**

**Fuente: (Juvinall, 1991, p. 421)**

- $p$ , (paso).- Distancia media entre las crestas de dos hilos adyacentes medida en forma paralela al eje de la rosca.
- $l$ , (avance).- Distancia lineal paralela al eje de la roca que avanza un punto del tornillo al girar una vuelta completa.
- $d$ , (diámetro mayor).- es el diámetro más grande de la rosca de un tornillo.

- $d_m$ , (diámetro menor).- es el diámetro más pequeño de la rosca de un tornillo.
- $d_p$ , (diámetro de paso).- diámetro teórico cuyo valor está entre el valor del diámetro menor y diámetro mayor.

Los tornillos de potencia utilizan 3 tipos de roscas de acuerdo a su aplicación y diversos grados de precisión considerando tolerancias.



**Fig. 2. 17.- Roscas utilizadas para tornillos de potencia**

**Fuente: (Juvinall, 1991, p. 418)**

**Tabla 2. 4**

**Ventajas de los diferentes tipos de rosca de tornillos de potencia**

<b>Rosca de Filete Cuadrado o rectangular</b>	<b>Rosca ACME</b>	<b>Roscas ACME de filete Truncado</b>
<p>Eficiencia ligeramente mayor que otro tipo de rosca, no son muy comunes por la dificultad al maquinar debido al ángulo de 0°.</p>	<p>Son las más antiguas sin embargo se continúan usando. Capacidad para usar una tuerca dividida en un plano axial utilizadas para compensar el desgaste de la rosca.</p>	<p>Es utilizada algunas veces debido a la facilidad de tratar térmicamente tornillos con un paso grande con una rosca poco profunda.</p>

Las rocas debido a su ajuste se dividen en 3 clases, la clase 1 representa un ajuste más flojo y tolerancias más grandes, mientras la clase 3 representa un ajuste más apretado y una tolerancia más baja. Siendo más costosos de fabricarlos los tornillos de clase 3. (Juvinall, 1991, p. 456)

#### 2.7.1.4.1. Diámetro del tornillo de potencia.

En el caso de conocer la fuerza neta que el tornillo de potencia eleva, se debe determinar que elemento se estará sometido a un mayor desgaste, por lo general se diseña el conjunto para que el tornillo de potencia no sufra mayor desgaste, todo daño se lo somete a la tuerca. La siguiente ecuación determinará el diámetro medio del tornillo tomando considerando los materiales que estarán hechos estos. El cálculo se lo realiza en base a la resistencia de la tuerca.

$$d_m \geq \sqrt{\frac{2 * W}{\pi * \varphi * S_{d-ap}}} \quad (\text{Ec. 2. 19})$$

Donde:

$d_m$ : Diámetro medio del tornillo

$W$ : Carga que elevará el tornillo

$\varphi$ : Constante del cuerpo de la tuerca

#### Tabla 2. 5

##### Valores de $\varphi$ de rosca ACME establecidos para las opciones de tuerca

Constante	Rango	Opciones de tuerca
$\varphi$	1,8 a 2,5	Tuerca de una pieza
	2,5 a 3,5	Tuerca dividida

Fuente: (Dobrovoslki, 1970, p. 287)

$S_{d-ap}$ : Esfuerzo permisible para el conjunto

Tabla 2. 6

**Esfuerzo permisible para diferentes conjuntos tuerca-tornillo**

Esfuerzo permisible	Rango	Opciones de tuerca
$S_{d-ap}$	12 a 20 MPa	Tornillo de acero y tuerca de bronce
	80 MPa	Tornillo de acero y tuerca de hierro fundido

Fuente: (Dobrovoslki, 1970, p. 288)

## 2.7.1.4.2. Par de torsión para elevar una carga.

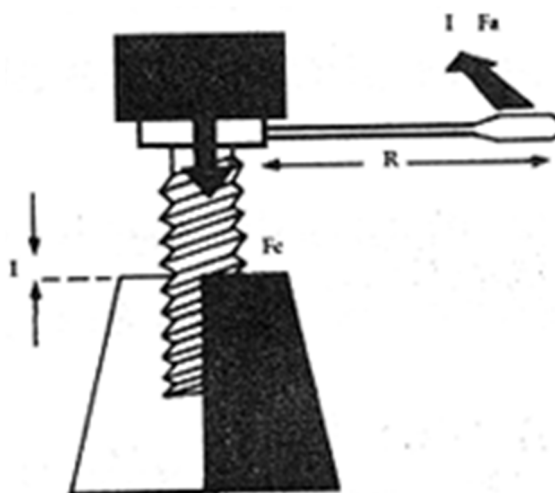
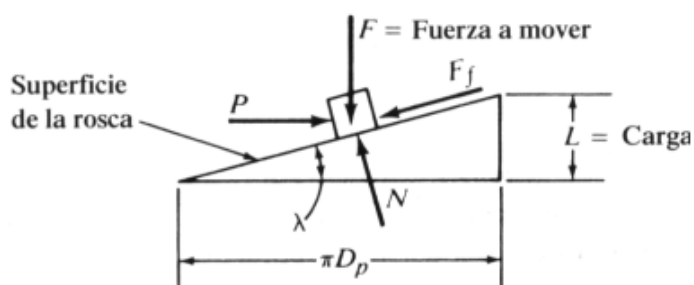


Fig. 2. 18.- Esquema de tornillo de potencia para elevar cargas

Fuente: (Dobrovoslki, 1970, p. 213)

Al utilizar un tornillo de potencia para elevar una carga es indispensable conocer la magnitud del par de torsión aplicado, sea a la tuerca o al tornillo. Al aplicar el par de torsión al tornillo y sin permitir a la tuerca rotar, el conjunto transformará el par en una fuerza lineal para desplazar a un objeto. (Juvinall, 1991, p. 214)

La Fig.2.18 es la representación en un plano si se desenrolla una vuelta completa de la rosca del tornillo



**Fig. 2. 19.- Diagrama de cuerpo libre de la tuerca sobre el tornillo de potencia**

**Fuente: (Dobrovoski, 1970, p. 214)**

Donde se obtiene la relación:

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi * dp} \quad (\text{Ec. 2. 20})$$

El par de torsión para elevar una carga se calcula mediante:

$$T_s = \frac{W * d_m}{2} \left( \frac{\pi * \mu * d_m + L}{\pi * d_m - \mu * L} \right) \quad (\text{Ec. 2. 21})$$

Donde:

$T_s$ : Par de torsión necesario para elevar una carga [Lb. pulg]

$W$ : Carga a mover [Lb]

$\mu$ : Coeficiente de rozamiento entre el tronillo de potencia y la turca.

$d_m$ : Diámetro de paso

De la misma manera en que se aplica un par de torsión para elevar una carga, se necesita aplicar un par de torsión para descenderla. Para este cálculo se considera  $P$  y  $F$  en sentido contrario.

$$T_b = \frac{W * d_m}{2} \left( \frac{\pi * \mu * d_m - L}{\pi * d_m + \mu * L} \right) \quad (\text{Ec. 2. 22})$$

Para considerar coeficientes de rozamiento  $\mu$  se debe considerar varios factores como los materiales del tornillo y de la tuerca, lubricación, acabado

superficial, tolerancia, alineación, distribución de carga. La Tabla 2.5 muestra valor a considerar en el diseño del tornillo de potencia.

**Tabla 2. 7**

**Valor del coeficiente de rozamiento entre tornillo y la tuerca con diferentes materiales**

<b>Tuerca</b> <b>Tornillo</b>	<b>Acero</b>	<b>Latón</b>	<b>Bronce</b>	<b>Hierro vaciado</b>
<b>Acero(seco)</b>	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
<b>Acero(lubricado)</b>	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
<b>Bronce</b>	0.08-0.12	0.04-0.60	-	0.06-0.09

**Fuente: (Deutshman&Michels&Wilson, 1975, p. 325)**

El ángulo  $\lambda$  de avance cumple un papel de vital importancia para el diseño del tornillo de potencia debido a que depende de este para obtener un conjunto auto-trabante, es decir que necesita de un par de torsión positivo para que pueda descender la carga, o de recorrido libre, la carga puede descender por efecto de la gravedad y necesita de un torque para que la carga no descienda.

Si el objetivo es obtener un conjunto de autobloqueo o auto-trabante entonces deberá cumplir con la siguiente condición:

$$\mu \geq \tan \lambda \quad (\text{Ec. 2. 23})$$

$$\mu \geq \frac{L}{\pi * d_m}$$

#### 2.7.1.4.3. Eficiencia de tornillos de potencia.

La eficiencia se puede calcular al relacionar el par de torsión ideal (sin tomar considerar el rozamiento) con al par de torsión real. De esta manera:

$$\eta = \frac{T_i}{T_s} \quad (\text{Ec. 2. 24})$$

Donde:

$T_i$ : Par de torsión ideal.

$$e = \frac{1 - \tan \lambda}{1 + \cot \lambda} \quad (\text{Ec. 2. 25})$$

#### 2.7.1.4.4. Esfuerzos estáticos en tornillos de potencia.

Se consideran por separado a los diversos esfuerzos a los cuales están sometidos estos elementos.

##### 2.7.1.4.4.1. Torsión

Esfuerzo torsional:

$$\tau = \frac{T * c}{J} = \frac{16 * T}{\pi * d_m^3} \quad (\text{Ec. 2. 26})$$

Donde:

$d_m$ : Diámetro menor.

$T$ : Torque aplicado

##### 2.7.1.4.4.2. Esfuerzo cortante hilos en contacto.

Budynas y Nisbett consideran el filete como una viga en voladizo y, consecuentemente, el esfuerzo cortante máximo sería 1,5 veces el esfuerzo promedio. (2008, p. 246)

$$\sigma = \frac{3 * W}{2 * A_{ba}} \quad (\text{Ec. 2. 27})$$

Donde:

$A_{ba}$ : Área proyectada.

Para el tornillo:

$$A_{ba} = \pi * d_m * W_i * p * n_f \text{ siendo } 1 \leq n_f \leq \frac{L_T}{p} \quad (\text{Ec. 2. 28})$$



Para la tuerca:

$$A_{ba} = \pi * D * W_o * p * n_f \text{ siendo } 1 \leq n_f \leq \frac{L_T}{p} \quad (\text{Ec. 2. 29})$$

**Tabla 2. 8**

**Coeficiente para diferentes tipos de roscas**

Tipo de filete	$W_i$	$W_o$
UNS/ISO	0,8	0,88
Cuadrada	0,5	0,5
ACME	0,77	0,63
Diente de sierra	0,90	0,83

**Fuente: (Dobrovoslki, 1970, p. 215)**

p: Avance del tornillo.

Los esfuerzos cortantes en los filetes de la tuerca y del tornillo no deben sobrepasar los valores permisibles o de diseño.

2.7.1.4.4.3. Resistencia de flexión entre hilos en contacto.

Los filetes actúan como vigas en voladizo soportando una carga transversal distribuida, analizando el caso este puede fallar debido a la flexión. El esfuerzo máximo de flexión se calcula con:

Para el tornillo:

$$S_{yTO}^* = \frac{3 * W * h}{\pi * d_m * n_f * (W_i * p)^2} \quad (\text{Ec. 2. 30})$$

Para la tuerca:

$$S_{yTU}^* = \frac{3 * W * h}{\pi * D * n_f * (W_o * p)^2} \quad (\text{Ec. 2. 31})$$

Donde:

h: Altura de trabajo del filete.

**Tabla 2. 9**

**Altura de trabajo del filete**

Tipo de Filete	h
Cuadrada	p/2
ACME	p/2
Diente de sierra	0,663p

**Fuente: (Dobrovoski, 1970, p. 216)**

Los esfuerzos normales en los filetes de la tuerca y del tornillo no deben sobrepasar los valores permisibles o de diseño.

2.7.1.4.4.4. Aplastamiento en hilos en contacto.

Los filetes del tornillo y de la tuerca soportan una fuerza  $W$  de aplastamiento a lo largo de toda la superficie en contacto, el esfuerzo de compresión de los flancos se calcula a con:

$$\sigma = \frac{W}{\pi * d_m * h * n_f} \quad (\text{Ec. 2. 32})$$

Los esfuerzos de aplastamiento en los filetes de la tuerca y del tornillo no deben sobrepasar los valores permisibles o de diseño.

2.7.1.4.4.5. Espesor de la tuerca.

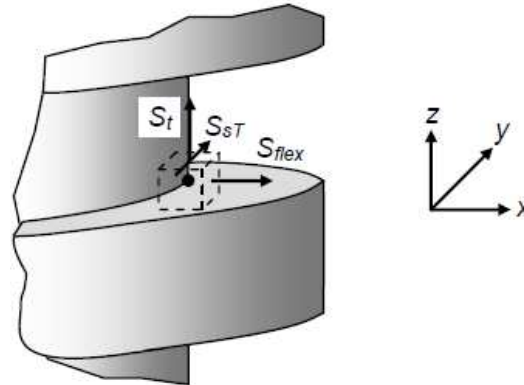
R. Juvinall recomienda que el espesor estándar de la tuerca debe ser aproximadamente  $\frac{7}{8} * D$ .(1991, p. 422) Por otro lado Norton sugiere: (1999, p.322)

$$L_T \geq 0,5 * d, \text{ para roscas ACME con } d \leq 1[\text{p}|\text{g}]$$

$$L_T \geq 0,6 * d, \text{ para roscas ACME con } d > 1[\text{p}|\text{g}]$$

#### 2.7.1.4.4.6. Resistencia a la fatiga del tornillo de potencia.

Se usará el método de Von Mises para esfuerzo multiaxial simple.



**Fig. 2. 20.- Estado de esfuerzo en la raíz del filete**

**Fuente: (Dobrovoski, 1970)**

$$S_{XX} = S_{flex} = \frac{3 * W * h}{\pi * d_r * n_f * (W_i * p)^2} \quad (\text{Ec. 2. 33})$$

$$S_{YY} = 0 \quad (\text{Ec. 2. 34})$$

$$S_{ZZ} = \frac{W}{A_t} \quad (\text{Ec. 2. 35})$$

$$S_{sXY} = 0 \quad (\text{Ec. 2. 36})$$

$$S_{sZX} = 0 \quad (\text{Ec. 2. 37})$$

$$S_{sYZ} = S_{sT} = \frac{16 * T}{\pi * d_r^3} \quad (\text{Ec. 2. 38})$$

Las componentes del esfuerzo medio son:

$$S_{XXm} = \frac{3 * W_m * h}{\pi * d_r * n_f * (W_i * p)^2} \quad (\text{Ec. 2. 39})$$

$$S_{ZZm} = \frac{W_m}{A_t} \quad (\text{Ec. 2. 40})$$

$$S_{sYZm} = \frac{16 * T_m}{\pi * d_r^3} \quad (\text{Ec. 2. 41})$$

Las componentes del esfuerzo alternativo son:

$$S_{XXa} = \frac{3 * W_a * h}{\pi * d_r * n_f * (W_i * p)^2} \quad (\text{Ec. 2. 42})$$

$$S_{ZZa} = \frac{W_a}{A_t} \quad (\text{Ec. 2. 43})$$

$$S_{sYZa} = \frac{16 * T_a}{\pi * d_r^3} \quad (\text{Ec. 2. 44})$$

Donde  $F_m$  y  $F_a$  son las fuerza axial media y alternativa respectivamente, al igual que  $T_m$  y  $T_a$  son el torque medio y alternativo respectivamente que actúan en el tornillo.

Los esfuerzos planteados deben ser multiplicados por el correspondiente factor de concentrador de esfuerzo a la fatiga resultando:

$$\sigma_{XXm} = K_{fm(M)} * S_{XXm} \quad (\text{Ec. 2. 45})$$

$$\sigma_{ZZm} = K_{fm(W)} * S_{ZZm} \quad (\text{Ec. 2. 46})$$

$$\tau_{YZm} = K_{fm(T)} * S_{sYZm} \quad (\text{Ec. 2. 47})$$

$$\sigma_{XXa} = K_{ff(M)} * S_{XXa} \quad (\text{Ec. 2. 48})$$

$$\sigma_{ZZa} = K_{ff(W)} * S_{ZZa} \quad (\text{Ec. 2. 49})$$

$$\tau_{YZa} = K_{ff(T)} * S_{sYZa} \quad (\text{Ec. 2. 50})$$

Donde:

$K_{fm}$ : Factor de concentración de esfuerzo medio a la fatiga

$K_{ff}$ : Factor de concentración de esfuerzo a la fatiga para vida finita

Los subíndices M, W, T, para los factores mencionados indica que corresponden a flexión, carga axial, y torsión, respectivamente.

Para hallar el esfuerzo medio y alternativo equivalente se usará la Teoría de la Energía de Distorsión.

$$\sigma_{me} = \sqrt{\sigma_{XXm}^2 + \sigma_{ZZm}^2 - \sigma_{XXm} * \sigma_{ZZm} + 3 * \tau_{SYZm}^2} \quad (\text{Ec. 2. 51})$$

$$\sigma_{ae} = \sqrt{\sigma_{XXa}^2 + \sigma_{ZZa}^2 - \sigma_{XXa} * \sigma_{ZZa} + 3 * \tau_{SYZa}^2} \quad (\text{Ec. 2. 52})$$

El factor de seguridad se comprobará con la aproximación de Goodman en la teoría de fallas.

$$\frac{\sigma_{ae}}{S_y} + \frac{\sigma_{me}}{S_u} = \frac{1}{F.S.} \quad (\text{Ec. 2. 53})$$

El esfuerzo máximo equivalente ( $\sigma_{maxe}$ ) de Von Mises puede calcular obviando los valores de concentradores de esfuerzos siempre que el tornillo este fabricado con un material dúctil de este modo:

$$\sigma_{maxe} = \sqrt{S_{XX}^2 + S_{ZZ}^2 - S_{XX} * S_{ZZ} + 3 * S_{SYZ}^2} \quad (\text{Ec. 2. 54})$$

#### 2.7.1.4.4.7. Cargas columnares en tornillos de potencia.

En el diseño de tornillos de potencia se debe considerar la carga axial de compresión causante de la inestabilidad elástica y el pandeo en el tornillo como principal causa de falla.

##### 2.7.1.4.4.7.1. Factores de pandeo.

- Fijación de los extremos
- Dimensiones de la sección transversal del tornillo.
- Longitud del tornillo.

##### 2.7.1.4.4.7.2. Fijación de los extremos

Se refiere a forma de soporte de los extremos considerando las siguientes opciones:

$$Le = K * L \quad (\text{Ec. 2. 55})$$

Donde:

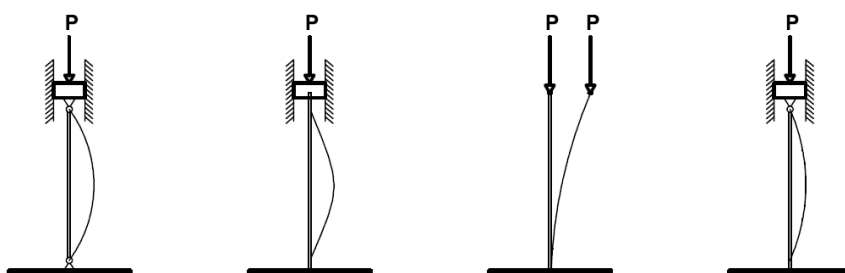
Le: Longitud efectiva del tornillo

K: Constante de acuerdo a la fijación de los extremos del tornillo

L: Longitud original del tornillo

**Tabla 2. 10**

**Factor K para cargas columnares**



Valores	Articulada- Articualda	Empotrada- empotrada	Empotrada- Libre	Empotrada- Articulada
Teóricos	K=1	K=0,5	K=2	K=0,7
Prácticos	K=1	K=0.65	K=2,1	K=0,8

**Fuente: (Mott, 2006, p. 245)**

2.7.1.4.4.8. Análisis de columnas. (Mott, 2006, p. 146)

2.7.1.4.4.8.1. Columnas largas: Fórmula de Euler

Calcula la carga máxima antes de pandearse el tornillo con la fórmula:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * A}{(K * \frac{L}{r})^2} \quad (\text{Ec. 2. 56})$$

Donde:

E: Módulo de Elasticidad del material del tornillo

A: Área de la sección transversal

r: Radio de Giro.

La columna comienza a pandearse respecto al eje para el cual la inercia y el radio de giro son mínimos.

$$r = \sqrt{\frac{i}{A}} \quad (\text{Ec. 2. 57})$$

2.7.1.4.4.8.2. Columnas cortas: Fórmula de J. B. Johnson.

Calcula la carga máxima antes de pandearse el tornillo con la fórmula:

$$P_{cr} = A * S_y \left[ 1 - \frac{S_y (K * \frac{L}{r})^2}{4 * \pi^2 * E} \right] \quad (\text{Ec. 2. 58})$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia de fluencia del material.

### 2.7.1.5. Tanques de almacenamiento para líquidos

A recipientes que se usan en plantas industriales para almacenamiento o procesamiento de sustancias, sean líquidas o gaseosas se los denomina tanques.

Los tanques más utilizados pueden clasificarse de acuerdo a su forma geométrica

Recipientes abiertos

- Tanques abiertos.
- Tanques de pared plana.

Recipientes cerrados

- Tanques cilíndricos verticales, fondo plano.
- Tanques cilíndricos verticales y horizontales con cabezas formadas.
- Tanques esféricos.

#### 2.7.1.5.1. Criterios de diseño para tanques

Los tanques sometidos a grandes esfuerzos producto del volumen y la presión de almacenamiento pueden fallar en servicio, por tanto es necesario identificar las causas de fallas más relevantes.

- Deformación elástica excesiva.
- Inestabilidad elástica.
- Deterioro químico del material.

#### 2.7.1.5.2. Cálculo de espesor de la placa de tanques de pared plana

$$t = 2.45 * L * \sqrt{\frac{\alpha * H * 0.036 * G}{S}} \quad (\text{Ec. 2. 59})$$

Donde:

t: Espesor de la placa.

L: Largo del tanque.

H: Alto del tanque.

G: Gravedad específica del líquido.

$\alpha$ : Factor de relación H/L.

#### 2.7.1.6. “Teoría de placas planas”(Seely, 1954)

La teoría de placas planas se utilizará para el cálculo del espesor de la placa, tomando como valor medio el resultado de los dos siguientes casos.

##### 2.7.1.6.1. Placas con bordes simplemente apoyados

El esfuerzo máximo en la placa se encuentra en sus ejes diagonales donde está su área crítica determina por:

$$\sigma = \frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{p * b^2}{t^2} \quad (\text{Ec. 2. 60})$$



Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo en la placa (Pa)

t: Espesor de la placa (m)

p: Carga distribuida (N/m<sup>2</sup>)

a: Lado mayor de la placa (m)

b: Lado menor de la placa (m)

#### 2.7.1.6.2. Placas con bordes totalmente apoyados

El esfuerzo máximo en la placa se da en los ejes centrales en forma de cruz (área crítica). Para determinar este esfuerzo se hallará en primera instancia el momento máximo:

$$M_{m\acute{a}x} = n * p * b^2 \quad (\text{Ec. 2. 61})$$

Donde:

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento máximo de la placa (N/m)

p: Carga distribuida (N/m<sup>2</sup>)

b: Lado menor de la placa (m)

n: Coeficiente de momento Fig. 2. 13.

#### 2.7.1.6.3. Esfuerzo máximo para la placa

$$\sigma = \frac{6 * M_{m\acute{a}x}}{t^2} \quad (\text{Ec. 2. 62})$$

#### 2.7.1.7. Rigidizador intermedio

Son utilizados en el diseño de elementos con perfiles y/o chapa metálica que tiene como objetivo reforzar zonas críticas dadas por placas de reducido espesor. (Maldonado, 2006)

Para el cálculo del esfuerzo en la placa con rigidizadores intermedios se calculará con la misma metodología utilizada en **“Placas con bordes totalmente apoyados”**

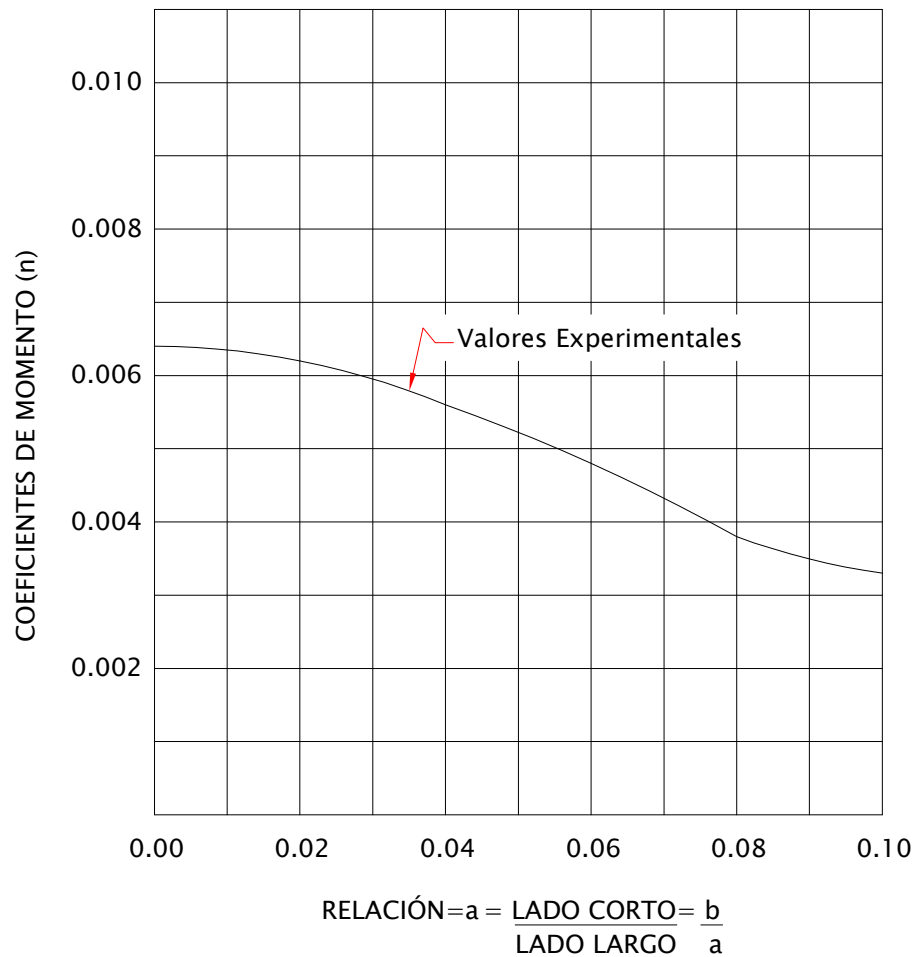
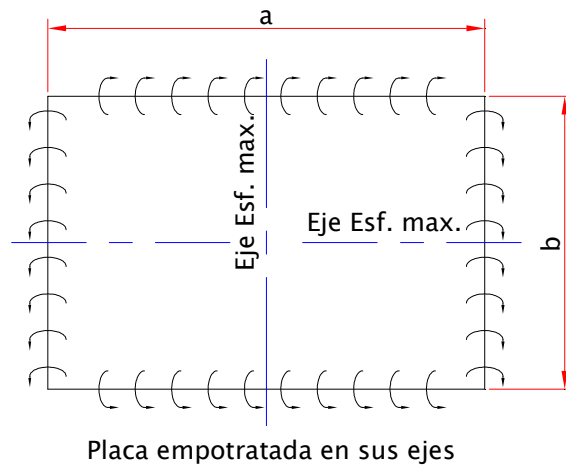


Fig. 2. 21.- Esquema para cálculo de coeficiente de momento.

Fuente: (Seely, 1954, p. 229)

#### 2.7.1.7.1. Selección de rigidizadores para placas planas

En la selección de rigidizadores se aplicará el método de cálculo de una viga simplemente apoyada en sus dos extremos, el momento máximo de flexión estará dado por la siguiente fórmula:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{W * L^2}{8} \quad (\text{Ec. 2. 63})$$

Donde:

W: Carga lineal distribuida en la viga

L: Longitud del rigidizador

El esfuerzo de trabajo de las vigas sometidas a flexión se calculará con:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} * C}{I} \quad (\text{Ec. 2. 64})$$

Donde:

C: Distancia del eje neutro al hacia el punto más lejano

I: Inercia del perfil seleccionado

#### 2.7.1.8. Soldadura

La soldadura es un proceso para unir dos elementos del mismo o de diferente material de acuerdo a la factibilidad, para sujetar un elemento a otro o en el caso de fabricantes de partes, es más económico hacer una pieza soldando a otra que fundirla o manufacturarla. La tabla 2. 3 muestra la soldabilidad de varios materiales. (Juvinal, 1991, p. 463)

Tabla 2. 11

## Soldabilidad de metales comunes

Metal		Arco	Gas
Acero al carbono	Contenido medio y bajo de C	G <sup>a</sup>	G
	Alto contenido de C	G	F <sup>C</sup>
	Acero para herramientas	F	F
Acero fundido, simple, al carbono		G	G
Hierro fundido gris y de aleación		F	G
Hierro maleable		F	F
Acero de baja aleación alta resistencia	Ni-Cr-Mo y Ni-Mo	F	F
	Otros más	G	G
Acero inoxidable	Cromo	G	F
	Cromo-Níquel	G	G
Aluminio y aleación de Al.	Comercial puro	G	G
	Aleación Al-Mn	G	G
	Aleación Al-Mg-Mn y Al-Si-Mg	G	F
	Aleación Al-Cu-Mg-Mn	F	X
Aleación de magnesio		X <sup>b</sup>	G
Cobre y aleación de cobre	Cobre desoxidado. Electrolítico	F	G
Bronce comercial, latón rojo, latón de bajo contenido de Zn		G	F



Continúa

Latón para resortes, metal almirantazgo, latón amarillo comercial.	F	G
Metal muntz, latón naval bronce al magnesio	F	G
Bronce fosforado, bronce para cojinetes y metal para campanas	G	G
Bronce de aluminio	G	F
Cuproberilio	G	-
Níquel y aleaciones de níquel	G	G
Plomo	X	G

**Fuente: (Juvinall, 1991, p. 465)**

<sup>a</sup>G- Bueno, uso común.

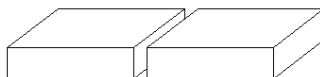
<sup>b</sup>X- No se usa.

<sup>c</sup>F- aceptable; ocasionalmente se usa bajo condiciones favorables.

#### 2.7.1.8.1. Tipo de uniones.

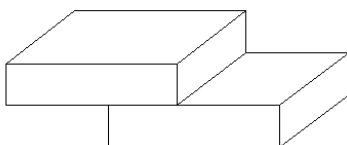
Existen 5 tipos diferentes de integrar dos partes en una sola clasificadas de la siguiente manera:

##### **Unión empalmada:**



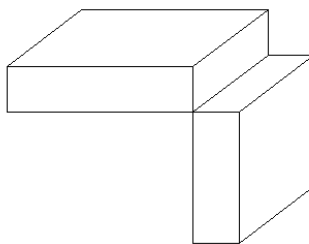
**Fig. 2. 22.- Unión empalmada**

##### **Unión superpuesta:**



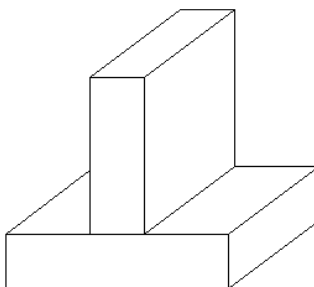
**Fig. 2. 23.- Unión Superpuesta**

**Unión de esquina:**



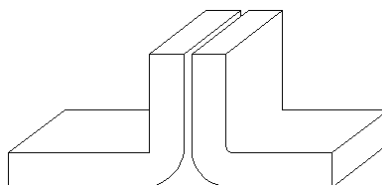
**Fig. 2. 24.- Unión de esquina**

**Unión en T:**



**Fig. 2. 25.- Unión en T**

**Unión de borde:**



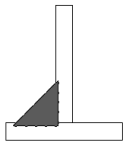
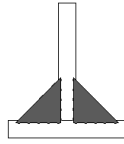








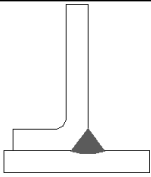
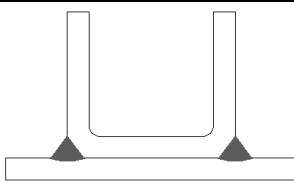
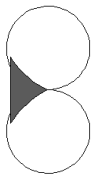

**Fig. 2. 26.- Unión de borde**

2.7.1.8.2. Tipos de soldadura

Los tipos de soldadura más comunes son soldaduras de filete y soldaduras de ranura, mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 2. 12

## Tipos de soldadura

	Sencilla	Doble
Filete		
Cuadrada		
Ranura de bisel		
Ranura en V		
Ranura en J		
Ranura de bisel en llama		
Ranura en V en llama		

Fuente: (Juvinal, 1991, p. 467)

2.7.1.8.3. Esfuerzos en soldaduras.

2.7.1.8.3.1. Torsión:

La torsión produce una fuerza cortante  $V$  y un momento  $M$

La fuerza cortante produce un cortante primario  $\tau'$  dado por:

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (\text{Ec. 2. 65})$$

Donde:

A: Área de la garganta de la soldadura.

V: Fuerza cortante.

El momento produce un esfuerzo cortante secundario  $\tau''$  dado por:

$$\tau'' = \frac{M * r}{J} \quad (\text{Ec. 2. 66})$$

Donde:

r: Centroide del grupo de soldadura hasta el punto de interés.

J: Segundo momento polar de inercia del grupo de soldadura.

M: Momento producido.

El segundo momento polar de inercia se calcula mediante:

$$J = 0.707 * h * Ju \quad (\text{Ec. 2. 67})$$

Donde:

Ju: Momento polar de inercia unitario.

h: Medida del cateto

#### 2.7.1.8.3.2. Flexión:

El esfuerzo cortante nominal en la garganta de un elemento en voladizo soldado a un soporte mediante soldadura de filete en la parte superior e inferior está dado por:

$$\tau = \frac{M * c}{I} \quad (\text{Ec. 2. 68})$$

Donde:

I: Momento de inercia.

c: Distancia al centro del grupo de soldadura.



### 2.7.1.9. Transferencia de calor

La energía se puede transferir mediante la interacción de sistemas con su entorno, en busca del equilibrio térmico, la energía que se transmite debido a una variación de temperatura se denomina transferencia de calor. La transferencia se puede realizar de diferentes maneras. (Moran&Howard, 2004, p.187)

#### 2.7.1.9.1. Consideraciones de diseño.

Con el objetivo de realizar un correcto cálculo se debe considerar los siguientes factores:

- Tipo y propiedades del fluido a calentar
- Tiempo total de calentamiento
- Temperatura inicial y de funcionamiento
- Peso del fluido a calentar
- Peso del contenedor
- Pérdidas de calor de la superficie del fluido y contenedor hacia el ambiente.

#### 2.7.1.9.2. Transferencia de calor por conducción.

Flujo de calor a través de medios sólidos. Por ejemplo la transferencia de calor de un extremo de una barra de acero hacia el otro extremo con menor temperatura. (Moran&Howard, 2004, p. 188). Ley de conducción de calor de Fourier:

$$q'' = K * A * \nabla T \quad (\text{Ec. 2. 69})$$

Donde:

$q''$ : El calor transferido.

K: Conductividad térmica

A: Área a través del cual se transfiere el calor

### 2.7.1.9.3. Transferencia de calor por convección.

Es el flujo de calor mediante corrientes dentro de un fluido (líquido o gaseoso).

$$q'' = h * (T_s - T_\infty) \quad (\text{Ec. 2. 70})$$

Donde:

h: Coeficiente de convección.

### 2.7.1.9.4. Transferencia de calor por radiación.

Es el calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura, en este caso no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. (Moran&Howard, 2004, p. 189)

$$q_{rad} = A * h_{rad} * (T_s - T_{ALR}) \quad (\text{Ec. 2. 71})$$

Donde:

$h_{rad}$ : Coeficiente de Radiación.

## 2.7.1.10. Filtros industriales para líquidos

La filtración es un proceso que permite separar partículas sólidas de un líquido a través de un medio filtrante o filtro, este permite a su vez el paso del líquido pero retiene las impurezas sólidas.

### 2.7.1.10.1. Tipos de filtros

De acuerdo con la naturaleza de la fuerza que causa la filtración:

- Filtros de gravedad
- Filtros de presión
- Filtros de vacío.

Según sus características mecánicas:

- Filtros de platos y marcos
- Filtros de tambor rotatorio

- Filtros de discos
- Filtros de lecho de arena y de pre-capas
- Otros.

#### **2.7.1.11. Manómetros**

Es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local

##### **2.7.1.11.1. Tipos de Manómetros**

- Manómetros de membrana
- Manómetros de capsula
- Manómetros diferenciales

## **2.8. DEFINICIÓN DE ELEMENTOS ELECTRICOS Y ELECTRÓNICOS**

En esta sección se define los elementos eléctricos y electrónicos a utilizarse para el diseño del proyecto.

### **2.8.1. CONCEPTOS**

#### **2.8.1.1. Contacto Eléctrico**

Es el estado que resulta al unir dos piezas destinadas a conducir corriente eléctrica.

#### **2.8.1.2. Contacto**

Una parte conductora que coactúa con otra parte conductora para formar o interrumpir un circuito, se puede hablar de contactos de cierre y contactos de apertura.

#### **2.8.1.3. Conexión o cierre**

Significa el establecimiento del contacto eléctrico

#### 2.8.1.4. Desconexión o apertura

Significa la supresión del contacto eléctrico

#### 2.8.1.5. Conmutación

Significa el establecimiento a elección del contacto eléctrico

#### 2.8.1.6. Regulación

Proceso en el cual una magnitud física determinada (la magnitud a regular) se lleva a un valor previamente establecido y se conserva en él. Puede tratarse de magnitudes eléctricas, mecánicas, etc.

#### 2.8.1.7. Aparatos de maniobra

Dispositivos que actúan para unir, interrumpir conmutar o seleccionar uno o más circuitos eléctricos. Estos son:

- Interruptores
- Dispositivos de enchufe
- Reguladores y arrancadores
- Fusibles.
- Pulsadores



**Fig. 2. 27.- Pulsador rasante de diámetro de 22mm**

**Recuperado de: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)**

#### 2.8.1.8. El contactor

Dispositivo designado a cerrar o interrumpir el paso de la corriente en circuitos eléctricos que normalmente funcionan con mandos a distancia.



**Fig. 2. 28.- Contactor trifásico para riel din**

**Fuente: (Schneider)**

2.8.1.8.1. Datos técnicos para la selección de un contactor

2.8.1.8.1.1. Tipo de contactor

Tipo de corriente a conducir, medio de interrupción, método de control.

2.8.1.8.1.2. Valores nominales

**Tabla 2. 13**

**Valores nominales para contactores**

$V_e$	Voltaje nominal de operación
$I_e$	Corriente nominal de operación
$I_{th}$	Intensidad nominal térmica
F	Frecuencia nominal
$V_i$	Tensión nominal de aislamiento

**Fuente: (Viloria, 2011, p. 78)**

2.8.1.8.1.3. Circuito de control y contactos auxiliares

Tipo de corriente y voltaje de operación de la bobina.

#### 2.8.1.8.1.4. Clase de servicio

Servicio de 8 horas: Los contactos permanecen cerrados por un tiempo no superior a 8 horas.

Servicio continuo o ininterrumpido: Los contactos permanecen cerrados por un tiempo superior a 8 horas.

**Tabla 2. 14**

#### Clase de servicio de contactores

Servicio intermitente	Clase 0.03	$3 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$
	Clase 0.1	$12 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$
	Clase 0.3	$30 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$
	Clase 1	$120 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$
	Clase 3	$300 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$
	Clase 10	$1200 \frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}$
Servicio temporal	Los contactos permaneces cerrados hasta alcanzar el equilibrio térmico y luego para alcanzar la temperatura ambiente	

**Fuente: (Viloria, 2011, p. 85)**

#### 2.8.1.8.1.5. Categoría de empleo

Nomenclatura para identificar el tipo de carga que puede manejar el contactor.

#### 2.8.1.9. Resistencia de inmersión

Son actuadores que transforman la corriente eléctrica en temperatura, están en contacto directo con el fluido a calentar.



**Fig. 2. 29.- Resistencias de inmersión.**

Recuperado de: [www.electricfor.es](http://www.electricfor.es)

**Tabla 2. 15**

**Nomenclatura para diferentes tipos de carga en A.C. para el contactor**

Ac.-1	Todos los receptores de corriente alterna con $\text{fp}=0.95$ , cargas no inducidas o poco inducidas
Ac.-2	Arranque, frenado a contra corriente de los motores de anillo, asíncronos de rotor bobinado
Ac.-3	Arranque de motores de jaula (asíncronos) con corte o desconexión del motor lanzado
Ac.-4	Arranque, frenado a contra corriente de los motores de jaula asíncronos con corte o desconexión a motor calado

Fuente: (Viloria, 2011, p. 92)

**Tabla 2. 16**

**Nomenclatura para diferentes tipos de carga en D.C. para el contactor**

Dc.-1	Cargas no inducidas o poco inducidas
Dc.-2	Motores shunt desconexión a motor lanzado
Dc.-3	Motores shunt desconexión a motor calado
Dc.-4	Motores serie desconexión a motor lanzado
Dc.-5	Motores serie desconexión a motor calado

Fuente: (Viloria, 2011, p. 93)

### **2.8.1.10. Bombas eléctricas**

Es un transformador de energía. Recibe, energía mecánica, que procede de un motor eléctrico y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

#### 2.8.1.10.1. Datos técnicos para la selección de una bomba eléctrica

- Fluido a impulsar es puro o con impurezas.
- Selección de una bomba sumergible o de superficie.
- Etapas de la bomba.
- Cálculo de la cabeza de presión.
- Caudal.
- Voltaje y fases de la bomba.

### **2.8.1.11. Motor eléctrico**

#### 2.8.1.11.1. Tipo de motor

Tipo de corriente, en el caso de corriente alterna monofásico, bifásico o trifásico.

#### 2.8.1.11.2. Posición del motor

El motor puede estar en posición horizontal o vertical referente a su eje de transmisión.

#### 2.8.1.11.3. Potencia y velocidad

El motor es una máquina que transforma potencia eléctrica en potencia mecánica.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi) \quad (\text{Ec. 2. 72})$$

Donde:

P: Potencia eléctrica [KW]

V: Voltaje [V]



I: Corriente eléctrica. [Amp]

Cos( $\phi$ ): Factor de potencia

Para la potencia mecánica

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

Donde:

T: Torque [Nm]

n: Velocidad de giro [rpm]

#### 2.8.1.11.4. Grado de protección del motor

Contaminación, presencia de agentes químicos, utilización en lugares abiertos o cerrados, para ello es importante conocer el IP (International Protection) requerido para el motor. La Tabla 2.15 indica los dígitos utilizados para cada especificación de protección.

#### 2.8.1.11.5. Tipo de servicio

Servicio continuo o permanente, corta duración o intermitente.

#### **2.8.1.12. Guardamotor**

Es un elemento de protección específicamente para motores, diseñado para soportar los picos de corriente producido por los motores el instante del arranque.

Tabla 2. 17

## Nomenclatura para protección IP

Protección contra ingreso de cuerpos sólidos			Protección al agua		
Primer índice	Descripción	Alcance de la protección	Segundo índice	Descripción	Alcance de la protección
<b>0</b>	<b>Sin protección</b>	Sin especial protección para personas a un contacto directo de piezas móviles. Sin protección a los equipamientos contra el ingreso de objetos sólidos externos.	<b>0</b>	<b>Sin protección</b>	Sin ninguna protección especial.
<b>1</b>	<b>Protección contra los cuerpos sólidos grandes</b>	Protección contra el contacto accidental de grandes áreas con vida y partes interiores con movimiento, por ejemplo: la parte posterior de la mano. Pero sin protección contra el acceso deliberado del mismo. Protección contra el ingreso de	<b>1</b>	<b>Protección contra el goteo de agua vertical</b>	La cauda vertical de gotas de agua no debe causar daños

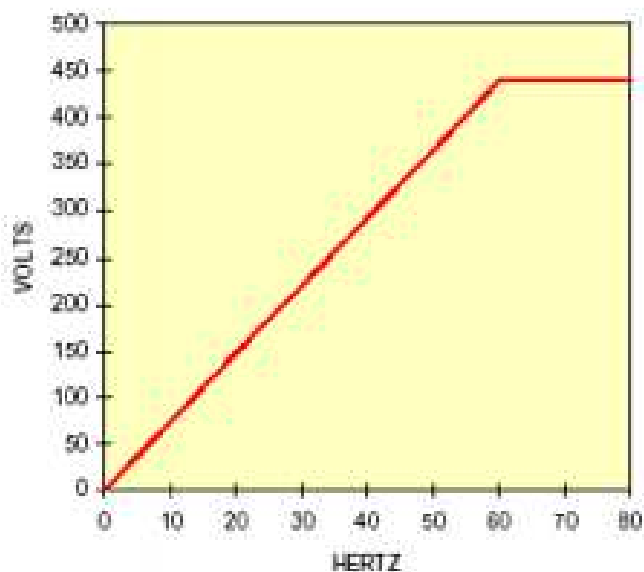
		objetos sólidos con un diámetro mayor que 50mm.			
2	<b>Protección contra los cuerpos sólidos medianos</b>	Protección contra el contacto entre los dedos y las partes interiores móviles. Protección contra el ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor a 12,5mm.	2	<b>Protección contra el goteo de agua inclinada verticalmente</b>	La caída de gotas de agua con hasta un ángulo de 15° de la vertical desde cualquier dirección, no debe causar daño.
3	<b>Protección contra los cuerpos sólidos pequeños</b>	Protección contra el contacto entre las piezas móviles internas y herramientas, cables, hilos... con un espesor mayor a 2,5mm. Protección contra el ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor a 2,5mm.	3	<b>Protección contra agua en spray</b>	La caída de gotas de agua con hasta un ángulo de 60° de la vertical desde cualquier dirección, no debe causar daño. (lluvia)
4	<b>Protección contra los cuerpos sólidos muy pequeños (granulados)</b>	Protección contra el contacto entre las piezas móviles interiores y herramientas, cables, hilos... con un espesor mayor a 1mm. Protección contra el	4	<b>Protección contra las salpicaduras de agua</b>	Las salpicaduras de agua desde cualquier dirección, no deben de causar daños al interior.

		ingreso de objetos sólidos con un diámetro mayor a 1mm.			
5	<b>Protección contra los residuos de polvo</b>	Protección contra el contacto entre las piezas móviles interiores y el ingreso de polvo. El ingreso no se previene completamente, pero el polvo no puede penetrar en tales cantidades que puedan afectar al funcionamiento correcto del mismo	5	<b>Protección contra chorros de agua de cualquier dirección con manguera</b>	Los chorros de agua producidos con manguera y desde cualquier dirección, no deben de causar daño al interior.
6	<b>Protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido (estanqueidad)</b>	Protección total contra el contacto de las piezas móviles interiores. Protección contra cualquier ingreso de polvo.	6	<b>Protección contra inundaciones</b>	La cantidad de agua que se introduzca, en casos de inundación esporádica o temporal, no debe dañar el interior, por ejemplo, los golpes de mar.
			7	<b>Protección contra la inmersión temporal</b>	La cantidad de agua que se introduzca, en caso de sumergir el equipamiento en específicas condiciones de presión entre 1 y 30

		minutos, no debe dañar las piezas internas del mismo.
<b>8</b>	<b>Protección durante inmersión continua</b>	El agua que se pueda introducir, si sumergimos el equipamiento al menos con 2 horas y con una presión de 2 bares (para los racores HelaGuard IP68 No Metálicos) y de 5 horas y con una presión de 5 bares (para los racores HelaGuard IP68 Metálicos), no deben producir daño en el interior.
<b>9k</b>	<b>Protección contra la introducción de agua usando pistolas de limpieza de alta presión</b>	El agua que se introduzca en el interior, producida al utilizar pistolas de limpieza con agua de alta presión, no deben causar daño interior.

### 2.8.1.13. Variador de frecuencia

La velocidad de la flecha del motor a voltaje, frecuencia y carga nominal se conoce como velocidad base, cuando se varía la frecuencia de alimentación al motor por encima o por debajo de 60 Hz, el motor opera por encima o por debajo de la velocidad base. Con la ayuda del variador de frecuencia se puede arrancar un motor sin la necesidad de conexiones extras, existen variadores que tienen la opción para realizar el cambio de sentido de giro del motor.



**Fig. 2. 30.- Relación Voltaje/Frecuencia en variadores**

**Fuente: Alvares, 2000, p. 91**

### 2.8.1.14. PLC (Controlador Lógico Programable)

Es un dispositivo utilizado para controlar procesos, cuenta con elementos de entrada que reciben información desde sensores, procesa la información y es emitida por las salidas del PLC hacia los actuadores.

### 2.8.1.15. Sensores

Dispositivo de instrumentación capaz de detectar magnitudes físicas y transformarlas a variables eléctricas.

### 2.8.1.16. Display

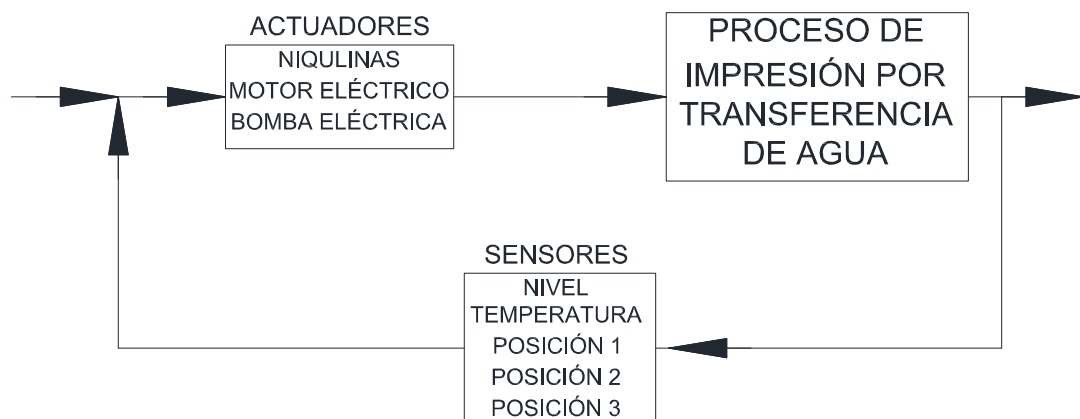
Es un dispositivo de salida o un visualizador que se utiliza para mostrar parámetros de control en un proceso.

## 2.9. DEFINICIÓN SISTEMA MECATRÓNICO

Mecatrónica es la combinación sinérgica de la ingeniería mecánica de precisión, de la electrónica y de los sistemas para el diseño de productos y procesos. (Rietdijk, 2008, p. 62)

Entonces, un sistema mecánico desempeña las siguientes funciones:

- Recibir Señales
- Procesamiento de Señales
- Generar Fuerzas y Movimientos



**Fig. 2. 31.- Sistema mecatrónico de la máquina de impresión por transferencia de agua**





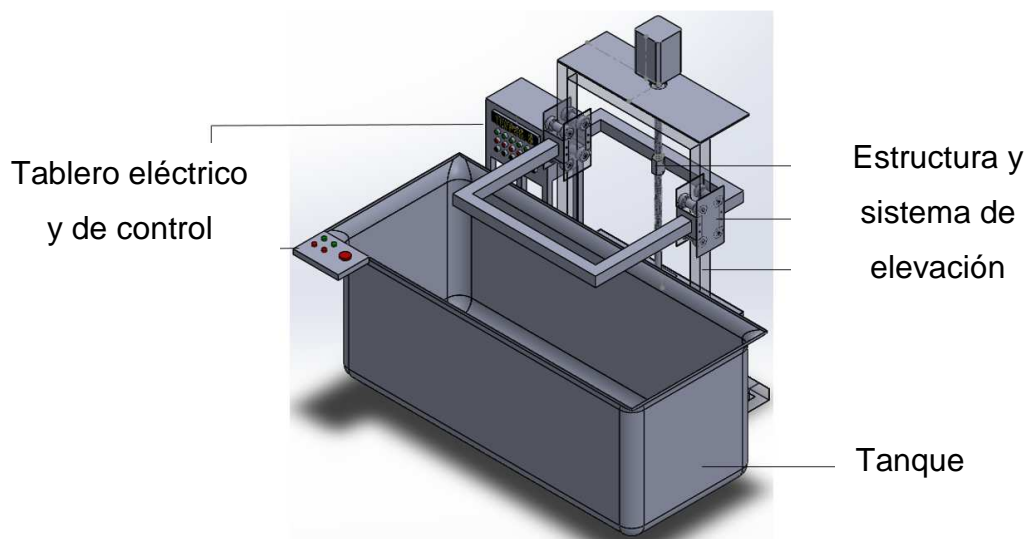
## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y SIMULACIÓN

En el presente capítulo se diseña las partes que se utilizan en la máquina de impresión por transferencia de agua, los cálculos y los criterios para la selección y justificación de cada elemento.

#### 3.1. DISEÑO MECATRÓNICO

Para el diseño la máquina de impresión por transferencia de agua se divide en los siguientes subsistemas.



**Fig. 3. 1.- Esquema general de la máquina de impresión por transferencia de agua**

#### 3.1.1. DISEÑO MECÁNICO

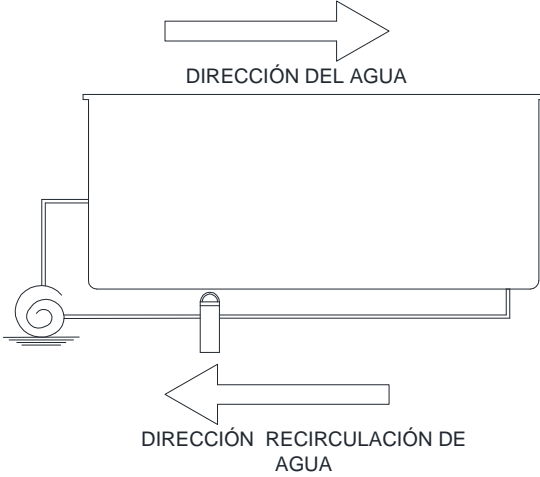
##### 3.1.1.1. Tanque

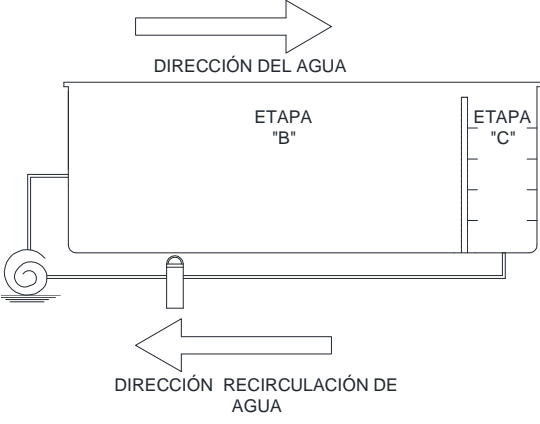
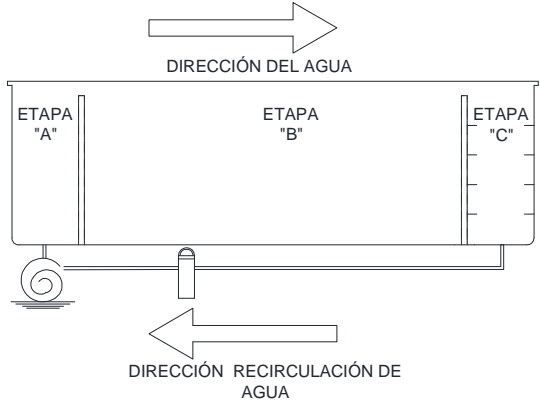
Los requerimientos para garantizar el proceso de impresión por transferencia de agua son:

- La temperatura del agua.
- La superficie del agua debe estar estática.
- No debe existir residuos de láminas de polivinílico durante el proceso.

Tabla 3. 1

## Alternativas de diseño del tanque

	ESQUEMA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alternativa 1		El tanque tiene una sola etapa en la cual se calienta el agua a la temperatura requerida, se realiza la inmersión del autoparte, el filtrado después de cada proceso mediante la recirculación de agua.	Facilidad de manufactura, menor espacio en la planta, menor cantidad de material para la construcción, por ende menor costo de fabricación.	En el instante que ingresa el agua (sea en el llenado o en la recirculación) puede existir ondas en la superficie del agua. Debido a la densidad de la lámina de polivinílico, los residuos flotan y no se garantiza el filtrado necesario para el agua.

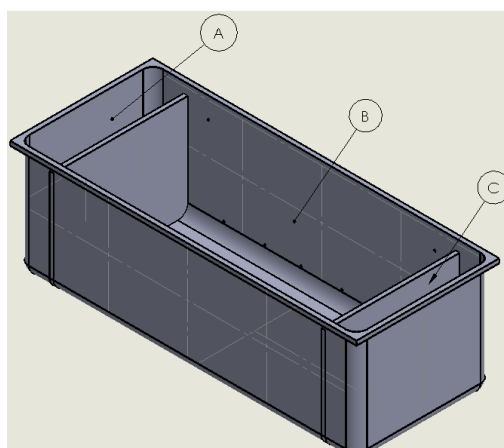
<p>Alternativa 2</p>		<p>El tanque cuenta con 2 etapas: “ETAPA B” por donde ingresa el agua (durante el llenado o durante la recirculación), se calienta el agua a la temperatura requerida y se sumerge el autoparte, y “ETAPA C” en donde es un filtrado por perlón para agua.</p>	<p>2 etapas: en el tanque que garantizan el filtrado del agua.</p>	<p>Durante el llenado y/o la recirculación no se garantiza que la superficie del agua se encuentre estática.</p>
<p>Alternativa 3</p>		<p>El tanque posee 3 etapas: “ETAPA A” por donde ingresa agua (durante el llenado y/o durante la recirculación), “ETAPA B” en donde, se calienta el agua a la temperatura requerida y se sumerge el autoparte, y “ETAPA C” en donde se filtra por perlón el agua.</p>	<p>3 Etapas: Llenado con agua, inmersión del autoparte y filtrado de agua garantizando los requerimientos para el proceso de impresión por transferencia de agua</p>	<p>Mayor espacio en la planta, más material para su construcción por ende el costo es superior a las otras dos alternativas.</p>

**Tabla 3. 2**

**Tabla de ponderación de las alternativas de diseño del tanque**

Parámetros	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Manufactura ( /1 punto)	1	1	0.8
Garantía en el filtrado ( /2 puntos)	0.3	0.5	2
Dimensiones para el autoparte más grande ( /2 puntos)	2	2	2
Total	3.3	3.5	4.8

Se selecciona la Alternativa 3 para el diseño del tanque de la máquina de impresión por transferencia de agua



**Fig. 3. 2.- Etapas del tanque**

El tanque cuenta con tres etapas (Fig. 3. 2)

A. Etapa de llenado.

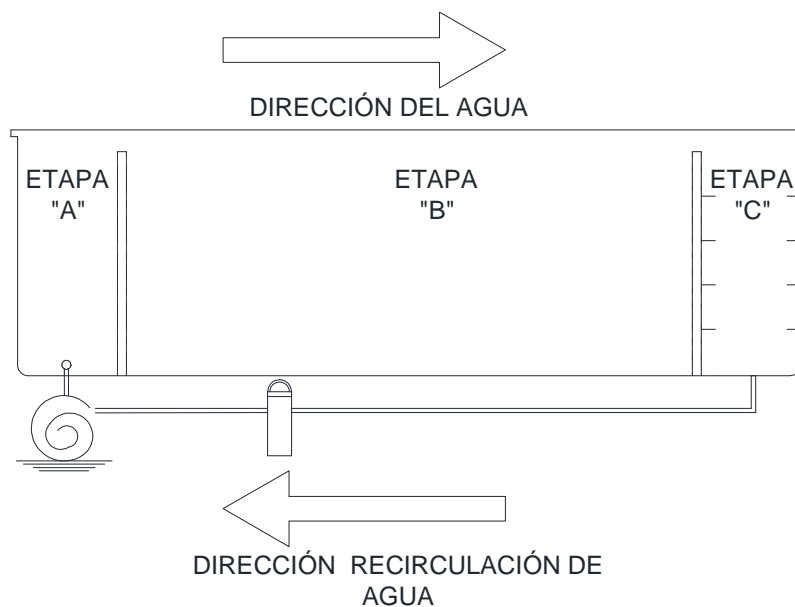
Ingresa el agua desde una fuente externa o por la recirculación de agua.

B. Etapa de inmersión.

El agua está estática, la lámina de polivinílico se posiciona en la superficie del agua, el autoparte es sometido al proceso.

C. Etapa de filtrado por perlón.

El perlón es el encargado de filtrar las partículas más grandes de los residuos de la lámina de polivinílico utilizada en procesos anteriores.



**Fig. 3. 3.- Flujo del agua en el tanque**

El diseño para la etapa de inmersión del autoparte al tanque se considera varios aspectos:

- Dimensiones del autoparte más grande que es sometida.
- Elementos químicos aplicados.
- Temperatura requerida.
- Peso del líquido contenido.

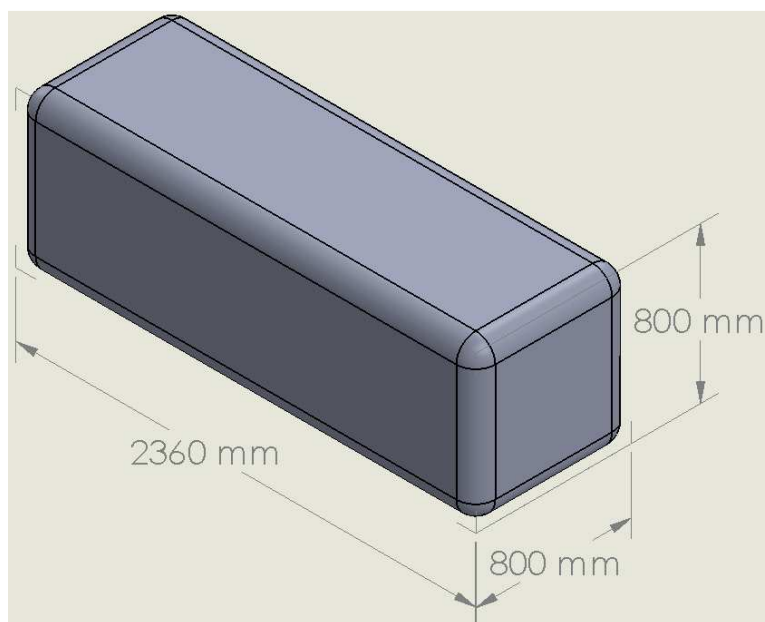
#### 3.1.1.1.1. Dimensionamiento del tanque

El autoparte más grande tiene las siguientes dimensiones:

Largo: 2360[mm]

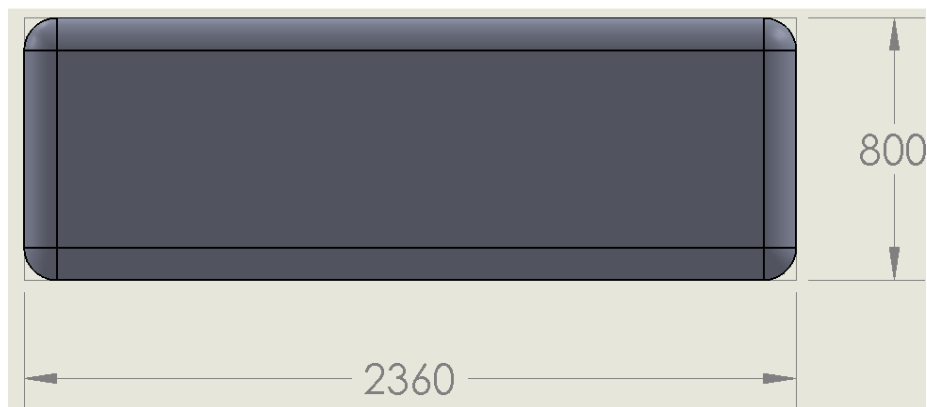
Ancho: 800[mm]

Alto: 800[mm]



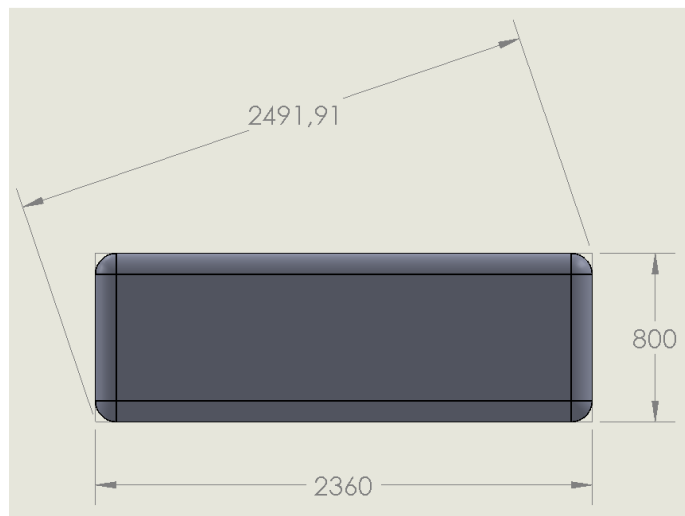
**Fig. 3. 4.- Dimensiones del autoparte más grande**

Considerando la posición horizontal como ideal el instante de sumergir el autoparte, tiene las dimensiones como indica la Fig. 3.5.

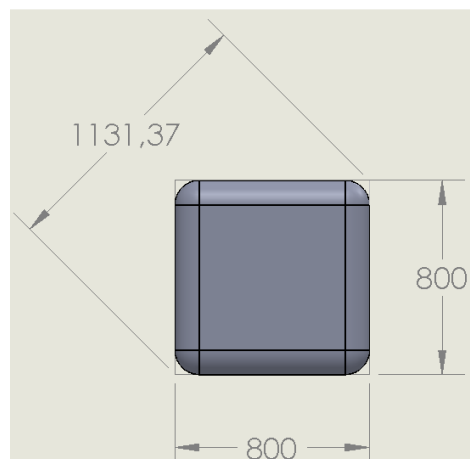


**Fig. 3. 5.- Dimensiones del autoparte en posición horizontal**

Sin embargo el tanque es diseñado para el caso en el que el autoparte sea sumergido inclinado, por lo tanto se dimensiona el tanque de acuerdo a la diagonal de cada cara del autoparte indicadas en las siguientes figuras.



**Fig. 3. 6.- Dimensión de la diagonal vista frontal del autoparte**



**Fig. 3. 7.- Dimensión de la diagonal vista lateral del autoparte**

Tomando en cuenta que los operadores puedan manipular el autoparte dentro del tanque las dimensiones óptimas internas para la “ETAPA B” se define:

Largo: 2600[mm]

Ancho: 1300[mm]

Altura: 1100[mm]

El ancho no cambia en todas las etapas del tanque.

Para las dimensiones de la “ETAPA A” se considera que cuando el agua se distribuye en un área lo suficientemente grande, esta reduce la velocidad del flujo evitando turbulencias y el tiempo en que llega a estar estática tiende a ser menor. En la Tabla 3.3 se calcula el tiempo total en minutos y en segundos en los que la “ETAPA A” se llena completamente, se varía el largo de la etapa al igual que el caudal que suministre la bomba de retroalimentación.

**Tabla 3. 3**

**Tiempo en llenar la “Etapa A” con variación en el largo y el caudal**

Largo (mm)	Ancho (mm)	Profundidad (mm)	Volumen (m3)	Caudal (GMP)	TIEMPO TOTAL LLENADO ETAPA A	
					Min.	Seg.
300	1300	1100	0.429	25	4.534	272.021
				30	3.778	226.684
				35	3.238	194.301
				40	2.834	170.013
				45	2.519	151.123
				50	2.267	136.011
400	1300	1100	0.572	25	6.045	362.695
				30	5.037	302.246
				35	4.318	259.068
				40	3.778	226.684
				45	3.358	201.497
				50	3.022	181.347
500	1300	1100	0.715	25	7.556	453.369
				30	6.297	377.807
				35	5.397	323.835
				40	4.723	283.355
				45	4.198	251.871
				50	3.778	226.684

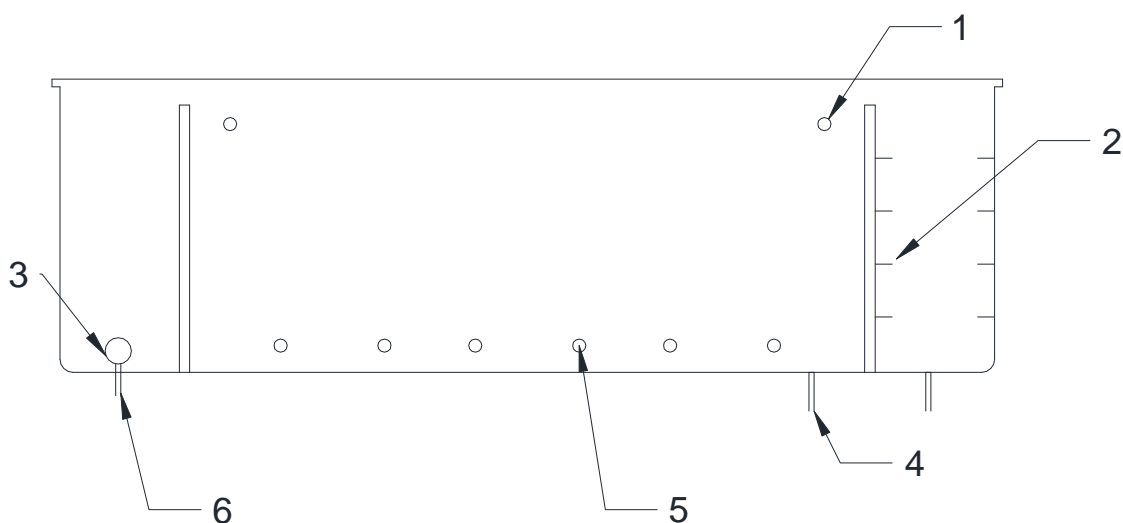
Se selecciona el largo de la “ETAPA A” de 300 [mm] por el factor de tiempo máximo de llenado. En el caso de requerir la máquina para una nueva



operación es indispensable que tarde el menor tiempo posible en estar preparada para ser usada nuevamente.

Para mantener una simetría en el tanque se asigna el mismo largo en la "ETAPA C". El perlón ubicado en esta área es el encargado de retener las partículas más grandes de los residuos de cada proceso.

#### 3.1.1.1.2. Elementos del tanque:



**Fig. 3. 8.- Elementos del tanque**

**Tabla 3. 4**

#### Descripción de los elementos del tanque

Ítem	Elemento	Descripción
1	Sensores de temperatura y nivel	Necesarios para el control y requerimientos del proceso
2	Soportes para perlón para filtrado	Soportes de acero inoxidable, ubicados en las paredes laterales del tanque en la etapa de filtrado.
3	Tubería con orificios laterales para varias salidas	Evita que el agua salga del tanque producto de la presión suministrada por la bomba.

➔ Continúa

4	Conexión para salida de agua	Es el drenaje del tanque ubicado en cada etapa.
5	Sistema de calentamiento de agua.	Necesario para alcanzar la temperatura óptima del agua para el proceso
6	Conexión para recirculación de agua	Conexión entre la "Etapa C" y la "Etapa A" del tanque para la recirculación de agua.

### 3.1.1.1.3. Selección del material para construcción del tanque

Para contener agua se puede realizar la construcción del tanque en diferentes materiales incluyendo plástico, polipropileno, fibra de vidrio, acero galvanizado y acero inoxidable

**Tabla 3. 5**

### **Ventajas y desventajas de cada material propuesto para la construcción del tanque**

<b>Material</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Plástico y polipropileno	Material de bajo costo, resistentes a la oxidación y a la corrosión	Necesita de un molde para fabricar a medida, un vez fabricado no se lo puede modificar ni colocar soportes debido al peligro de fugas y agrietamientos. No trabaja con temperaturas altas.
Fibra de vidrio	Peso ligero.	Propenso a agrietarse con altas cargas.
Acero galvanizado	Bajo costo de fabricación a medida	Propensos a la liberación de elementos como el plomo en el agua, durabilidad de seis años como máximo.

 Continúa

Acero inoxidable	Larga duración y amigables con el medio ambiente pocos puntos débiles de la construcción, resistencia, estabilidad.	Alto precio en comparación a los otros materiales
------------------	---	---

**Tabla 3. 6**

**Tabla de ponderación de las alternativas de selección de material ideal para el tanque**

Parámetros	Plásticos o polímeros	Fibra de Vidrio	Acero galvanizado	Acero inoxidable
Manufactura (/1 punto)	0.3	0.3	1	0.8
Resistencia a oxidación y corrosión. (/1 punto)	1	1	0.4	1
Resistencia a alta carga. (/1 punto)	0.7	1	1	1
Durabilidad (/1 punto)	0.5	1	0.5	1
Bajo costo del material. (/1 punto)	1	0.8	1	0.5
Total ( /5 puntos):	3.5	4.1	3.9	4.3

Acorde con a la Tabla 3.6 se considera al acero inoxidable para la manufactura del tanque, sin embargo hay varias opciones, dividiéndolas en:

**Tabla 3. 7**

**Tipos de acero inoxidable**

Acero Inoxidable	Tipo	Propiedades básicas
Serie 400	Martensíticos	Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada.

 Continúa

	Férricos	Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico
Serie 300	Austeníticos	Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas

La construcción del tanque requiere la soldabilidad que es el factor más importante para la selección del material. El acero inoxidable serie 300 tiene dos opciones en el mercado 304 y 316, siendo el acero inoxidable 304 la opción más comercial.

**Tabla 3. 8**

**Propiedades mecánicas acero A304**

Esfuerzo último	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo de diseño
620 [MPa]	310 [MPa]	195 [MPa]

Recuperado de: [www.sumiteccr.com](http://www.sumiteccr.com)

Los elementos fabricados con acero A304 el factor de seguridad es la relación entre el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo de diseño de esta forma:

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo de fluencia}}{\text{Esfuerzo de diseño}}$$

$$F.S. = \frac{310 \text{ [MPa]}}{195 \text{ [MPa]}}$$

$$F.S. = 1,59 \approx 1,6$$

3.1.1.1.4. Cálculo de espesor de la placa para base del tanque.

El cálculo del espesor de la placa para la construcción del tanque se determina en la parte crítica del elemento siendo esta su base, debido a que sobre ella

está todo el peso del agua contenida. La carga total es calculada por la ecuación (Ec. 2. 1)

$$P_H = \delta * g * h$$

$\delta$ : Densidad del agua,  $1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$g$ : Gravedad,  $9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

$h$ : Altura de la columna de agua,  $1,1 \text{ [m]}$

$$P_H = \delta * g * h$$

$$P_H = 1000 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 1,1 \text{ [m]}$$

$$P_H = 10791 \text{ [Pa]}$$

3.1.1.1.4.1. Cálculo de esfuerzo de la placa de la base del tanque.

Los cálculos se basan en la teoría de placas planas. (Seely, 1954, pág. 459)

3.1.1.1.4.1.1. Placa con bordes simplemente apoyados.

$$\sigma = \frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{P_H * b^2}{t^2} \quad \text{Ec. 2. 15}$$

El espesor mínimo es:

$$t_1 = \sqrt{\frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{P_H * b^2}{\sigma}}$$

Donde:

$a$ : Lado mayor de la placa,  $3,080 \text{ [m]}$ .

$b$ : Lado menor de la placa,  $1,104 \text{ [m]}$ .

$P_H$ : Presión hidrostática,  $10791 \text{ [Pa]}$ .

$\sigma$ : Esfuerzo al cual está sometida la placa.

$t_1$ : Espesor mínimo de la placa con bordes simplemente apoyados.

Resultando  $t_1$  (espesor mínimo)=0,0055[m]  $\approx$  6[mm].

3.1.1.1.4.1.2.Placa con bordes totalmente apoyados.

$$M_{m\acute{a}x} = n * p * b^2$$

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento máximo de la placa. Ec. 2. 63

p: Carga distribuida, 10791 Pa.

b: Lado menor de la placa, 1,104 m

n: Coeficiente de momento. (relación  $\frac{b}{a} = 0,38$ , Fig. 2. 21)  $n=0,0055$

$$M_{m\acute{a}x} = 72,3 [Nm]$$

Esfuerzo máximo para la placa es: Ec. 2. 62

$$\sigma = \frac{6 * M_{m\acute{a}x}}{t^2}$$

Por lo tanto el espesor máximo para la placa con bordes totalmente apoyados está dado por:

$$t_2 = \sqrt{\frac{6 * M_{m\acute{a}x}}{\sigma}}$$

$$t_2 = 0,0015 [m] \approx 2 [mm]$$

El valor a considerar para el espesor total de la placa es el promedio de los espesores  $t_1$  y  $t_2$ .

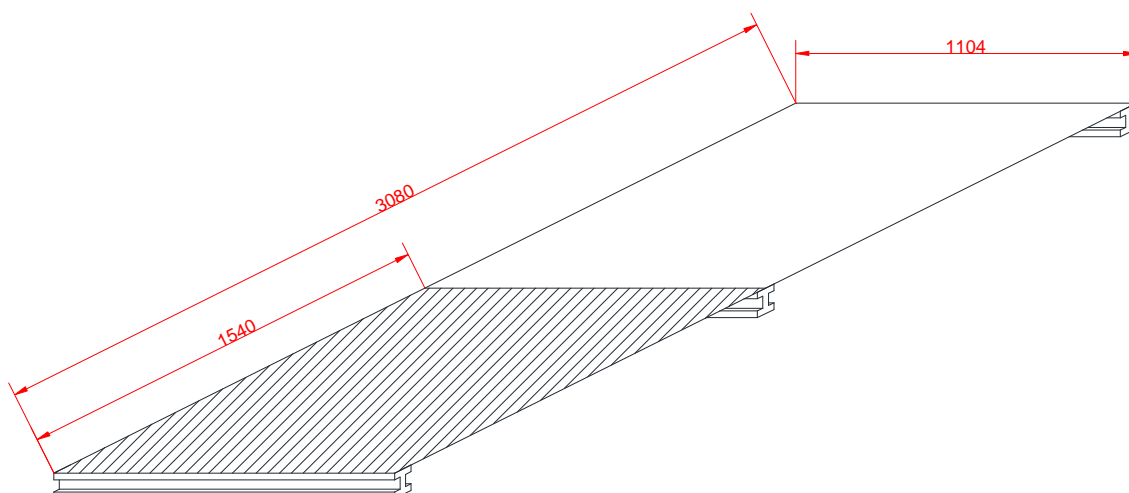
$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$t = 4 [mm]$$

3.1.1.1.4.2. Reducción del espesor de la placa base rigidizadores.

3.1.1.1.4.2.1.Rigidizadores caso 1

Para disminuir el espesor de la placa es necesario utilizar rigidizadores intermedios.



**Fig. 3. 9.- Posición rigidizador intermedio caso 1**

En el caso de colocar un rigidizador intermedio (Fig. 3.9)

Placa con bordes simplemente apoyados

$$\sigma = \frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{P_H * b^2}{t^2}$$

El espesor mínimo es:

$$t_1 = \sqrt{\frac{1}{2} * \frac{a^2}{a^2 + b^2} * \frac{P_H * b^2}{\sigma}}$$

Donde:

a: Lado mayor de la placa, 1,540[m].

b: Lado menor de la placa, 1,104 [m].

$P_H$ : Presión hidrostática, 10791 [Pa].

$\sigma$ : Esfuerzo de diseño para la placa.

$t_1$ : Espesor mínimo de la placa con bordes simplemente apoyados.

Resultando  $t_1$  (espesor mínimo) = 0,0047[m]  $\approx$  5[mm].

Placa con bordes totalmente apoyados

$$M_{m\acute{a}x} = n * p * b^2$$

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento máximo de la placa.

p: Carga distribuida, 10791 [Pa]

b: Lado menor de la placa, 1,104 [m]

n: Coeficiente de momento, (relaci3n  $\frac{b}{a} = 0,72$ )  $n=0,0065$

$$M_{m\acute{a}x} = 85,5 [Nm]$$

Esfuerzo máximo para la placa es:

$$\sigma = \frac{6 * M_{m\acute{a}x}}{t^2}$$

Por lo tanto el espesor mínimo para la placa con bordes totalmente apoyados está dado por:

$$t_2 = \sqrt{\frac{6 * M_{m\acute{a}x}}{\sigma}}$$

$$t_2 = 0,00163 [m] \approx 2 [mm]$$

El valor a considerar para el espesor total de la placa es el promedio de los espesores  $t_1$  y  $t_2$ .

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

$$t = 3 [mm]$$

Para el caso de varios rigidizadores con la distribuci3n de la Fig. 3. 10 y los resultados del espesor de la placa están tabulados en la Tabla 3. 9.

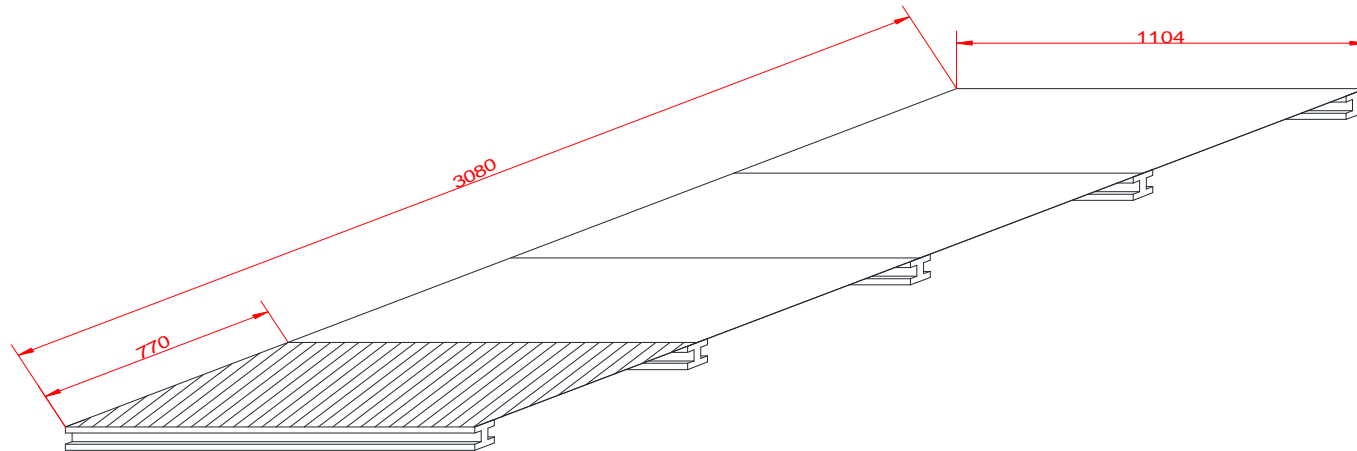
#### 3.1.1.1.4.2.2.Rigidizadores caso 2

Se utiliza el mismo procedimiento para calcular el espesor de la placa con rigidizadores intermedios ubicados como indica Fig. 3. 11.

Se Obtiene los resultados de la Tabla 3. 10.

De esta variante se presenta el resumen de cculos en la Tabla 3. 10.



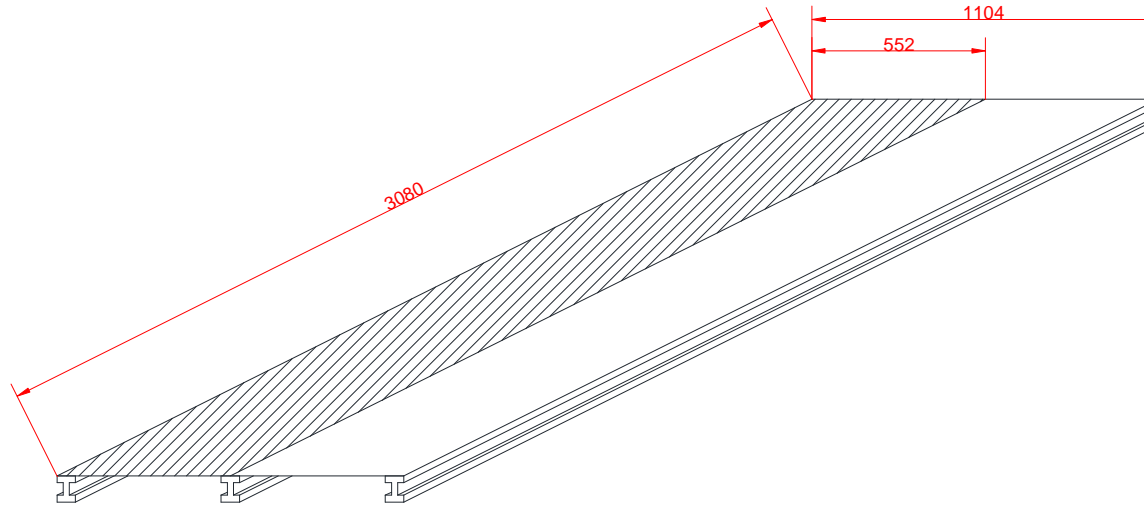


**Fig. 3. 10.- Posición de varios rigidizadores Caso 1**

**Tabla 3. 9**

**Espesor total de la placa con varios rigidizadores según el Caso 1.**

# Rig. Int.	BORDES SIMPLEMENTE EMPOTRADOS					BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS				TOTAL
	a(m)	b(m)	p(pa)	$\sigma$ (MPa)	t(m)	r=b/a	n	Mmáx(Nm)	t(m)	
0	3,080	1,104	10791	195	0,0055	0,3584	0,0055	72,34	0,0015	3,54
1	1,540	1,104	10791	195	0,0047	0,7169	0,0044	57,87	0,0013	3,03
2	1,104	0,930	10791	195	0,0037	0,8421	0,0038	35,44	0,0010	2,39
3	1,104	0,770	10791	195	0,0033	0,6975	0,0043	27,51	0,0008	2,02



**Fig. 3. 11.- Posición rigidizador intermedio Caso 2**

**Tabla 3. 10**

**Calculo de espesor de la placa según caso 2**

# Rig.	BORDES SIMPLEMENTE EMPOTRADOS					BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS				TOTAL	
	Int.	a(m)	b(m)	p(pa)	$\sigma$ (MPa)	t(m)	r=b/a	n	Mmáx(Nm)		t(m)
0		3,080	1,104	10791	195	0,0055	0,358	0,0055	72,34	0,0015	3,57
1		3,080	0,552	10791	195	0,0029	0,179	0,0065	21,37	0,0008	1,83

Tabla 3. 11

## Toma de decisión de la posición de los rigidizadores para la base

Posición de rigidizador	Caso 1	Caso 2
Cantidad de material ( / 2 puntos)	1,8	2
Menor área entre rigidizadores ( / 2 puntos )	2	1.5
Ensamblaje del conjunto de rigidizadores ( / 1 punto )	0,8	1
Total ( / 5 puntos )	4,6	4,5

El Caso 2 usa menos material que el Caso 1, sin embargo el área entre rigidizadores intermedios es menor en el Caso 1 que en el Caso 2 por lo tanto el esfuerzo en el área mencionada es menor, por esta razón se selecciona el posicionamiento de los rigidizadores intermedios correspondientes al Caso 1 como indica la (Fig. 3.10).

## 3.1.1.1.4.3. Selección de perfiles para rigidizadores de la base del tanque

El perfil soporta la carga distribuida en el área sombreada de la Fig. 3.12.

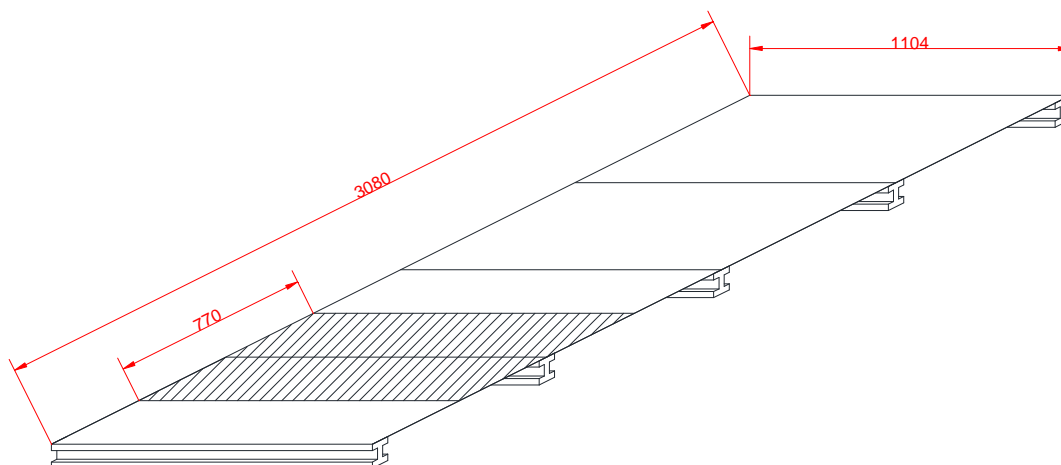
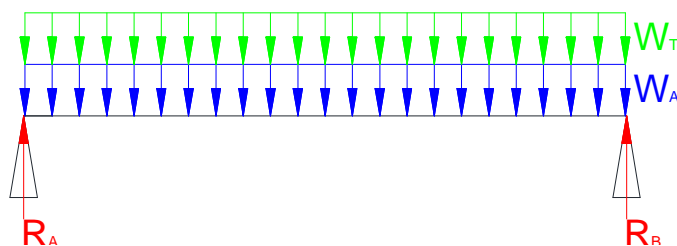


Fig. 3. 12.- Distribución de la carga en el rigidizador intermedio

El momento máximo de flexión de la viga se calcula considerando el peso del agua, el peso del material del tanque y el correspondiente factor de seguridad, el método a utilizar es de una viga simplemente apoyada en sus extremos. El área de cálculo es 1,104 [m] que es el ancho del tanque por 0,77 [m] la distancia mostrada en la Fig. 3. 12.



**Fig. 3. 13.- fuerzas actuantes en el rigidizador de 1,104 [m]**

La Fig. 3. 13 indica las fuerzas distribuidas actuantes en el rigidizador intermedio de 1,104 [m]. Donde:

$R_A$ : Reacción en el punto A

$R_B$ : Reacción en el punto B

$W_A$ : Fuerza distribuida producida por el agua

$W_T$ : Fuerza distribuida producida por el acero A304, material del tanque

El diagrama de cuerpo libre al tratarse de cargas distribuidas actúan en el centro de la viga. Fig. 3 .14.

La carga distribuida producida por el agua:

$$W_A = P_H * b$$

Donde:

b: es la distancia de la Fig. 3. 12. (0,77 [m])

$$W_A = 10791 [Pa] * 0,77[m]$$

$$W_A = 8309,07 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

La carga puntual es:

$$W_{P-A} = W_A * L$$

Donde:

$W_{P-A}$ : Carga puntual producida por la carga distribuida del agua

L: Longitud del rigidizador.

$$W_{P-A} = 8309,07 \left[ \frac{N}{m} \right] * 1,104 [m]$$

$$W_{P-A} = 9173,24 [N]$$

Carga distribuida del acero A304:

El peso del acero A304 es igual a la multiplicación del área total por el espesor de la chapa (2mm). El área total es:

$$A_{A304} = 2 * A_{pared 1} + 2 * A_{pared 2} + A_{piso} + 4 * A_{separador}$$

$$A_{A304} = 2 * 3,5(m) * 1,14(m) + 2 * 1,3(m) * 1,14(m) + 3,5(m) * 1,3 + 4 * 1,3(m) * 1,14(m)$$

$$A_{A304} = 21,42(m^2)$$

El volumen del material del tanque es:

$$V_{Tanque} = A_{304} * 0,002(m)$$

$$V_{Tanque} = 0,0043(m^3)$$

La densidad del A304 es 7800 [Kg/m<sup>3</sup>]

$$P_{Tanque} = 0,0043(m^3) * 7800 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$P_{Tanque} = 334,15 [Kg]$$

El P<sub>Tanque</sub> está calculada en el área total del tanque:

$$(3,08 [m] * 1,104 [m] = 3,04 [m^2])$$

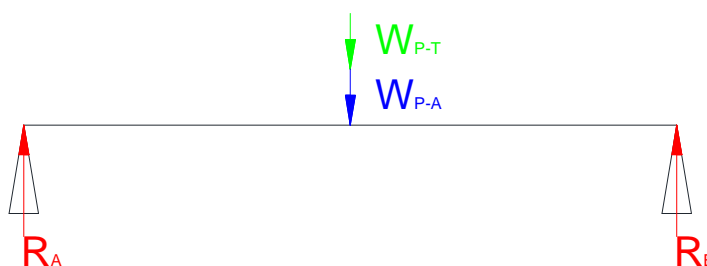
El área en la que trabaja el rigidizador es:

$$(1,104 [m] * 0,77[m] = 0,85 [m^2])$$

Por lo tanto el peso en 0,85 [m<sup>2</sup>] es:

$$W_{P-T} = 0,85[m^2] * \frac{334,15 [kg]}{3,04 [m^2]} * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W_{P-T} = 916,55 [N]$$



**Fig. 3. 14.- Cargas puntuales en el centro de la viga**

La carga total  $W$  es la suma de las cargas puntuales correspondientes al acero A304 y al agua.

$$W_1 = W_{P-T} + W_{P-A}$$

$$W_1 = 916,55 [N] + 9173,24 [N]$$

$$W_1 = 10089,79 [N]$$

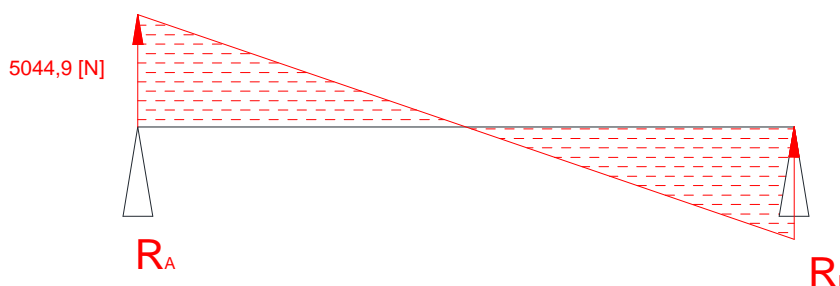
Dado que se trata de la carga puntual en el centro de la viga, y esta apoya en los 2 extremos, por lo tanto en las reacciones en el punto "A" y en el punto "B" son iguales y su valor es la mitad de la carga total  $W$ .

$$R_A = R_B = \frac{W}{2}$$

$$R_A = R_B = \frac{10089,79 [N]}{2}$$

$$R_A = R_B = 5044,9 [N]$$

Con el diagrama de fuerza de la Fig. 3. 15. Se calcula el momento máximo siendo este representado por el área de cada triángulo sombreado en la figura.



**Fig. 3. 15.- Diagrama de fuerzas en la viga**

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{5044,9[N] * 0,552[m]}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 1392,39 [Nm]$$

El material de los rigidizadores se selecciona de acuerdo a los perfiles disponibles comerciales. El acero estructural A36 es ideal para la aplicaci3n.

**Tabla 3. 12**

**Propiedades mecánicas acero A36**

<b>Esfuerzo 3ltimo</b>	<b>Esfuerzo de fluencia</b>	<b>Esfuerzo de dise1o</b>
400 [MPa]	250 [MPa]	170 [MPa]

**Recuperado de: [www.sumiteccr.com](http://www.sumiteccr.com)**

El factor de seguridad para el acero A36 es:

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo de fluencia}}{\text{Esfuerzo de dise1o}}$$

$$F.S. = \frac{250 [MPa]}{170 [MPa]}$$

$$F.S. = 1,47 \approx 1,5$$

Calculado el momento m3ximo se propone un factor de seguridad de 4 considerando que es una aplicaci3n est3tica que no est3 sometida ni a fatiga ni a choque.

Encontrado el momento m3ximo producido se calcula el m3dulo de secci3n de una viga, considerando el factor de seguridad para el elemento, se selecciona un perfil con un valor del m3dulo superior al hallado. Se realiza los mismos c3lculos para la verificaci3n con la diferencia que se debe tomar en cuenta el peso del rigidizador implementado.

$$\sigma_{c1} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$

Siendo:

S: m3dulo de la secci3n.

Considerando el factor de seguridad de 4:

$$F.S. = \frac{\sigma_{y*}}{\sigma_{C1}}$$

Donde:

$\sigma_{y*}$ : Esfuerzo de diseño

$$\sigma_{C1} = \frac{\sigma_{y*}}{F.S.}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{170[MPa]}{4}$$

$$\sigma_{C1} = 42,5 [MPa]$$

El módulo de sección es:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{C1}}$$

$$S = \frac{1392,39 [Nm]}{42,5[MPa]}$$

$$S = 32,77[cm^3]$$

El módulo inmediato superior de sección mayor a 32,77 [cm<sup>3</sup>] es el correspondiente a perfil IPE100, sin embargo se selecciona el perfil IPE120 debido a que se considera el peso de los rigidizadores intermedios en el análisis del perfil de 3,08[m]. El módulo de sección de IPE120 es 53,0[cm<sup>3</sup>] y un peso de 10,4 [kg/m].

Por lo tanto la carga distribuida total (W) que actúa en la viga es:

El peso de la viga es de:

$$W_2 = 5044,9[N] + 10,4[Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 1,104[m]$$

$$W_2 = 5157,54[N]$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{5101,54[N] * 0,552[m]}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 1423,48 [Nm]$$



El nuevo módulo de sección considerando el peso del perfil IPE120 es:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{c1}}$$

$$S = \frac{1423,48 [Nm]}{42,5 [MPa]}$$

$$S = 33,5 [cm^3]$$

Se verifica que el perfil IPE120 con módulo de sección de 53,0 [cm<sup>3</sup>] soporta el esfuerzo producido.

El esfuerzo máximo para el perfil es:

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{M\acute{a}x}}{S}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{1423,48 [Nm]}{53,0 [cm^3]}$$

$$\sigma_{Real} = 26,9 [MPa]$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{dise\tilde{n}o}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S. = \frac{170 [MPa]}{26,9 [MPa]}$$

$$F.S. = 6,2$$

Se comprueba los valores del esfuerzo real con el factor de seguridad planteado para los rigidizadores intermedios.

Los perfiles que se encuentran a lo largo del tanque cuya medida es 3,08 [m] están sometidos a fuerzas extras como es el caso del peso de los perfiles ubicados en el ancho del tanque y los rigidizadores intermedios. Son 3 rigidizadores intermedios y 2 perfiles de los extremos, cada uno de 1,104 [m] por lo tanto la longitud total de es de 5,52 [m], multiplicados por el peso del material y por la gravedad, se halla la fuerza equivalente puntual ubicada en el centro de la viga lateral (se puede asumir este caso debido a que es una

viga con cargas completamente simétricas), se incluye el peso de la viga lateral. Consecuentemente el peso total de la carga puntual es:

$$W_T = W_{P-A} + W_{P-T} + W_R + W_{VL}$$

Donde:

$W_T$ : Carga puntual total

$W_R$ : Carga total de los rigidizadores y del perfil de los extremos

$W_{VL}$ : Carga total del peso de la viga lateral

La carga puntual del agua es:

$$W_{P-A} = P_H * b$$

Donde:

b: es la distancia de lateral (1,104 [m])

$$W_{P-A} = 10791 [Pa] * \frac{1,104 [m]}{2}$$

$$W_{P-A} = 5956,63 \left[ \frac{N}{m} \right]$$

La carga puntual es:

$$W_{P-A} = W_A * L$$

Donde:

$W_{P-A}$ : Carga puntual producida por la carga distribuida del agua

L: Longitud de la viga lateral.

$$W_{P-A} = 5956,63 \left[ \frac{N}{m} \right] * 3,08 [m]$$

$$W_{P-A} = 18346,43 [N]$$

La carga puntual del material del tanque es:

$$W_{P-T} = 1,7[m^2] * \frac{334,15 [kg]}{3,04 [m^2]} * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W_{P-T} = 1833,1 [N]$$

La carga puntual del perfil lateral es:

$$W_{VL} = 10,4 \left[ \frac{Kg}{m} \right] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 3,08[m]$$

$$W_{VL} = 310,15[N]$$

La carga puntual de los rigidizadores intermedios y del perfil del ancho es:

$$W_{P-R} = 5 * 10,4 \left[ \frac{Kg}{m} \right] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 1,104[m]$$

$$W_{P-R} = 563,17[N]$$

La carga total puntual para la viga lateral es:

$$W_T = W_{P-A} + W_{P-T} + W_R + W_{VL}$$

$$W_T = 18346,43 [N] + 1833,1 [N] + 563,17[N] + 310,15[N]$$

$$W_T = 21052,85[N]$$

El momento máximo de flexión para la viga lateral es:

$$M_{máz} = \frac{W_T * \frac{L}{2}}{2}$$

$$M_{máz} = \frac{21052,85 \left[ \frac{N}{m} \right] * \frac{1,104[m]}{2}}{2}$$

$$M_{máz} = 5810,59 [Nm]$$

El esfuerzo en el perfil IPE120 con módulo de sección 53,0 [cm<sup>3</sup>] es:

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{máz}}{S}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{5810,59[Nm]}{53[cm^3]}$$

$$\sigma_{Real} = 109,64 [MPa]$$

El factor de seguridad es:

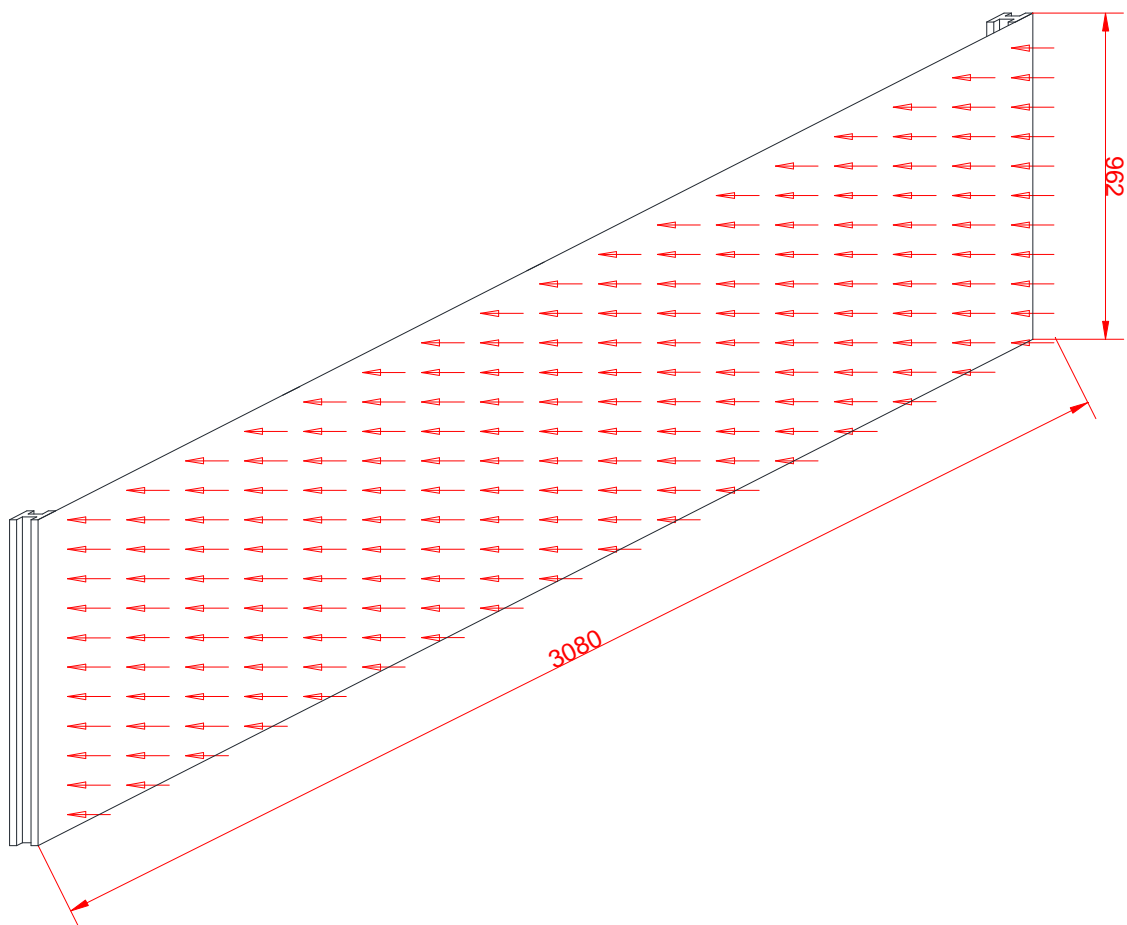
$$F.S. = \frac{\sigma_{diseño}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S. = \frac{170 [MPa]}{109,64 [MPa]}$$

$$F.S. = 1,55$$

### 3.1.1.1.5. Cálculo de espesor de placas laterales del tanque

El espesor de las placas laterales del tanque es calculado mediante el mismo método que se usa para la base, método de la sección 3.1.1.1.4.



**Fig. 3. 16.- Dimensiones de la placa lateral para el cálculo de presión**

3.1.1.1.5.1. Cálculo de esfuerzo de las placas laterales del tanque.

3.1.1.1.5.1.1.Placa con bordes simplemente apoyados

La Tabla 3. 13 en la primera fila (# Rig. Int. = 0), sección “Simplemente apoyados” indica el resultado del espesor obtenido con el mismo método que la sección 3.1.1.1.4.1.1

3.1.1.1.5.1.2.Placa con bordes totalmente apoyados

La Tabla 3. 13 en la primera fila (# Rig. Int. = 0), sección “Completamente empotrados” indica el resultado del espesor obtenido con el mismo método que la sección 3.1.1.1.4.1.2

3.1.1.1.5.2. Reducción del espesor de las placas laterales con rigidizadores.

3.1.1.1.5.2.1.Rigidizadores para paredes laterales Caso 1

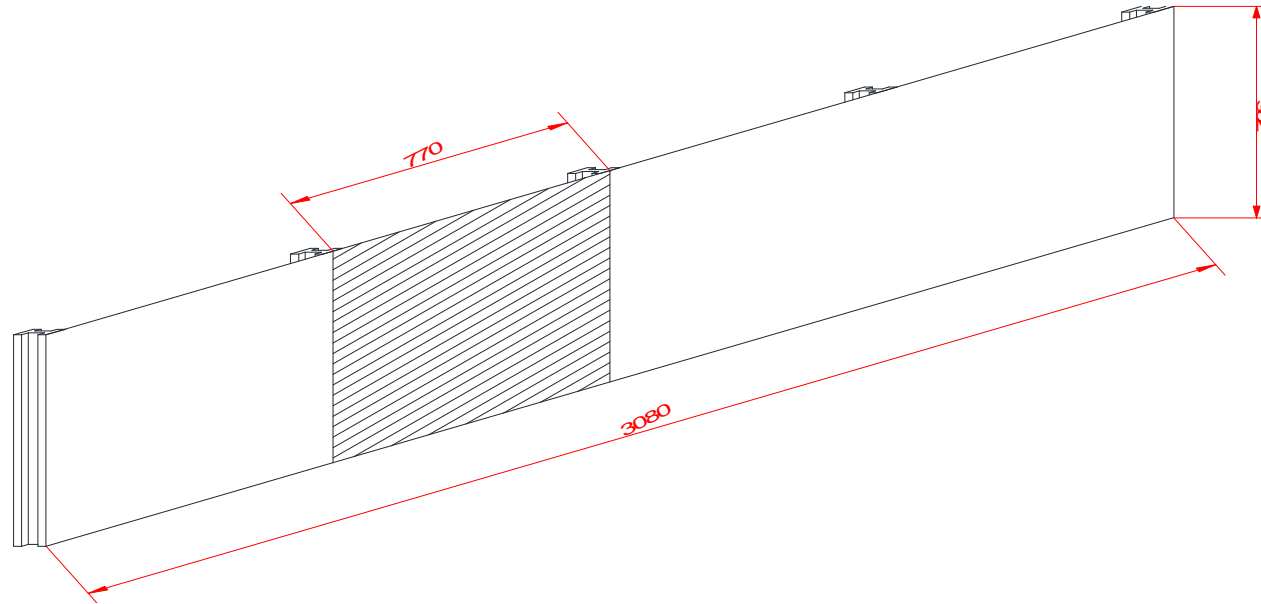
La Tabla 3. 13 desde la segunda fila indica los resultados del espesor de la placa obtenidos con el mismo método que la sección 3.1.1.1.4.2.1. Los rigidizadores son ubicados como indica la Fig. 3. 17.

Con estos cálculos se concluye que se puede utilizar el mismo grosor de placa que la usada para la base del tanque, se debe considera 3 rigidizadores intermedios correspondientes al Caso 1.

3.1.1.1.5.2.2.Rigidizadores para paredes laterales Caso 2

La Tabla 3. 14 indica el resumen de los cálculos realizados para determinar el espesor de la pared lateral para este caso de rigidizadores.

Al igual que el caso 1 para la pared lateral del tanque se realiza el cálculo para el espesor de la placa con los bordes simplemente apoyados y completamente empotrados, variando la posición de los rigidizadores hasta obtener el mismo espesor de la placa. Los perfiles se ubican como indica la Fig. 3.18.

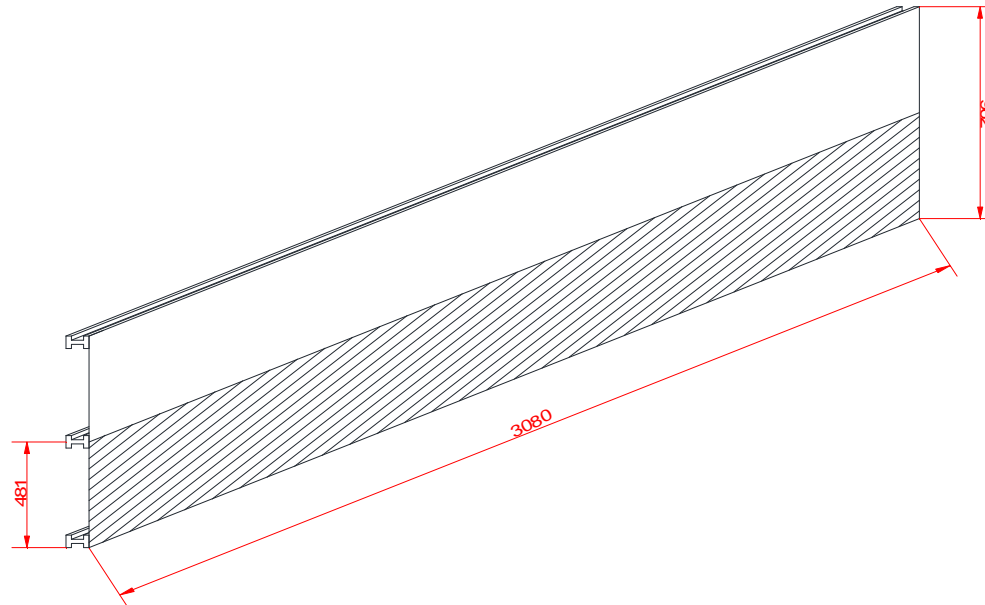


**Fig. 3. 17.- Distribución de rigidizadores internos para la pared lateral caso 1**

**Tabla 3. 13**

**Cálculo del espesor de la placa para varios rigidizadores caso 1**

# Rig. Int.	BORDES SIMPLEMENTE EMPOTRADOS					BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS				TOTAL
	a(m)	b(m)	p(pa)	$\sigma$ (MPa)	t(m)	r=b/a	n	Mmáx(Nm)	t(m)	
0	3,080	0,962	10791	195	0,0048	0,3123	0,0058	57,92	0,0013	3,08
1	1,540	0,962	10791	195	0,0043	0,6247	0,0048	47,94	0,0012	2,75
2	0,962	0,930	10791	195	0,0035	0,9664	0,0035	32,64	0,0010	2,26
3	0,962	0,770	10791	195	0,0032	0,8004	0,0038	24,31	0,0009	2,00



**Fig. 3. 18.- Distribución de rigidizadores para la pared lateral caso 2.**

**Tabla 3. 14**

**Cálculo del espesor de la placa para varios rigidizadores caso 2**

# Rig. Int.	BORDES SIMPLEMENTE EMPOTRADOS					BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS				TOTAL
	a(m)	b(m)	p(pa)	$\sigma$ (MPa)	t(m)	r=b/a	n	Mmáx(Nm)	t(m)	
0	3,080	0,962	10791	195	0,0048	0,3123	0,0058	57,92	0,0013	3,08
1	3,080	0,481	10791	195	0,0025	0,1562	0,0061	15,23	0,0007	1,59

**Tabla 3. 15**

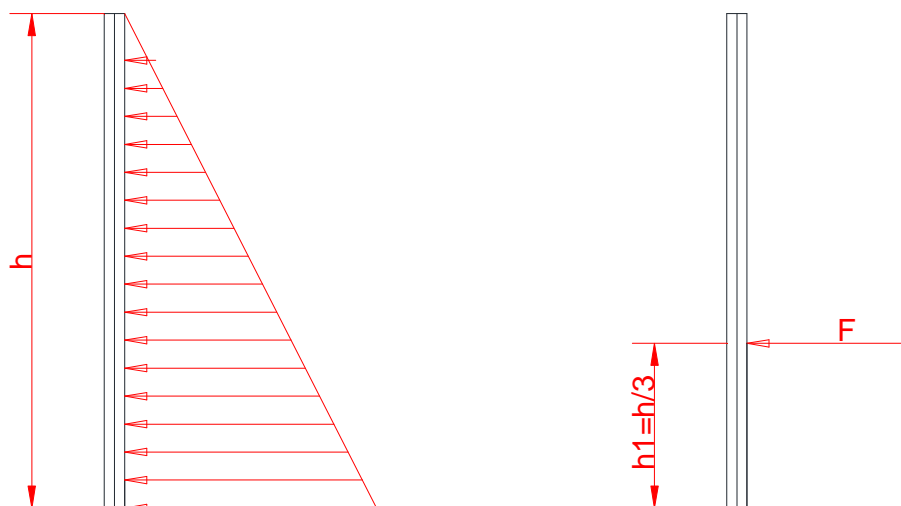
**Toma de decisión de la posición de los rigidizadores para la pared lateral**

Posición de rigidizador	Caso 1	Caso 2
Cantidad de material ( / 2 puntos)	1,8	2
Menor área entre rigidizadores ( / 2 puntos )	2	1.5
Ensamblaje del conjunto de rigidizadores ( / 1 punto )	0,8	1
Total ( / 5 puntos )	4,6	4,5

Conclusión: Se selecciona tres rigidizadores intermedios como indica el Caso 1 (Fig.3.14) debido a la menor área comprendida entre rigidizadores.

3.1.1.1.5.3. Selección de perfiles para rigidizadores para paredes del tanque

La fuerza que se desarrolla en las paredes no es uniforme debido a que la altura del agua varía, teóricamente tiene la distribución (Fig. 3.16) que indica el lugar donde actúa la fuerza puntual equivalente.



**Fig. 3. 19.- Fuerza puntual equivalente en la pared vertical**

Por lo tanto la fuerza puntual está dada por la Ec. 2. 2:

$$F = \frac{1}{2} * P_H * A$$



Donde:

$P_H$ : Presión hidrostática total

A: Área donde actúa la presión hidrostática

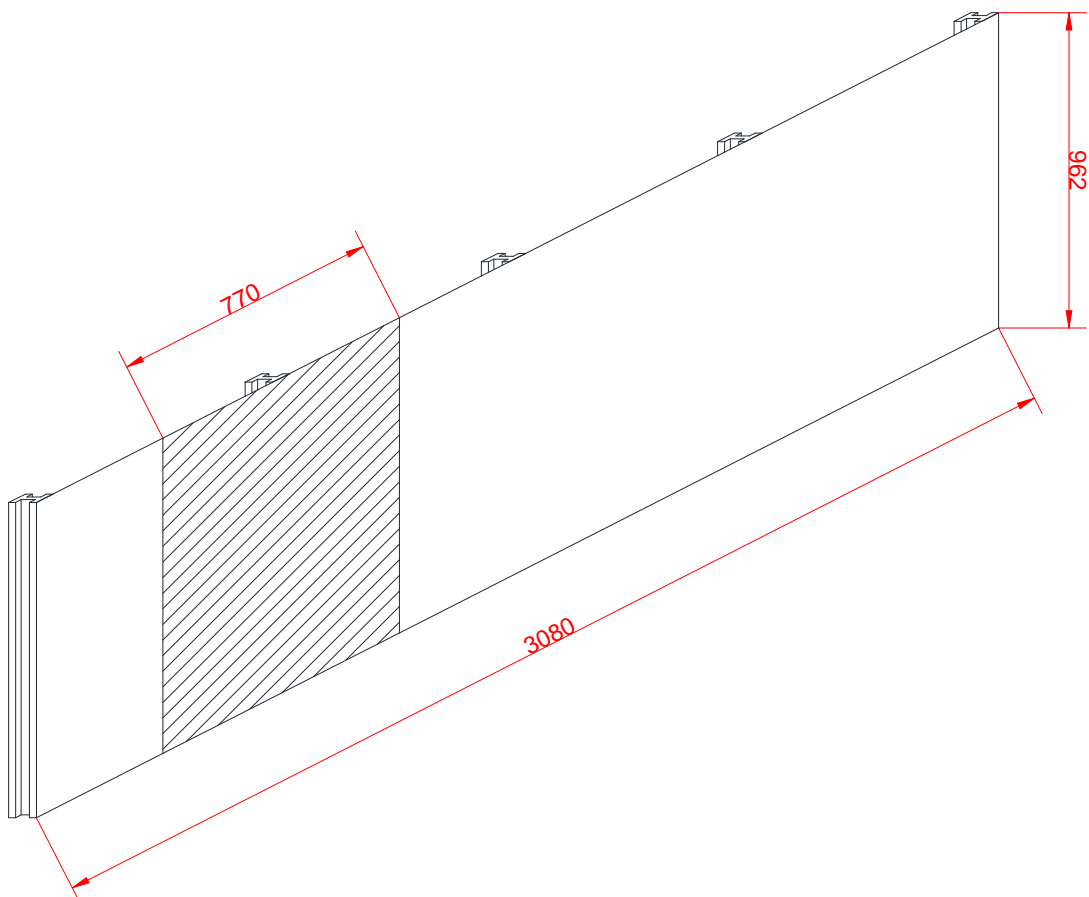
De la ecuación (Ec. 2. 3)

$$A = b * h_r$$

Donde:

b: Base del área donde actúa la presión hidrostática

$h_r$ : Altura del área donde actúa la presión hidrostática



**Fig. 3. 20.- Área total que soporta el rigidizador**

$$F = \frac{1}{2} * 10791 \left[ \frac{N}{m^2} \right] * 0,77[m] * 0,962[m]$$

$$F = 3996,66 [N]$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{F * \frac{1}{3} * h * \left(\frac{2}{3} * h\right)^2}{h^2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{3996,66[N] * \frac{1}{3} * 0,962[m] * \left(\frac{2}{3} * 0,962[m]\right)^2}{(0,962[m])^2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 566 [Nm]$$

Los rigidizadores para las paredes son del mismo material que los rigidizadores seleccionados para la base, sus propiedades se especifican en la Tabla 3.12 con factor de seguridad de 1,5

Se selecciona el perfil ideal que soporte el esfuerzo que actúa en el rigidizador de pared calculando el esfuerzo con la fórmula:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo del rigidizador

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento máximo de flexión

S: Módulo de sección.

Considerando el factor de seguridad de 3:

$\sigma_{y^*}$ : Esfuerzo de diseño

$$\sigma_{C1} = \frac{\sigma_{y^*}}{F.S.}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{170[MPa]}{3}$$

$$\sigma_{C1} = 56,67 [MPa]$$

El módulo de sección es:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{C1}}$$

$$S = \frac{566[Nm]}{56,67[MPa]}$$

$$S = 10 [cm^3]$$

El módulo inmediato superior de sección mayor a 10, [cm<sup>3</sup>] es el correspondiente a perfil IPE80 que posee un módulo de sección de 20,0[cm<sup>3</sup>] y un peso de 6,0 [kg/m].

El esfuerzo máximo para el rigidizador es:

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{Máx}}{S}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{566 [Nm]}{20,0 [cm^3]}$$

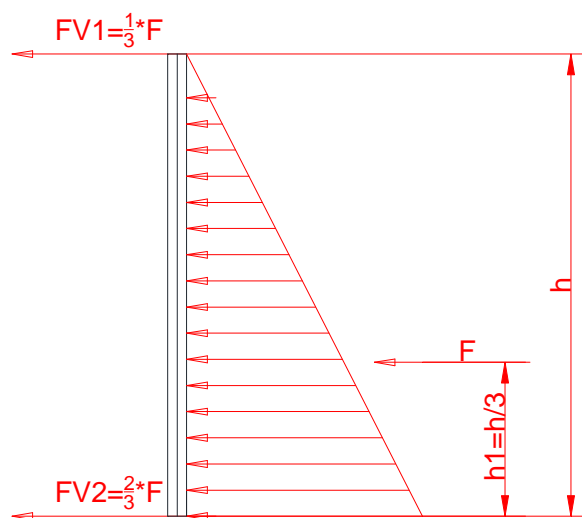
$$\sigma_{Real} = 28,3 [MPa]$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{diseño}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S. = \frac{170 [MPa]}{28,3 [MPa]}$$

$$F.S. = 6$$

Se verifica que el perfil IPE80 con módulo de sección de 20,0 [cm<sup>3</sup>] soporta el esfuerzo producido con un factor de seguridad de 6.



**Fig. 3. 21.- Fuerza equivalente que actúa en el anillo superior del tanque**

3.1.1.1.5.4. Selección de rigidizadores para anillo superior del tanque.

La boca de todo tanque es la parte más delicada del conjunto, el anillo que lo rodea soporta el esfuerzo de los rigidizadores verticales de los extremos. El perfil de selección debe cumplir con el esfuerzo de trabajo y evita la acumulación de polvo y basura por tal motivo se recomienda como preselección un perfil UPN. Las fuerzas equivalentes en cada rigidizador vertical se muestran en Fig. 3 .21.

La fuerza es:

$$F = \frac{1}{2} * P_H * A$$

$$F = \frac{1}{2} * 10791 \left[ \frac{N}{m^2} \right] * 3,080[m] * 0,962[m]$$

$$F = 15986,66 [N]$$

La fuerza puntual en el centro del perfil que se considera para el borde superior del tanque es:

$$FV1 = \frac{1}{3} * F$$

$$FV1 = \frac{1}{3} * 15986,66 [N]$$

$$FV1 = 5328,89 [N]$$

Para el cálculo del esfuerzo en la viga como simplemente apoyada se usa la ecuación (Ec. 2.14)

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{W * L^2}{8}$$

Como la carga distribuida es:

$$W = \frac{FV1}{L}$$

Por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{FV1 * L}{8}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{5328,89[N] * 3,08[m]}{8}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 2051,63[N]$$

Los rigidizadores para las paredes son del mismo material que los rigidizadores seleccionados para la base, sus propiedades se especifican en la Tabla 3.12 con factor de seguridad de 1,5

Se selecciona el perfil ideal que soporte el esfuerzo que actúa en el rigidizador del anillo superior del tanque calculando este con la fórmula:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo del rigidizador

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento máximo de flexión

$S$ : Módulo de sección.

Considerando el factor de seguridad de 3:

$\sigma_{y^*}$ : Esfuerzo de diseño

$$\sigma_{C1} = \frac{\sigma_{y*}}{F.S.}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{170[MPa]}{3}$$

$$\sigma_{C1} = 56,67 [MPa]$$

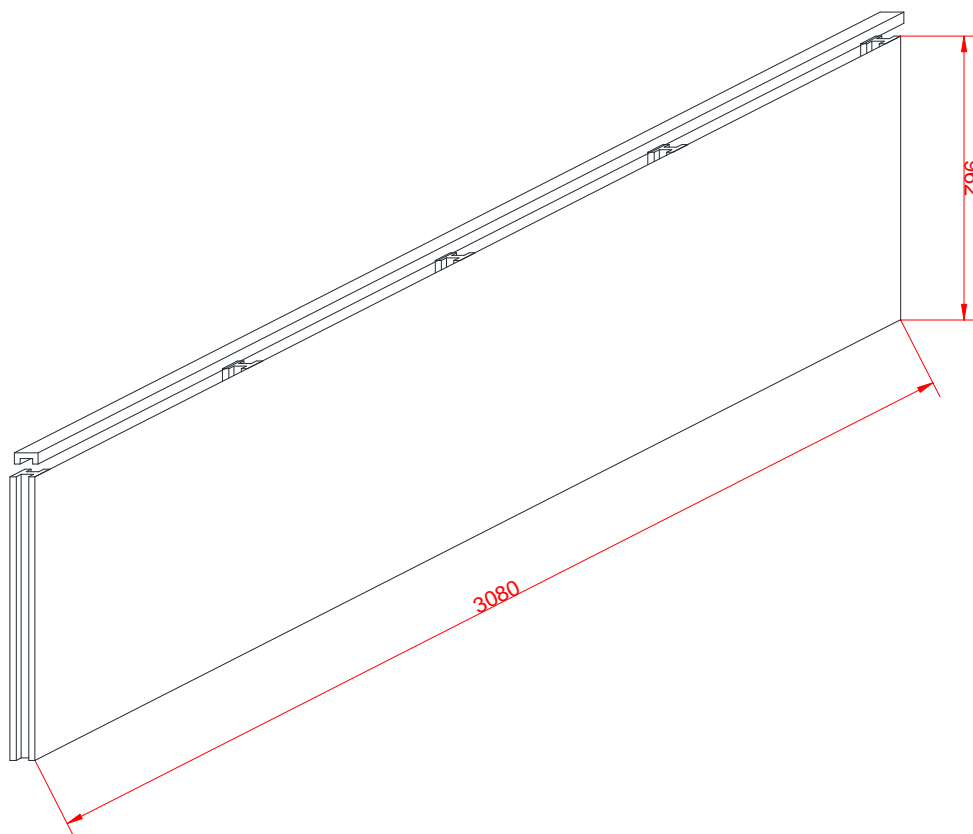
El módulo de sección es:

$$S = \frac{M_{máx}}{\sigma_{C1}}$$

$$S = \frac{2051,63[Nm]}{56,67[MPa]}$$

$$S = 36,2 [cm^3]$$

El módulo inmediato superior de sección mayor a 36,2 [cm<sup>3</sup>] es el correspondiente a perfil UPN100 que posee un módulo de sección de 41,2[cm<sup>3</sup>] y un peso de 10,6 [kg/m]. Son colocados como indica la Fig. 3. 22.



**Fig. 3. 22.- Posición del perfil del anillo superior del tanque**

El esfuerzo máximo para el perfil es:

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{Máx}}{S}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{2051,63 [Nm]}{41,2 [cm^3]}$$

$$\sigma_{Real} = 49,8 [MPa]$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{diseño}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S. = \frac{170 [MPa]}{49,8 [MPa]}$$

$$F.S. = 3,4$$

Se verifica que el perfil UPN100 con módulo de sección de 41,2 [cm<sup>3</sup>] soporta el esfuerzo producido con un factor de seguridad de 3,4.

#### 3.1.1.1.5.5. Selección de perfiles para rigidizadores para anillo inferior

La selección de este perfil aplica a todas las observaciones y ecuaciones utilizadas para la sección “Selección de perfiles para rigidizadores para anillo superior del tanque” con la única diferencia que la fuerza es los dos tercios de la fuerza total. Ec. 2. 2.

$$F = \frac{1}{2} * P_H * A$$

$$F = \frac{1}{2} * 10791 \left[ \frac{N}{m^2} \right] * 3,080[m] * 0,962[m]$$

$$F = 15986,66 [N]$$

La fuerza que se considera para el borde inferior del tanque es Fig. 3.21:

$$FV2 = \frac{2}{3} * F$$

$$FV2 = \frac{2}{3} * 15986,66 [N]$$

$$FV2 = 10657,74 [N]$$

Para el cálculo del esfuerzo en la viga como simplemente apoyada se usa la ecuación (Ec. 2.14)

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{W * L^2}{8}$$

Como:

$$W = \frac{FV2 + W_{UPN100} + W_{IPE80}}{L}$$

Por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{(FV2 + W_{UPN100} + W_{IPE80}) * L}{8}$$

Donde:

$W_{UPN100}$ : Carga distribuida del perfil UPN100

$$W_{UPN100} = 10,6 \left[ \frac{Kg}{m} \right] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 3,08[m]$$

$$W_{UPN100} = 320,27[N]$$

$W_{IPE80}$ : Carga distribuida del perfil IPE80

$$W_{IPE80} = 5 * 6 \left[ \frac{Kg}{m} \right] * 0,962[m] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W_{UPN100} = 283,12[N]$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{(10657,74[N] + 320,27[N] + 283,12[N]) * 3,08[m]}{8}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 4335,54[N]$$

Los rigidizadores para las paredes son del mismo material que los rigidizadores seleccionados para la base, sus propiedades se especifican en la Tabla 3.12 con factor de seguridad de 1,5

Se selecciona el perfil ideal que soporte el esfuerzo que actúa en el rigidizador del anillo inferior del tanque calculando este con la fórmula:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$



Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo del rigidizador

$M_{\text{máx}}$ : Momento máximo de flexión

S: Módulo de sección.

Considerando el factor de seguridad de 1,5:

$\sigma_{y^*}$ : Esfuerzo de diseño

$$\sigma_{c1} = \frac{\sigma_{y^*}}{F.S.}$$

$$\sigma_{c1} = \frac{170[\text{Mpa}]}{1,5}$$

$$\sigma_{c1} = 113,34 [\text{MPa}]$$

El módulo de sección es:

$$S = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{c1}}$$

$$S = \frac{4335,54[\text{Nm}]}{113,34[\text{MPa}]}$$

$$S = 38,3 [\text{cm}^3]$$

El módulo inmediato superior de sección mayor a 38,3 [cm<sup>3</sup>] es el correspondiente a perfil IPE100 que posee un módulo de sección de 41,2[cm<sup>3</sup>] y un peso de 10,6 [kg/m]. Son colocados como indica la Fig. 3. 22.

El esfuerzo máximo para el perfil es:

$$\sigma_{\text{Real}} = \frac{M_{\text{Máx}}}{S}$$

$$\sigma_{\text{Real}} = \frac{4335,54 [\text{Nm}]}{41,2 [\text{cm}^3]}$$

$$\sigma_{\text{Real}} = 105,23 [\text{MPa}]$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{\text{diseño}}}{\sigma_{\text{Real}}}$$

$$F.S. = \frac{170 [MPa]}{105,23 [MPa]}$$

$$F.S. = 1,6$$

Se verifica que el perfil UPN100 con módulo de sección de 41,2 [cm<sup>3</sup>] soporta el esfuerzo producido con un factor de seguridad de 1,6.

#### 3.1.1.1.6. Selección de pedestales niveladores para el tanque

Para la selección de niveladores, es necesario conocer el peso total del tanque a su máxima capacidad y con todos sus accesorios.

$$P_{Total} = P_{Agua} + P_{Tanque} + P_{Rigidizadores} + P_{Autoparte}$$

Donde:

P<sub>Total</sub>: Peso total del conjunto.

P<sub>Agua</sub>: Peso del Agua.

P<sub>Rigidizadores</sub>: Peso total de rigidizadores.

P<sub>Autoparte</sub>: Peso del autoparte.

P<sub>Tanque</sub>: Peso del tanque, Acero A304

El peso de cada elemento se obtiene al conocer el volumen total y multiplicarlo por la densidad correspondiente.

De este modo el volumen del agua es igual a la suma de volumen de cada etapa:

$$Volumen \ de \ agua \ "Etapa \ A" = 1,1(m) * 1,3(m) * 0,3(m)$$

$$Volumen \ de \ agua \ "Etapa \ A" = 0,43(m^3)$$

$$Volumen \ de \ agua \ "Etapa \ B" = 1,1(m) * 1,3(m) * 2,6(m)$$

$$Volumen \ de \ agua \ "Etapa \ B" = 3,72m^3$$

El volumen total de agua es 2 veces el volumen de la "Etapa A" más el volumen de agua de la "Etapa B"

$$V_{Agua} = 2 * 0,43(m^3) + 3,72(m^3)$$

$$V_{\text{Agua}} = 4,58(m^3)$$

La densidad del agua es de 1000 [Kg/m<sup>3</sup>]

Por lo tanto el peso del agua es:

$$P_{\text{Tanque}} = 4,58(m^3) * 1000 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$P_{\text{Tanque}} = 4580 [Kg]$$

El peso del acero A304 es igual a la multiplicación del área total por el espesor de la chapa (2mm). El área total es:

$$A_{A304} = 2 * A_{\text{pared 1}} + 2 * A_{\text{pared 2}} + A_{\text{piso}} + 4 * A_{\text{separador}}$$

$$A_{A304} = 2 * 3,5(m) * 1,14(m) + 2 * 1,3(m) * 1,14(m) + 3,5(m) * 1,3 + 4 * 1,3(m) * 1,14(m)$$

$$A_{A304} = 21,42(m^2)$$

El volumen del material del tanque es:

$$V_{\text{Tanque}} = A_{A304} * 0,002(m)$$

$$V_{\text{Tanque}} = 0,0043(m^3)$$

La densidad del A304 es 7800 [Kg/m<sup>3</sup>]

$$P_{\text{Tanque}} = 0,0043(m^3) * 7800 \left( \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$P_{\text{Tanque}} = 334,15 [Kg]$$

El peso total de cada conjunto de rigidizadores el peso tabulado multiplicado por su longitud:

Rigidizadores IPE120 (10,14 [Kg/m]):

Longitud total IPE120: 13 (m)

Peso total:

$$P_{\text{IPE120}} = 13(m) * 10,14 [Kg/m]$$

$$P_{\text{IPE120}} = 131,82 [Kg]$$

Rigidizadores IPE80 (6 [Kg/m])

Longitud total IPE80: 13 (m)

Peso total:

$$P_{IPE80} = 13(m) * 6 [Kg/m]$$

$$P_{IPE80} = 78 [Kg]$$

Rigidizadores UPN100 (10,6 [Kg/m]):

Longitud total UPN100: 18 (m)

Peso total:

$$P_{UPN120} = 18(m) * 10,6 [Kg/m]$$

$$P_{UPN120} = 190,8 [Kg]$$

El peso del conjunto de rigidizadores es:

$$P_{Rigidizadores} = P_{IPE120} + P_{IPE80} + P_{UPN100}$$

$$P_{Rigidizadores} = 131,82 [Kg] + 78[Kg] + 190,8[Kg]$$

$$P_{Rigidizadores} = 400,62[Kg]$$

El peso de autoparte es de 40 [Kg]

$$P_{Total} = P_{Agua} + P_{Tanque} + P_{Rigidizadores} + P_{Autoparte}$$

$$P_{Total} = 4580[Kg] + 400,62[Kg] + 365,34[Kg] + 40[Kg]$$

$$P_{Total} = 5385,96[Kg]$$

Se coloca 6 pedestales niveladores en toda la base del tanque por lo tanto el peso que soporta cada nivelador es de:

$$P_{C/N} = \frac{P_{Total}}{4}$$

$$P_{C/N} = \frac{5385,96 [Kg]}{4}$$

$$P_{C/N} = 1346,5 [Kg]$$

Se coloca 4 pedestales niveladores marca “CARRLANE” cuyo perno es M12.

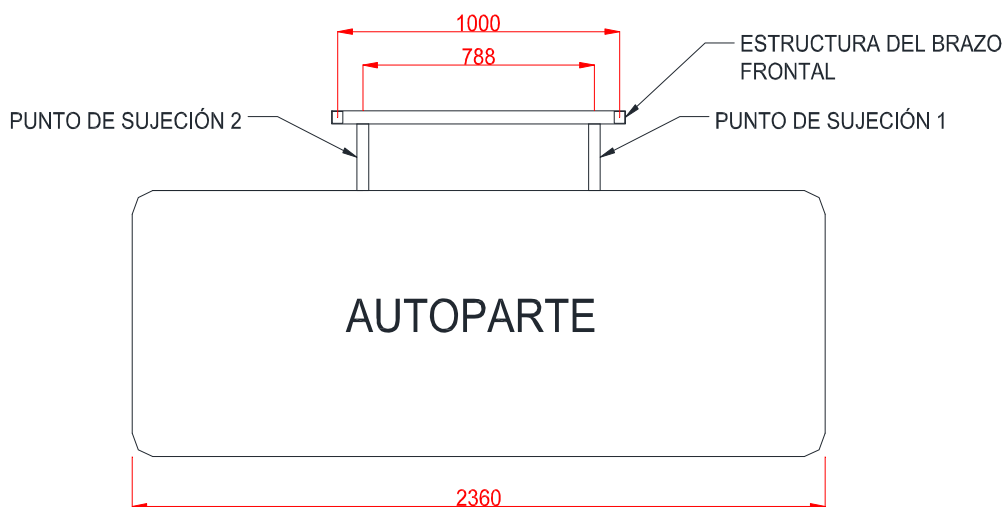


**Fig. 3. 23.- Pedestal nivelador de tornillo de acero negro**

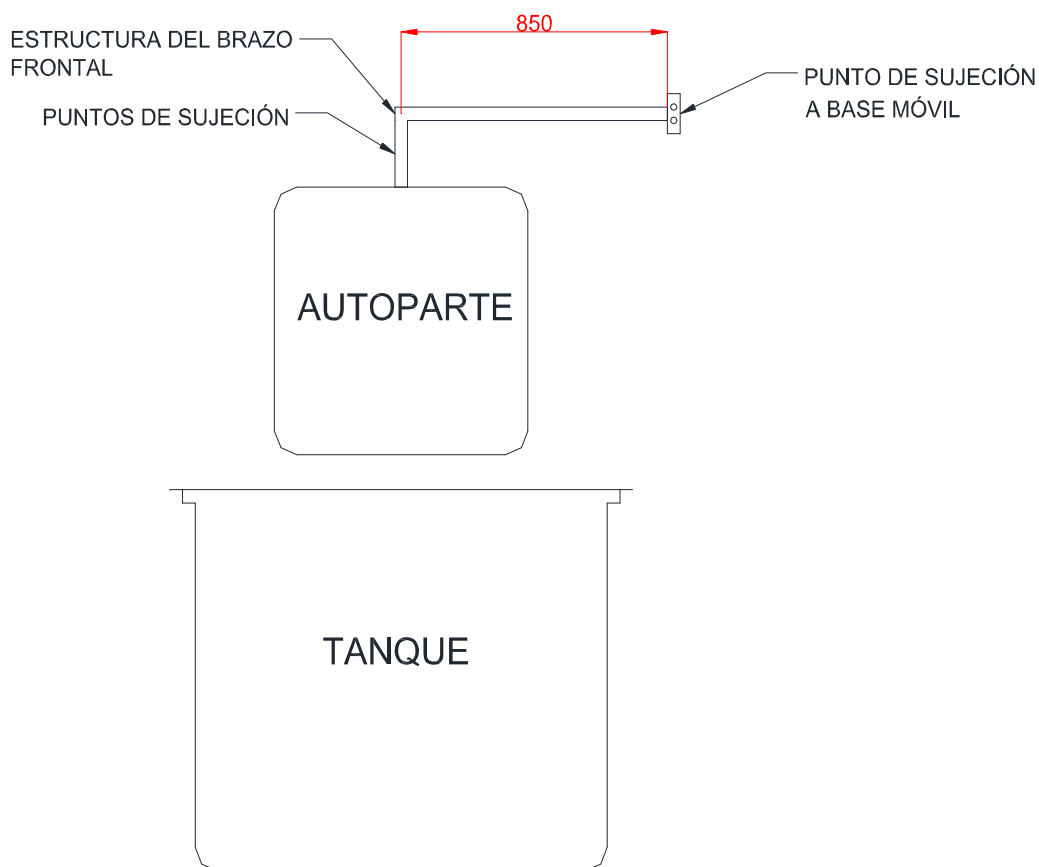
Recuperado de: [www.carrlane.com](http://www.carrlane.com)

### 3.1.1.2. Estructura y sistema de elevación

La estructura debe soportar un peso máximo de 40 kg, considerando que el ancho del auto parte de mayor dimensión es de 2,36 metros por tal razón se diseña un elemento que pueda contener al menos 2 puntos de sujeción, Fig. 3. 24, evitando que el autoparte oscile y garantizando el procedimiento correcto para el proceso de impresión por transferencia de agua.



**Fig. 3. 24.- Puntos de sujeción del autoparte, vista frontal**



**Fig. 3. 25.- Vista lateral del tanque y del autoparte.**

La estructura del brazo frontal debe estar sujeta a un mecanismo que permita su desplazamiento en forma ascendente o descendente y situar al autoparte en el centro del ancho del tanque. El esquema general y asignación de nombres a elementos se describe en la Fig. 3.25.

Las ventajas y desventajas del sistema de elevación se expresan en la Tabla 3. 16. Considerando las opciones del Capítulo 2.

**Tabla 3. 16**

**Ventajas y desventajas de sistemas de elevación**

Elemento	Ventaja	Desventaja
Tornillo de potencia	Sistema autotrabante, soporta elevado peso	Mantenimiento, Manufactura.
Cilindros neumáticos	Manufactura nula.	Costo elevado por la carrera del pistón.

➔ Continúa

Piñón-Cremallera	Menor número de partes que las opciones anteriores	Sistema no autotrabante.
------------------	--	--------------------------

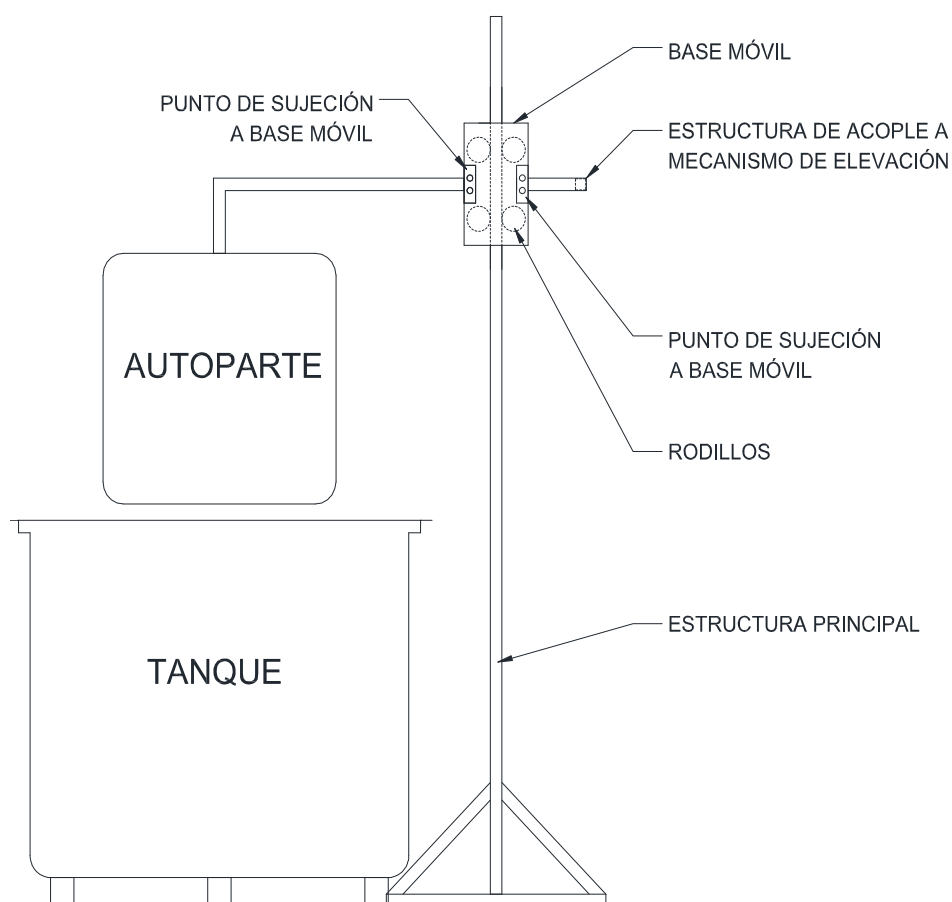
**Tabla 3. 17****Tabla de ponderación del sistema de elevación**

Parámetros	Tornillo de potencia	Cilindro neumático	Piñón-cremallera
Manufactura ( / 1 punto)	0,5	1	0,8
Seguridad autotrabante ( / 2 puntos)	2	1,5	0,8
Menor número de elementos ( / 1 punto)	0,8	0,5	1
Costo ( / 1 punto)	0,8	0,5	1
Total ( / 5 puntos)	4,1	3,5	3,6

La Tabla 3. 19, se encuentra las calificaciones a las opciones del capítulo 2 para el sistema elevación de acuerdo a los parámetros más importantes para el diseño de la máquina.

Se concluye por la Tabla 3. 19 para el sistema de elevación la utilización del tornillo de potencia y su respectiva tuerca, la tuerca se encuentre empotrada al brazo posterior a través de un acople.

La estructura del brazo frontal está empatada a la base móvil que se desplaza en sentido vertical, la base móvil es construida con rodillos guía, para reducir el rozamiento, los cuales tienen como guía los tubos cuadrados de la estructura principal. En la Fig. 3.26 se detalla un esquema de la vista parcial lateral de la estructura con los nombres de algunas partes.



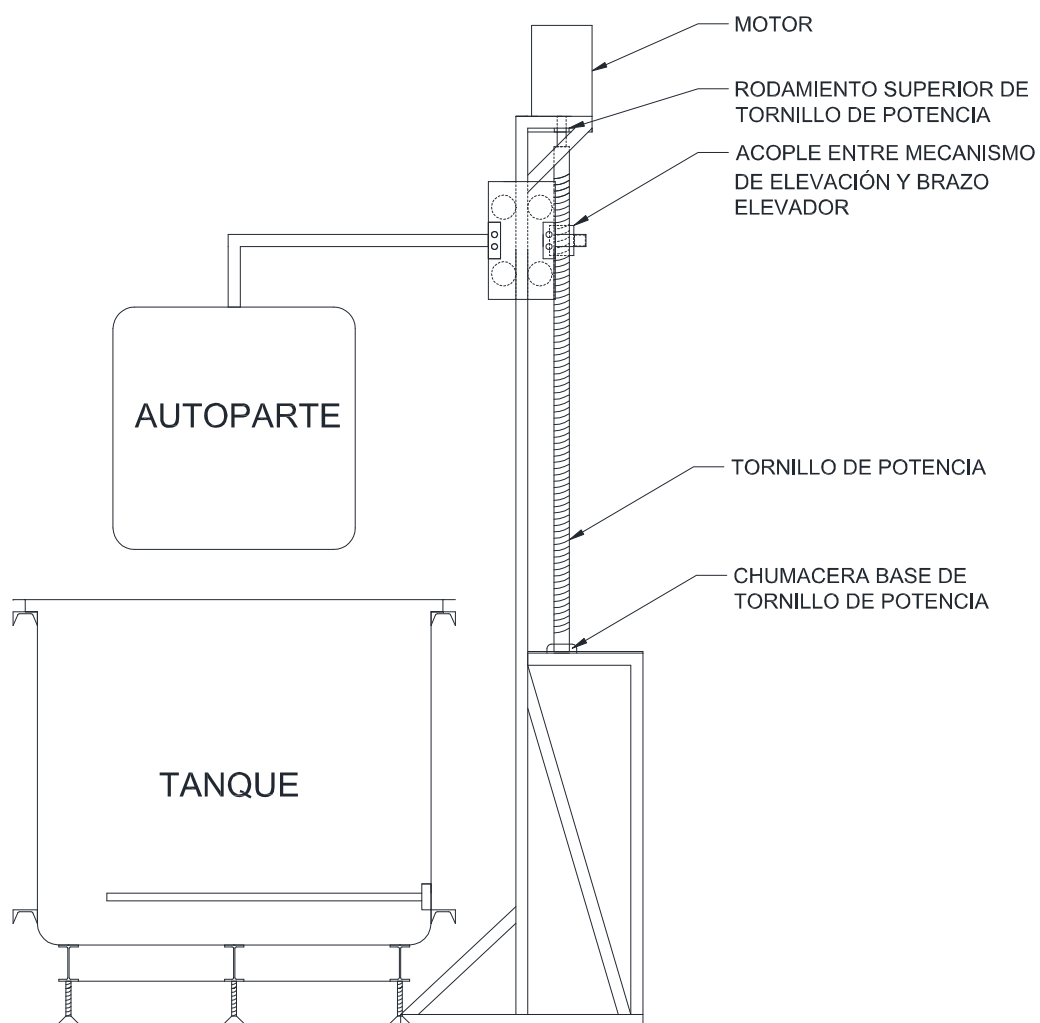
**Fig. 3. 26.- Vista lateral de la estructura principal**

La Tabla 3. 19, se encuentra las calificaciones a las opciones del capítulo 2 para el sistema elevación de acuerdo a los parámetros más importantes para el diseño de la máquina.

Se concluye por la Tabla 3. 19 para el sistema de elevación la utilización del tornillo de potencia y su respectiva tuerca, la tuerca se encuentre empotrada al brazo posterior a través de un acople.

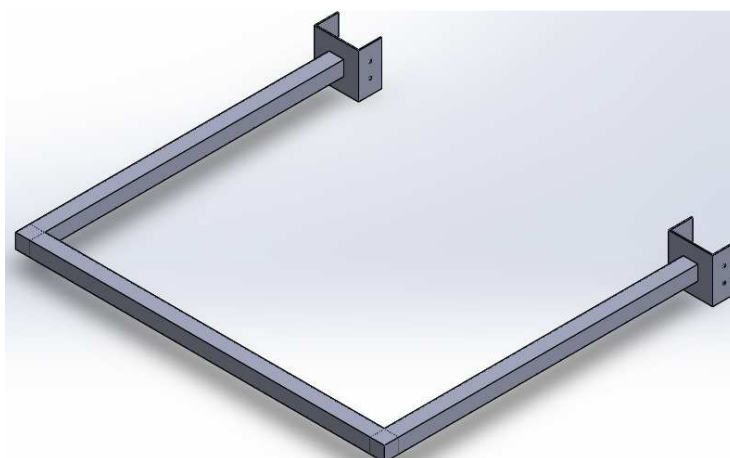
La estructura del brazo frontal está empatada a la base móvil que se desliza en sentido vertical, la base móvil es construida con rodillos guía, para reducir el rozamiento, los cuales tienen como guía los tubos cuadrados de la estructura principal. En la Fig. 3.26 se detalla un esquema de la vista parcial lateral de la estructura con los nombres de algunas partes.



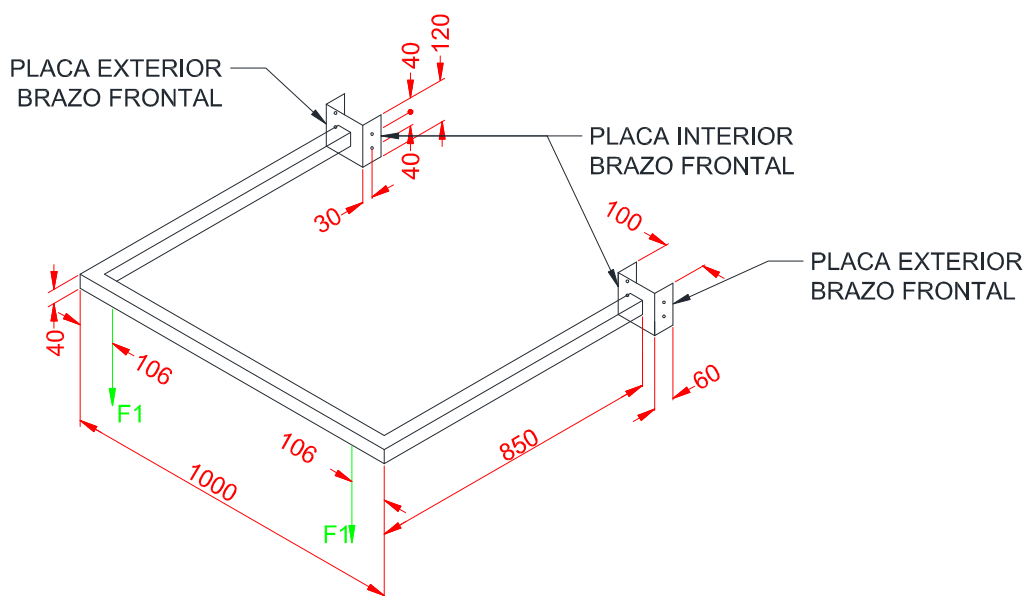


**Fig. 3. 27.- Esquema general de la máquina**

3.1.1.2.1. Brazo de frontal



**Fig. 3. 28.- Brazo frontal**



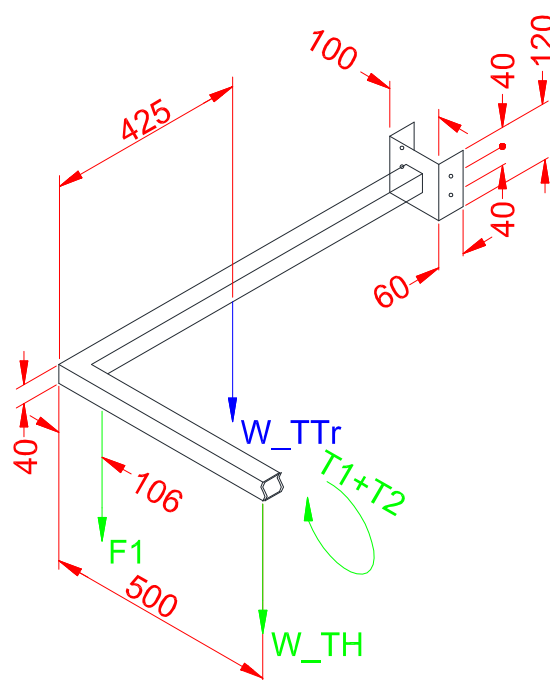
**Fig. 3. 29.- Placas interiores y exteriores para brazo frontal de elevación**

#### 3.1.1.2.1.1. Cálculo de esfuerzos para la sección del brazo frontal

El cálculo de esfuerzos y verificación de elementos se realiza con el diagrama de cuerpo libre de una parte del brazo frontal.

La estructura se asume tubo cuadrado estructural de 40mm x 2mm.

Por la simetría de la pieza se puede realizar el corte como muestra la Fig. 3.30



**Fig. 3. 30.- Diagrama de cuerpo libre de brazo elevador**

Se usa la siguiente nomenclatura:

F1: Fuerza producida por el peso del autoparte, tiene un peso máximo de 40kg y se considera 2 puntos de sujeción por tal razón el valor de F1 es de 20kg

$W_{TH}$ : Peso del tubo horizontal de la estructura, su peso está dividida en 2, pues el brazo frontal tiene 2 puntos de apoyo a la estructura principal.

$W_{TTr}$ : Peso del tubo transversal de la estructura del brazo frontal.

T1: Torque producido por  $W_{TH}$

T2: Torque producido por F1

$$W_{TH} = \frac{W_H * L_{WH}}{2} * g$$

Donde:

$W_H$ : Peso del tubo estructural por metro

$L_{WH}$ : Longitud del tubo horizontal

g: Gravedad

$$W_{TH} = \frac{2,332 \left[ \frac{kg}{m} \right] * 1[m]}{2} * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W_{TH} = 11,44 [N]$$

Para  $W_{TTr}$ :

$$W_{TTr} = W_H * L_{WTTr} * g$$

Donde:

$L_{WTTr}$ : Longitud de tubo horizontal transversal

$$W_{TTr} = 2,332 \left[ \frac{kg}{m} \right] * 0,85[m] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W_{TTr} = 19,45[N]$$

Para F1:

$$F1 = 20[kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$F1 = 196,2[N]$$

El torque producido por cada fuerza está dado por:

$$T1 = W_{TH} * L1$$

Donde:

L1: Longitud donde actúa  $W_{TH}$

$$T1 = 11,44[N] * 0,5[m]$$

$$T1 = 5,72[Nm]$$

Para T2

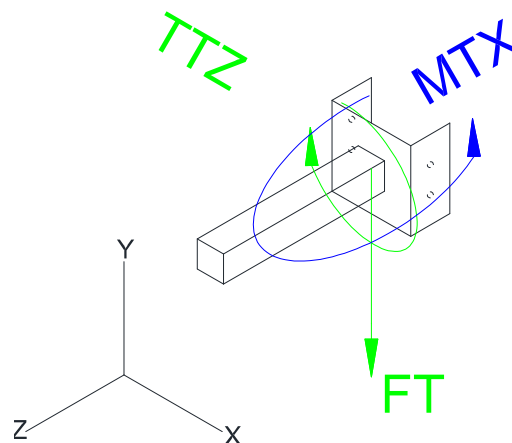
$$T2 = F1 * d_{F1}$$

Donde:

$d_{F1}$ : Distancia donde actúa la fuerza F1

$$T2 = 196,2[N] * 0,106[m]$$

$$T2 = 20,8[Nm]$$



**Fig. 3. 31.- Momento, torque y fuerza resultante en el brazo elevador**

Para torques, momentos y la fuerza total se asigna la siguiente nomenclatura:

$T_{TZ}$ : Torque total respecto al eje "Z"

$M_{TX}$ : Momento total respecto al eje "X"

$F_T$  Fuerza total en la base del tubo del brazo elevador

Para  $F_T$ :

$$F_T = W_{TH} + W_{TTR} + F_1$$

$$F_T = 11,44[N] + 19,45[N] + 196,2[N]$$

$$F_T = 227,1[N]$$

El valor de  $T_{TZ}$ :

$$T_{TZ} = T_1 + T_2$$

$$T_{TZ} = 5,72[N] + 20,8[N]$$

$$T_{TZ} = 26,52[Nm]$$

El valor de  $M_{TX}$ :

$$M_{TX} = (F_1 + W_{TH}) * L_{WTTT} + W_{TTR} * d_{WTTT}$$

Donde:

$d_{WTTT}$ : Distancia para torque de  $W_{TTR}$ .

$$M_{TX} = 207,64[N] * 0,85[m] + 19,45[N] * 0,425[m]$$

$$M_{TX} = 184,76[Nm]$$

El valor del esfuerzo cortante puro es:

$$\tau_{LMÁX} = \frac{V}{A} = \frac{F_t}{A}$$

Donde:

V: Fuerza aplicada

A: Sección donde se aplica la fuerza V.

$$\tau_{LMÁX} = \frac{227,1[N]}{40^2 mm^2 - 36^2 mm^2}$$

$$\tau_{LMÁX} = 0,75 [Mpa]$$

El Esfuerzo de torsión para “tubos de pared delgada cerrados” (Budynas&Nisbet, 2011)

$$\tau_t = \frac{T}{2 * A_m * t} = \frac{T_{Tz}}{2 * A_m * t}$$

Donde:

T: Torque que actúa en la pieza

A<sub>m</sub>: Área contenida por la línea mediana de la sección.

t: Espesores constante de tubo.

$$A_m = (40[mm] - 2[mm])^2$$

$$A_m = 1444 mm^2$$

$$\tau_t = \frac{26,52[Nm]}{2 * 0,001444[m^2] * 0,002m}$$

$$\tau_t = 4590794,67 [Pa]$$

$$\tau_t = 4,6 [MPa]$$

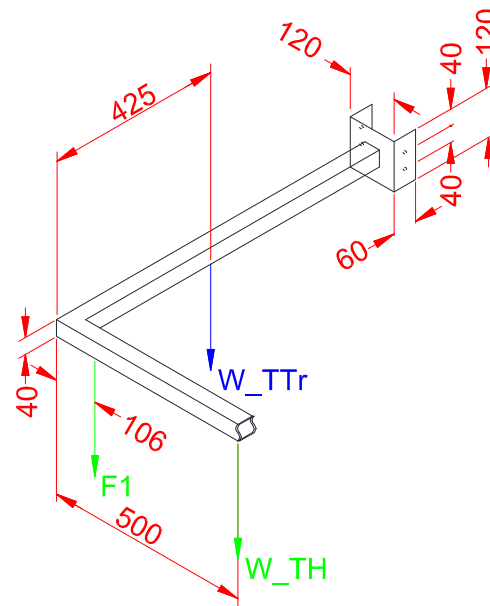
El esfuerzo transversal es:

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{M_{Tx}}{S}$$

S: Módulo resistenten (3,668[cm<sup>3</sup>])

$$\sigma = \frac{184,76[Nm]}{3,668[cm^3]}$$

$$\sigma = 50,37[MPa]$$



**Fig. 3. 32.- Fuerzas actuantes en el brazo frontal**

En la Fig. 3. 28 se representa las fuerzas que actúan en el brazo frontal.

F1: Peso medio del autoparte

W<sub>TH</sub>: Peso medio del tubo horizontal frontal

W<sub>TTr</sub>: Peso del tubo transversal

W<sub>H</sub>: Peso del tubo estructural por metro

El valor de las fuerzas es:

$$F_1 = 20[\text{kg}] * 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F_1 = 196,2[\text{N}]$$

$$W_{TH} = L_{TH} * W_H * g$$

$$W_{TH} = 0,5[\text{m}] * 2,332 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] * 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$W_{TH} = 11,44[\text{N}]$$

$$W_{TTr} = L_{TTr} * W_H * g$$

$$W_{TTr} = 0,85[\text{m}] * 2,332 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right] * 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$W_{TTr} = 19,46[N]$$

La fuerza total  $T_T$ :

$$F_T = F_1 + W_{TH} + W_{TTr}$$

$$F_T = 227,09[N]$$

Las fuerzas que causan torque son

$$T_{W_1} = W_1 * d_{TW_1}$$

Donde:

$T_{W_1}$ : Torque producido por la fuerza  $W_1$

$d_{TW_1}$ : Distancia perpendicular a la fuerza  $W_1$

$$T_{W_1} = 11,44[N] * 0,5[m]$$

$$T_{W_1} = 5,72[Nm]$$

Para  $T_{F_1}$ :

$$T_{F_1} = W_{F_1} * d_{TF_1}$$

Donde:

$T_{F_1}$ : Torque producido por la fuerza  $F_1$

$d_{TF_1}$ : Distancia perpendicular a la fuerza  $F_1$

$$T_{F_1} = 196,2[N] * 0,106[m]$$

$$T_{F_1} = 20,8[Nm]$$

El torque total  $T_T$  es:

$$T_T = T_{F_1} + T_{W_1}$$

$$T_T = 20,8[Nm] + 5,72[Nm]$$



$$T_T = 26,52[Nm]$$

Para los momentos que actúan en el brazo elevador frontal:

Momento producido por la fuerza  $W_1$ :

$$M_{W_1} = W_1 * d_{MW_1}$$

Donde:

$d_{MW_1}$ : Distancia perpendicular para el torque producido por la fuerza  $W_1$

$$M_{W_1} = 11,44[N] * 0,85[m]$$

$$M_{W_1} = 9,73[Nm]$$

Para el momento producido por  $F_1$ :

$$M_{F_1} = F_1 * d_{MF_1}$$

Donde:

$d_{MF_1}$ : Distancia perpendicular para el torque producido por la fuerza  $F_1$

$$M_{F_1} = 196,2[N] * 0,85[m]$$

$$M_{F_1} = 166,77[Nm]$$

Para el momento producido por la fuerza  $W_2$ :

$$M_{W_2} = W_2 * d_{MW_2}$$

Donde:

$d_{MW_2}$ : Distancia perpendicular para el torque producido por la fuerza  $W_2$

$$M_{W_2} = 19,45[N] * 0,425[m]$$

$$M_{W_2} = 8,27[Nm]$$

Dado que se encuentran en el mismo plano el momento total es:

$$M_T = M_{W_1} + M_{F_1} + M_{W_2}$$

$$M_T = 184,77[N * m]$$

Los torques y momentos que actúan en el brazo frontal se muestran en resumen en la Fig. 3 .27.

Para el cálculo de esfuerzos se emplea la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo explicada en el Capítulo 2

El esfuerzo cortante puro está dado por la siguiente expresión:

$$\tau_v = \frac{F_T}{A_{\sigma_v}}$$

$$\tau_v = 0,75[MPa]$$

El esfuerzo transversal es:

$$\sigma_M = \frac{M_T * C}{I}$$

Donde:

C: Distancia al eje neutro

I: Momento de inercia de la sección transversal respecto al eje neutro.

$$\sigma_M = 50,36[MPa]$$

Esfuerzo de torsión:

$$\tau_{XY} = \frac{T_T}{Q}$$

Donde:

Q: Módulo polar de la sección.

$$\tau_{XY} = 4,59[MPa]$$

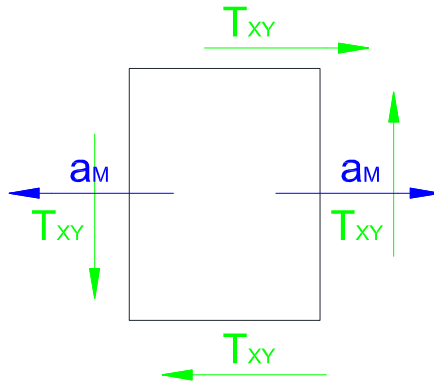
Los esfuerzos principales en el extremo de la placa están dados por:

Por lo tanto:

$$\sigma_X = \sigma_M$$

$$\sigma_x = 50,36[\text{MPa}]$$

$$\tau_y = 4,59[\text{MPa}]$$



**Fig. 3. 33.- Estado de esfuerzos aplicados**

Aplicando T.E.C.M

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 36,96[\text{Mpa}]$$

Cumpliendo que:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y^{**}}{2}$$

Donde:

$S_y^{**}$ : Esfuerzo de fluencia calculado

$$S_y^{**} = 73,42[\text{MPa}]$$

Se debe cumplir que:

$$S_y^{**} < S_y$$

Donde:

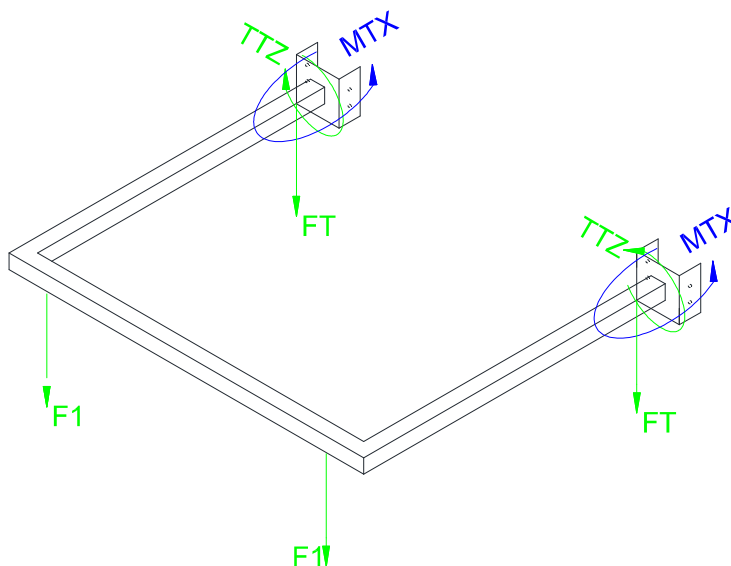
$S_y$ : Esfuerzo de fluencia del material

Calculado  $S_y = 250[\text{Mpa}]$  y el esfuerzo de diseño es 170 [MPa], cumple la condición de la inecuación del esfuerzo de fluencia calculado se concluye que las dimensiones y material seleccionado inicialmente es apto para la aplicación.

El factor de seguridad F.S. es:

$$F.S. = \frac{S_y}{S_y^{**}}$$

$$F.S. = 2,3$$

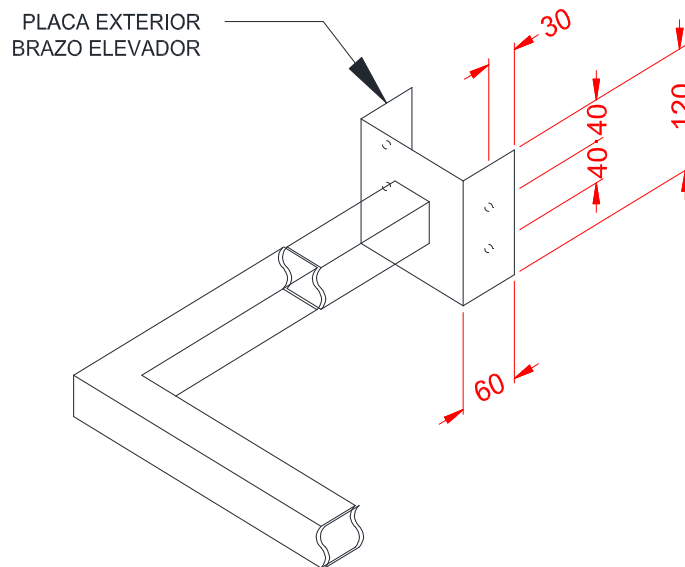


**Fig. 3. 34.- Fuerzas, momentos y toques resultantes en brazo frontal**

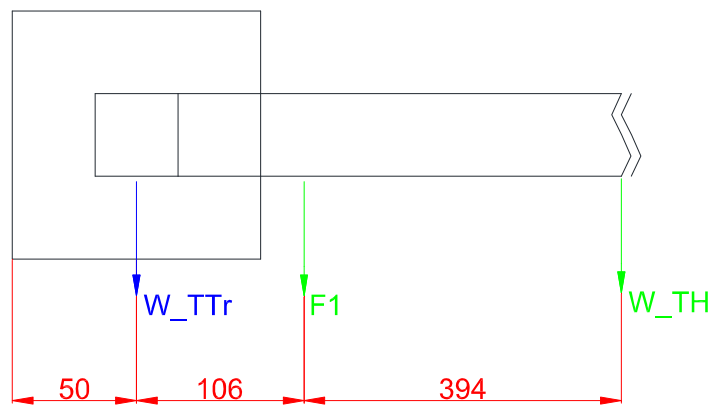
3.1.1.2.1.2. Cálculo de esfuerzo en la placa lateral para la junta emperrada.

La Fig. 3.34 indica las fuerzas que actúan en la placa lateral del brazo frontal elevador frontal, con el resultado de las reacciones se justifica los elementos a seleccionar como es el caso del diámetro del perno que une el brazo elevador con la placa de la base móvil así como el espesor de la placa lateral y de la placa de la base móvil.

Se examina en la placa lateral interna o externa del brazo elevador, el análisis se lo hace en la placa externa considerando que hay más distancia desde esta hasta las fuerzas planteadas y por consecuencia el torque a este punto es también mayor.



**Fig. 3. 35.- Placa exterior de brazo elevador**



**Fig. 3. 36.- Vista frontal brazo elevador**

Se calcula el torque y el momento que produce cada fuerza respecto a la placa exterior del brazo elevador.

El torque calculado para  $W_{TH}$  respecto al centro de la placa exterior es:

$$T_{W_{TH}} = W_{TH} * d_{TW_{TH}}$$

Donde:

$d_{TW_{TH}}$ : Distancia perpendicular a  $W_{TH}$

$$T_{W_{TH}} = 11,44[N] * 0,550[m]$$

$$T_{W_{TH}} = 6,41[Nm]$$

El torque calculado para  $F_1$  respecto a la placa exterior es:

$$T_{F_1} = F_1 * d_{TF_1}$$

Donde:

$d_{TF_1}$ : Distancia perpendicular a  $F_1$

$$T_{F_1} = 192,6[N] * 0,156[m]$$

$$T_{F_1} = 32,57[Nm]$$

El torque calculado para  $W_{TTR}$  respecto a la placa exterior es:

$$T_{W_{TTr}} = W_{TTr} * d_{TW_{TTr}}$$

Donde:

$d_{TW_{TTr}}$ : Distancia perpendicular a  $W_{TTR}$

$$T_{W_{TTr}} = 19,45[N] * 0,05[m]$$

$$T_{W_{TTr}} = 1,17[Nm]$$

Por lo tanto el torque total está dado por la suma de torques de cada fuerza correspondiente:

$$T_T = T_{W_H} + T_{F_1} + T_{W_{TTr}}$$

$$T_T = 41,42[Nm]$$

De igual forma las fuerzas producen un momento total respecto al centro de la placa exterior calculados por:

El momento calculado para  $W_{TH}$  respecto a la placa exterior es:

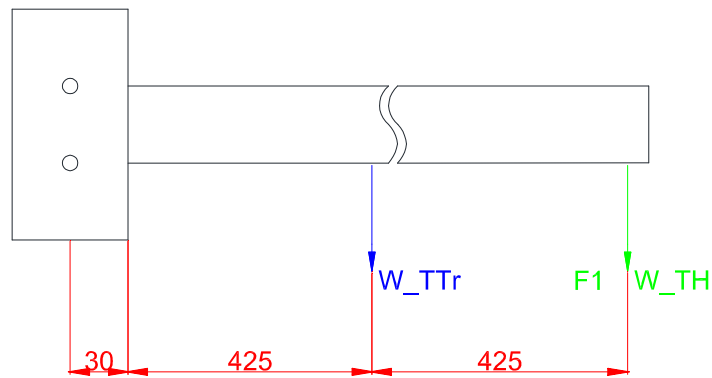
$$M_{W_{TH}} = W_{TH} * d_{MW_{TH}}$$

Donde:

$d_{MW_{TH}}$ : Distancia perpendicular a  $W_{TH}$

$$M_{W_{TH}} = 11,44[N] * 0,88[m]$$

$$T_{W_{TH}} = 10,07[Nm]$$



**Fig. 3. 37.- Vista lateral brazo elevador**

El momento calculado para F1 respecto al centro de la placa exterior es:

$$M_{F_1} = F_1 * d_{MF_1}$$

Donde:

$d_{MF_1}$ : Distancia perpendicular a F1

$$M_{F_1} = 192,6[N] * 0,88[m]$$

$$M_{F_1} = 172,66[Nm]$$

El momento calculado para  $W_{TTr}$  respecto a la placa exterior es:

$$M_{W_{TTr}} = W_{TTr} * d_{MW_{TTr}}$$

Donde:

$d_{MW_{TTr}}$ : Distancia perpendicular a  $W_{TTr}$

$$M_{W_{TTr}} = 19,45[N] * 0,455[m]$$

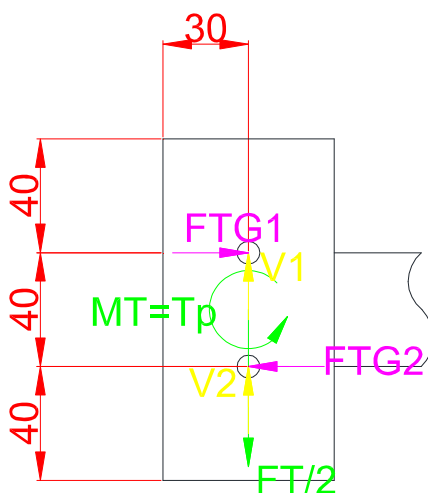
$$M_{W_{TTr}} = 8,85[Nm]$$

Por lo tanto el torque total estará dado por la suma de torques de cada fuerza:

$$M_T = M_{W_H} + M_{F_1} + M_{W_{TTr}}$$

$$M_T = 191,6[Nm]$$

El torque y el momento total actúan como lo indica la Fig. 3.27, sin embargo en la placa exterior el torque total se convierte en momento y el momento total se convierte en torque como se especifica en Fig. 3.34.



**Fig. 3. 38.- Fuerzas, momentos y torque resultante en la placa exterior del brazo frontal**

La Fuerza total (la suma de F1, W\_TH, W\_TTr) se divide entre dos, dado que hay 2 placas, una interior y una exterior. La fuerza se traslada al centro de la placa exterior, consecuencia se identifica V1 y V2, las reacciones producto de la mitad de la fuerza total, las fuerzas tangenciales FTG1 y FTG2 producto del torque resultante.

$$V_1 = V_2 = \frac{F_T}{2}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{227,09[N]}{4}$$

$$V_1 = V_2 = 56,77[N]$$

$$T_P = M_T = 191,57 [Nm]$$

$$F_{TG1} = F_{TG2} = \frac{T_P}{2 * r}$$

Dada la dirección de  $F_{TG}$  y  $V_1$  se calcula la fuerza resultante  $V_T$



$$V_T = \sqrt{F_{TG}^2 + V_1^2}$$

Donde:

r: Es el radio del centro de la placa al centro de cada agujero.

$$F_{TG1} = F_{TG2} = \frac{191,57[Nm]}{2 * 0,02[m]}$$

$$F_{TG1} = F_{TG2} = 4789,24 [N]$$

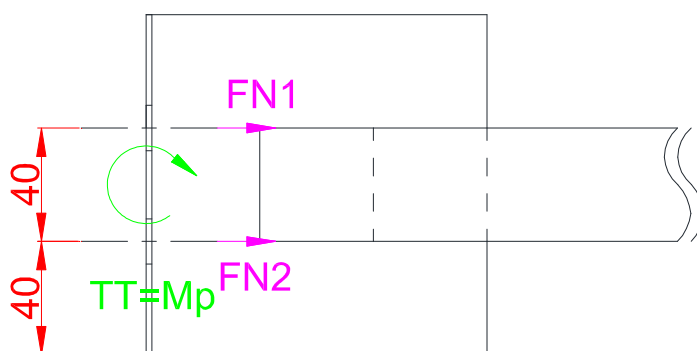
$$V_T = 4789,58[N]$$

El cálculo de esfuerzo cortante se lo realiza considerando un perno de acero M10 con rosca parcial cuya área resistente está tabulada y es igual a 58,034mm<sup>2</sup>.

Por lo tanto:

$$\tau = \frac{V_T}{A_{roscada}}$$

$$\tau = 82,54[MPa]$$



**Fig. 3. 39.- Momento que actúa en la placas del brazo elevador, vista frontal.**

Aplicando la Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo se obtiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_X}{2}\right)^2 + \tau_{Xy}^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 82,6[MPa]$$

Cumpliendo que:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y^{**}}{2}$$

Donde:

$S_y^{**}$ : Esfuerzo de fluencia calculado

$$S_y^{**} = 165,21[MPa]$$

Se debe cumplir que:

$$S_y^{**} < S_y$$

Donde:

$S_y$ : Esfuerzo de fluencia del material

Dado que  $S_y = 240[MPa]$  y que el esfuerzo de dise\u00f1o es de  $170[MPa]$ , cumple la condici\u00f3n de la inecuaci\u00f3n de esfuerzo de fluencia se concluye que las dimensiones y material seleccionado inicialmente para el perno es apto para la aplicaci\u00f3n. El factor de seguridad F.S. es:

$$F.S. = \frac{S_y}{S_y^{**}}$$

$$F.S. = 1,1$$

### 3.1.1.2.1.3. C\u00e1lculo de esfuerzos para placas laterales del brazo frontal

Calculadas las fuerzas, momentos y torques se debe verificar si el espesor de las placas exterior e interior del brazo elevador es el adecuado.

Las placas tienen un espesor de 4mm y se realizar\u00e1 el an\u00e1lisis con la teor\u00eda de "concentradores de esfuerzos, agujeros con carga del pasador" (Juvinall, 1991)

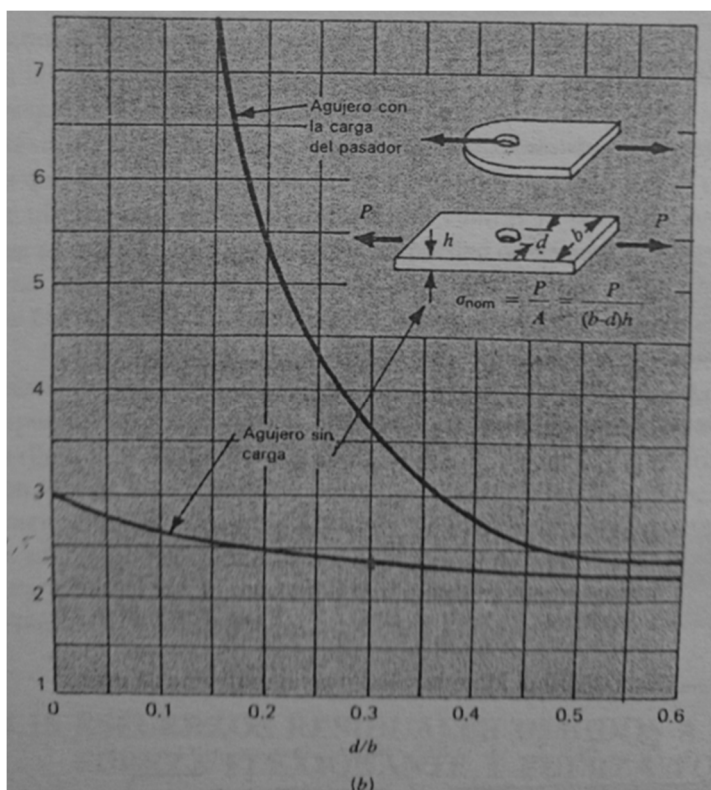


Fig. 3. 40.- Placa con agujero central a flexión.

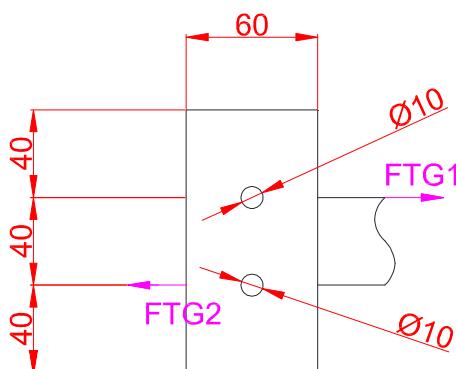


Fig. 3. 41.- Dimensiones placa lateral brazo elevador

Por lo tanto:

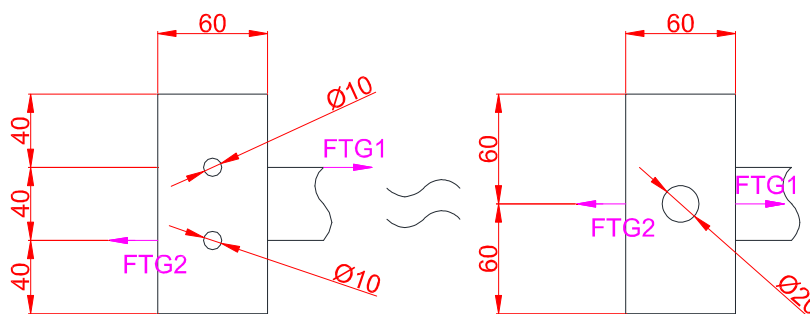


Fig. 3. 42.- Área neta efectiva placas laterales brazo elevador

$$r = \frac{d}{b}$$

Donde:

d: Diámetro del agujero

b: ancho de la placa.

$$r = \frac{10}{60}$$

$$r = 0,17$$

De acuerdo a la Fig. 3.40, el factor de concentrador de esfuerzo es:

$$K = 6,5$$

Es esfuerzo nominal:

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A} = \frac{F_{TG}}{(b - d) * e}$$

Donde:

e: Espesor de la placa

$$\sigma_{nom} = \frac{4789,24[N]}{(0,12[m] - 0,02[m]) * 0,004[m]}$$

$$\sigma_{nom} = 11,97[MPa]$$

El esfuerzo total es:

$$\sigma_T = K * \sigma_{nom}$$

$$\sigma_T = 6,5 * 11,97[MPa]$$

$$\sigma_T = 77,81[MPa]$$

El esfuerzo total calculado es menor al esfuerzo de diseño del acero (170[MPa]) se verifica las dimensiones de la placa. F.S. = 2,8

### 3.1.1.2.2. Cálculo de esfuerzos para la placa de la base móvil.

Para la verificación de dimensiones se utiliza el mismo método usado en el “Cálculo de esfuerzos para placas laterales del brazo frontal”

$$r = \frac{d}{b}$$

Donde:

d: Diámetro del agujero

b: ancho de la placa.

$$r = \frac{80}{390}$$

$$r = 0,21$$

De acuerdo a la Fig. 3.40, el factor de concentrador de esfuerzo es:

$$K = 5$$

Es esfuerzo nominal será:

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A} = \frac{F_{TG}}{(b - d) * e}$$

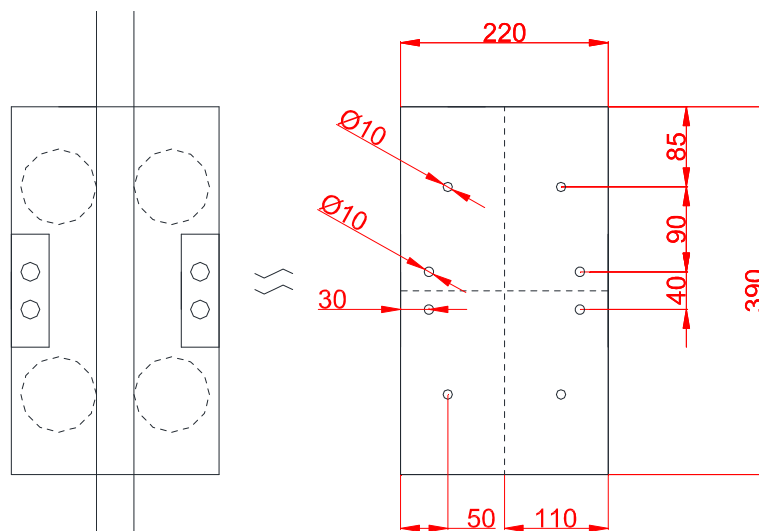
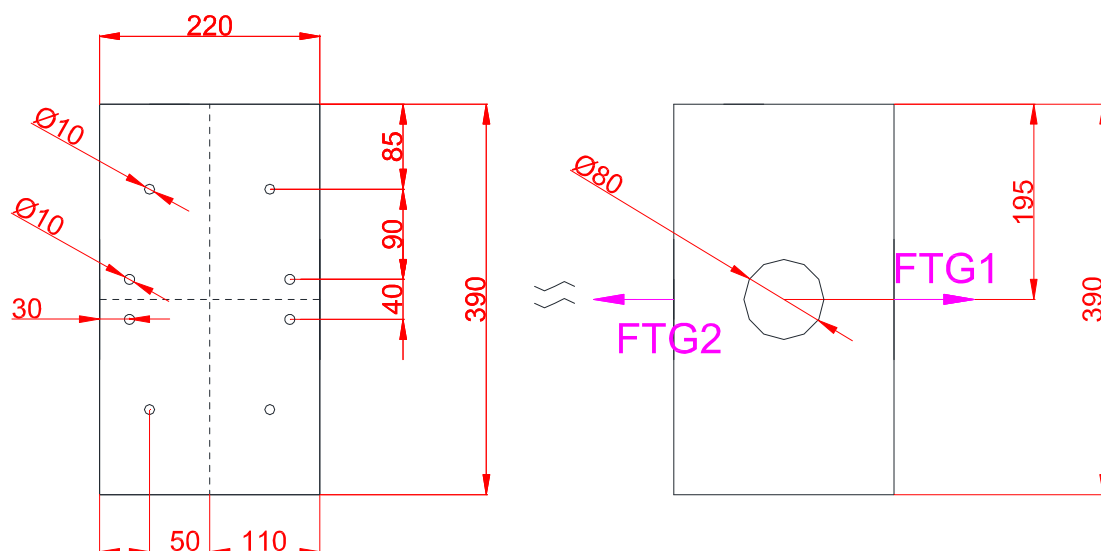


Fig. 3. 43.- Dimensiones placa lateral base móvil



**Fig. 3. 44.- Área neta efectiva placa lateral base móvil**

Donde:

e: Espesor de la placa

$$\sigma_{nom} = \frac{2 * 4789,24 [N]}{(0,39[m] - 0,22[m]) * 0,002[m]}$$

$$\sigma_{nom} = 14,08[MPa]$$

El esfuerzo total será:

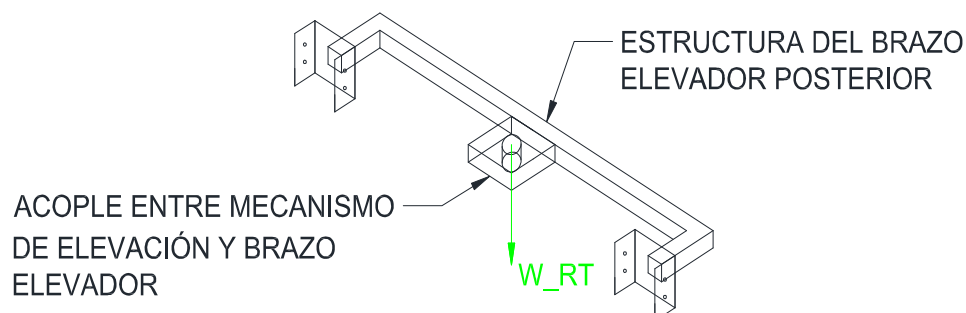
$$\sigma_T = K * \sigma_{nom}$$

$$\sigma_T = 5 * 14,08[MPa]$$

$$\sigma_T = 70,43[MPa]$$

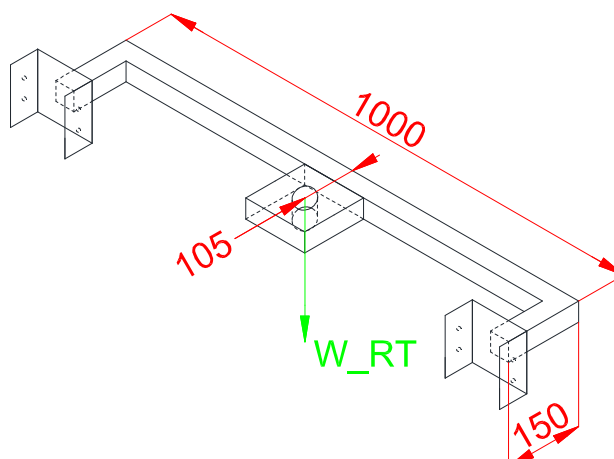
El esfuerzo total calculado es menor al esfuerzo de diseño del acero (170[MPa]) se verifica las dimensiones de la placa de la base móvil. F.S.= 2,4

### 3.1.1.2.3. Cálculo de esfuerzos de la estructura del brazo elevador posterior



**Fig. 3. 45.- Esquema de estructura de brazo elevador posterior y acople a mecanismo de elevación**

El brazo de elevación posterior que se detalla en la Fig. 3.27 se basa en el diseño del brazo de elevación frontal, en el siguiente gráfico se especifican las medidas a usarse.



**Fig. 3. 46.- Dimensiones generales de estructura de acople a mecanismo de elevación**

Dada la simetría del brazo elevador y de la base móvil, las fuerzas resultantes, el momento total y el torque total, mostrados en la Fig. 3.26, actúa en el brazo elevador posterior, sin embargo se calcula la fuerza equivalente  $W_{TR}$  debido al cambio de longitud del tubo transversa del brazo elevador posterior al mecanismo de elevación.

El momento total es:

$$M_T = 184,77[N * m]$$

Por lo tanto el momento equivalente es:

$$M_{EQ} = M_T = 184,77[N * m]$$

La fuerza  $W_{TR}$  será:

$$W_{TR} = \frac{M_{EQ}}{d_{EQ}}$$

Donde:

$d_{EQ}$ : Distancia perpendicular para el  $M_{EQ}$ .

$$W_{TR} = \frac{184,77[Nm]}{0,15[m]}$$

$$W_{TR} = 1231,8[N]$$

Es decir que el brazo elevador posterior debe elevar una fuerza de 1231,8[N] más el peso de la estructura del mecanismo de acople para el brazo de elevación (14,87[N]) por lo tanto la fuerza neta es de 1246,67[N]

**Tabla 3. 18**

**Cálculos de esfuerzo en el tubo estructural cuadrado del brazo posterior.**

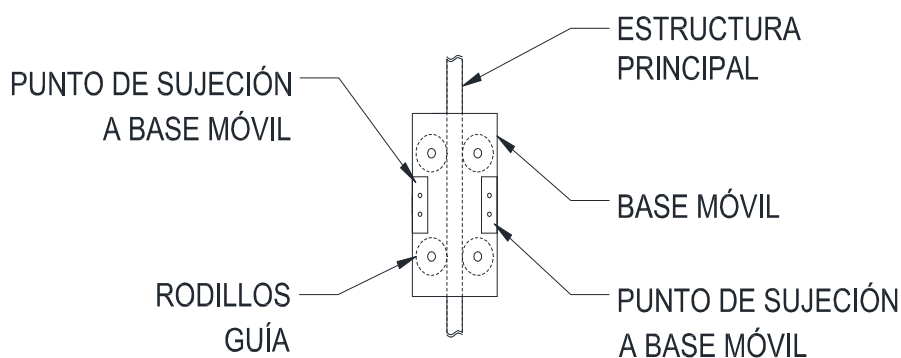
Fuerza Total	1246,67	[N]	E. Cortante puro	$\tau_v =$	4,11	[Mpa]
Torque Total	623,34	[Nm]	E. Torsión	$\tau_{xy} =$	107,92	[Mpa]
Momento Total	187,01	[Nm]	E. Transversal	$\sigma_M =$	50,98	[Mpa]
TECM=	111,38	[Mpa]	$\sigma_M =$	$\sigma_x =$	55,08	[Mpa]
F.S.	1,39	[Mpa]	E. Fluencia	$S_y^{**} =$	122,75	[Mpa]

En la Tabla 3. 18 se presenta el resumen de los cálculos realizados con el mismo procedimiento utilizado para “**Cálculo de esfuerzos para la sección del brazo de elevación**” de esta forma se comprueba que el tubo estructural cuadrado de 40[mm] x 2[mm] puede ser usado en el mecanismo.



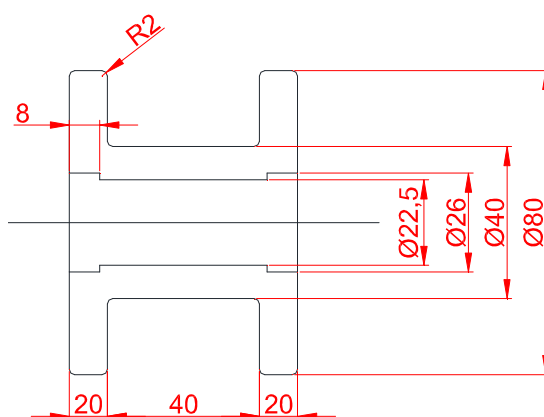
Dado que  $S_y = 170 [Mpa]$  cumple la condición de la inecuación del esfuerzo de fluencia por lo tanto se concluye que las dimensiones y material seleccionado inicialmente es apto para la aplicación.

#### 3.1.1.2.4. Diseño de rodillos guías para base móvil



**Fig. 3. 47.- Esquema de la base móvil de la máquina**

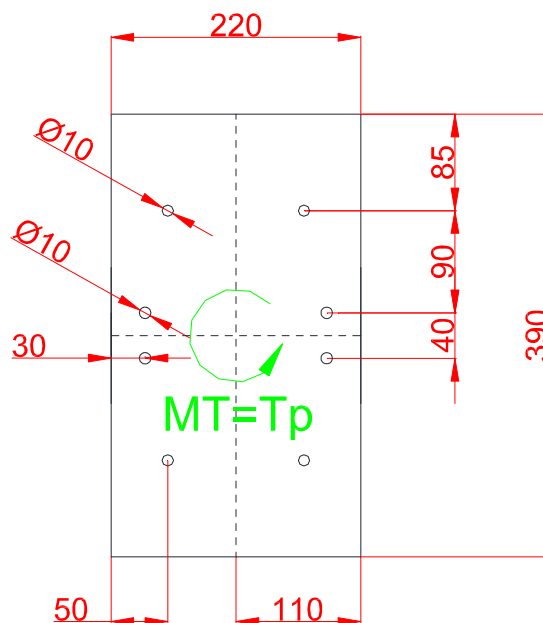
Los rodillos son los encargados de guiar a la base móvil por la estructura principal de la máquina. La base móvil está acoplada por un lado a la estructura del brazo de elevación posterior y por medio de un acople al tornillo de potencia y por el otro al brazo de elevación frontal. Se determina la fuerza total equivalente a la que están sometidos cada uno de ellos y se analiza el punto crítico.



**Fig. 3. 48.- Dimensiones de rodillos guías para base móvil**

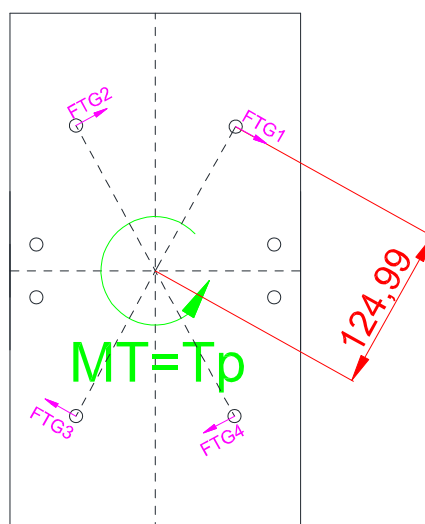
La Fig. 3.48 muestra las dimensiones del rodillo, la ranura de 40[mm] es la guía que va sobre el tubo cuadrado de la estructura principal.

Para determinar la fuerza total que actúa sobre los rodillos se toma como punto de partida el toque resultante total que opera en la placa de la base móvil Fig. 3. 44.



**Fig. 3. 49.- Torque actuante en la placa lateral de la base móvil.**

Los puntos correspondientes a las fuerzas 2 y 4 son los críticos, sobre estos actúa todo el torque "Tp".



**Fig. 3. 50.- Fuerzas tangenciales en agujeros para tornillos de rodillos guía**

$$F_{TG2} = F_{TG4} = \frac{T_p}{2 * r}$$

Donde:

r: Es el radio correspondiente al torque.

$$F_{TG2} = F_{TG4} = \frac{184,77[Nm]}{2 * 0,12499[m]}$$

$$F_{TG2} = F_{TG4} = 739,14[N]$$

El esfuerzo que soportar cada rodillo es:

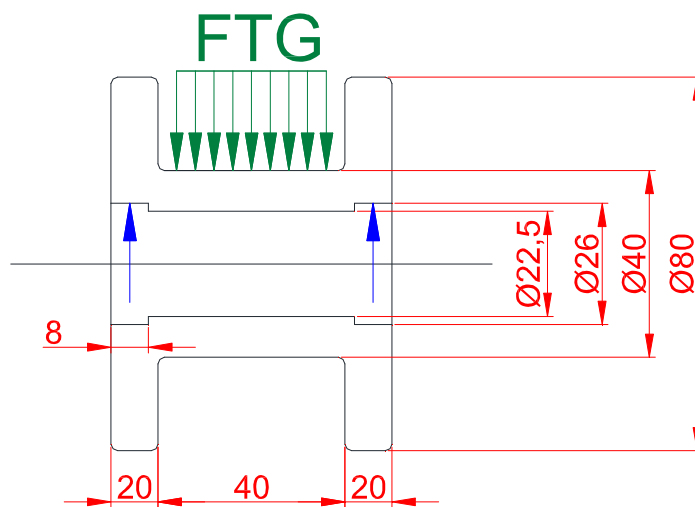


Fig. 3. 51.- Fuerza de esfuerzo cortante puro en rodillos guía

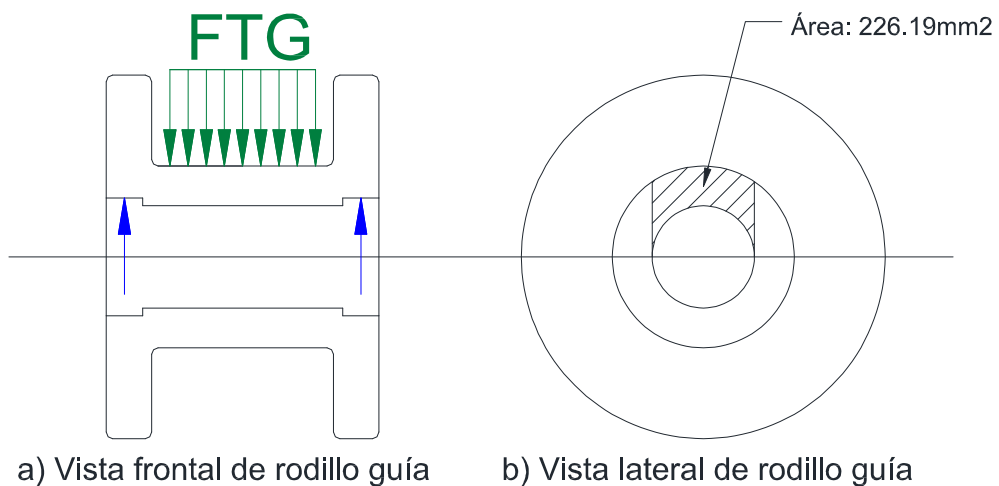


Fig. 3. 52.- Vistas de rodillo guía, Área proyectada que actúa en el esfuerzo cortante puro

$$\tau_v = \frac{F_{TG}}{A}$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante puro

F: Fuerza tangencial

A: Área proyectada.

$$A = 226.19 \text{mm}^2$$

$$\tau = \frac{739.14[N]}{226.19[\text{mm}^2]}$$

$$\tau = 3.27 \text{ [MPa]}$$

**Tabla 3. 19**

**Propiedades mecánicas del Nylon PA6**

<b>Esfuerzo de Fluencia (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de diseño (MPa)</b>
130	90

**Recuperado de: [www.sumiteccr.com](http://www.sumiteccr.com)**

Los rodillos guía están hechos de Nylon, que es un material con muy buenas propiedades mecánicas, resistencia a la tracción, compresión, al desgaste y fácil de maquinar. Además de ser liviano y económico.

Cumpliendo que:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y^{**}}{2}$$

Donde:

$S_y^{**}$ : Esfuerzo de fluencia calculado

$$S_y^{**} = 6.54 \text{ [MPa]}$$

Se cumple que:

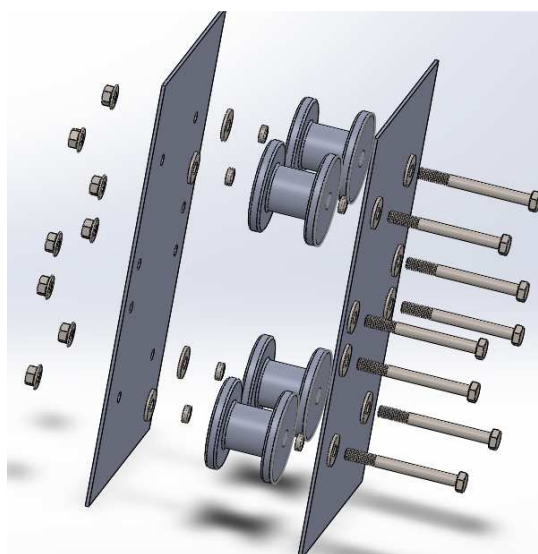
$$S_y^{**} < S_y$$

Factor de seguridad (F.S.)

$$F.S. = \frac{S_y}{S_y^{**}}$$

$$F.S. = \frac{90 [MPa]}{6.54 [Mpa]}$$

$$F.S. = 13.7$$



**Fig. 3. 53.- Vista Explosionada de base móvil de la máquina**

La Fig. 3. 53 indica la base móvil de la máquina, compuesta por 4 rodillos guía, 8 rodamientos, 2 placas laterales, pernos parcialmente roscados con sus respectivas tuercas y arandelas.

#### 3.1.1.2.5. Diseño del sistema de elevación-Tornillo de potencia

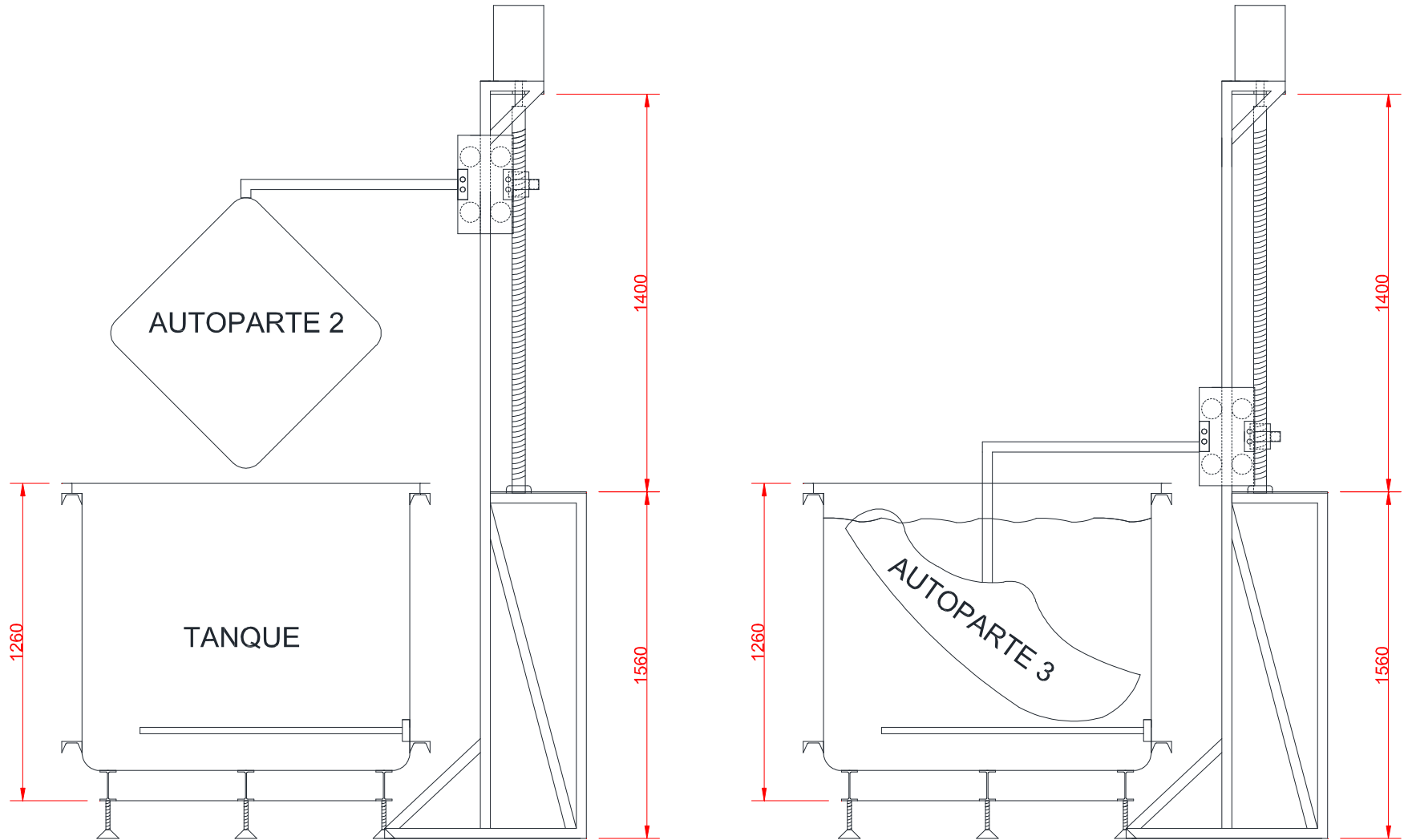
La tabla de ponderación para el conjunto del sistema se detalla en Tabla 3. 46, se diseña el tornillo de potencia con rosca ACME, en la Tabla 2.4 del capítulo 2 se describe la característica de cada tipo de rosca. La rosca ACME es fácil de manufacturar, pero sobre todo tiene la opción de usarse como rosca dividida en un plano axial ideal para el cambio y mantenimiento de la tuerca en caso de avería y su característica de la cual las 2 mitades pueden moverse juntas para compensar el desgaste de la rosca. En base a la Fig. 3.54 se determina la dimensión longitudinal aproximada del tornillo de potencia en base a la altura del tanque y al autoparte más grande.

El tornillo de potencia tiene una longitud de 1,4 metros roscados parcialmente, la carrera del tornillo es de 1,20 metros desde 0,10 metros de uno de sus extremos del cual se conectara al eje de un motor eléctrico a través de chavetas y en el otro extremo está asentado sobre una chumacera.

#### 3.1.1.2.5.1. Cálculo de diámetro medio para el tornillo de potencia

El diseño del tornillo de potencia se basa en la tabla de “Tamaños estándar de cuerdas para tornillos que transmiten potencia” del libro “Fundamentos de diseño para ingeniería mecánica” de autor Robert C. Juvinall como referencia para el número de hilos por pulgada, Tabla 3. 20. (1991)

Es indispensable conocer el diámetro medio del tornillo que se determina considerando la resistencia al desgaste de la tuerca con la ecuación Ec. 2.24 del capítulo 2, se selecciona el material del tornillo en Acero de transmisión 1040 y la tuerca está hecha de bronce, de esta manera se protege al tornillo que en el presente proyecto es el elemento crítico.  $\phi$  es la constante del cuerpo de la tuerca,  $S_{d-ap}$  es el esfuerzo permisible para el conjunto, Tabla 2.5



**Fig. 3. 54.- Medidas referenciales para tornillo de potencia.**

Tabla 3. 20

## Hilos por pulgada de acuerdo al diámetro del tornillo

Diámetro mayor D (pulg)	Hilos por pulgada ACME
$1/4$	16
$5/16$	14
$3/8$	12
$3/8$	10
$7/16$	12
$7/16$	10
$1/2$	10
$5/8$	8
$3/4$	6
$7/8$	6
1	5
$1\ 1/8$	5
$1\ 1/4$	5
$1\ 3/8$	4
$1\ 1/2$	4
$1\ 3/4$	4
2	4



Continúa



2 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	3
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	3
2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3
3	2

Fuente: (Jvinall, 1991)

**Tabla 3. 21**

**Propiedades mecánicas Acero 1040**

<b>Esfuerzo de fluencia (MPa)</b>	<b>Esfuerzo último (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de diseño(MPa)</b>
353	520	270

Fuente: (Jvinall, 1991)

El factor de seguridad para el acero A1040 es:

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo de fluencia}}{\text{Esfuerzo de diseño}}$$

$$F.S. = \frac{353 \text{ [MPa]}}{270 \text{ [MPa]}}$$

$$F.S. = 1,4$$

**Tabla 3. 22**

**Propiedades mecánicas bronce**

<b>Esfuerzo de fluencia (MPa)</b>	<b>Esfuerzo último (MPa)</b>	<b>Esfuerzo de diseño(MPa)</b>
124	241	84

Fuente: (Jvinall, 1991)

El factor de seguridad para el bronce es:

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo de fluencia}}{\text{Esfuerzo de diseño}}$$

$$F.S. = \frac{124 \text{ [MPa]}}{84 \text{ [MPa]}}$$

$$F.S. = 1,5$$

El diámetro medio del tornillo es:

$$d_m \geq \sqrt{\frac{2 * W}{\pi * \varphi * S_{d-ap}}}$$

$$d_m \geq \sqrt{\frac{2 * 1247 \text{ [N]}}{\pi * 3,5 * 12 \text{ [MPa]}}}$$

$$d_m \geq 5,2 \text{ [mm]}$$

$$d_m \geq 0,21 \text{ [plg]}$$

Para el acero 1040 como es un material dúctil que está sometido a carga dinámica se utiliza un factor de seguridad de 4.

Por lo tanto el diámetro medio es de:

$$d_m^{**} = d_m * F.S.$$

$$d_m^{**} = 5,2 \text{ [mm]} * 4$$

$$d_m^{**} = 20,8 \text{ [mm]} = 0,84 \text{ [plg]}$$

Se selecciona un tornillo de potencia de 1 [pulg] con 5 hilos por pulgada, por lo tanto un paso de 5,08 [mm] Al conocer el número de hilos por pulgada y seleccionar un tornillo de potencia con el diámetro medio conocido con una sola entrada para la aplicación, se determina que el paso del tornillo es igual al avance:

$$p = L = 5,08 \text{ [mm]}$$

Donde:

p, (paso).- Distancia media entre las crestas de dos hilos adyacentes medida en forma paralela al eje de la rosca.

L (avance).- Distancia lineal paralela al eje de la roca que avanza un punto del tornillo al girar una vuelta completa.

Para los cálculos es necesario hallar la profundidad de cuerda así como su diámetro medio.

Profundidad de cuerda:

$$pr_c = \frac{p}{2} = 2,54[mm]$$

Diámetro medio:

$$d_m = D - \frac{p}{2} = 22,86[mm]$$

Donde:

D: Diámetro mayor del tornillo de potencia

Obteniendo los siguientes datos del tornillo de potencia:

Profundidad de cuerda:  $pr_c = 0,1 [plg] = 2,54[mm]$

Diámetro mayor:  $D = 1 [plg] = 25,4[mm]$

Diámetro medio:  $d_m = 0,9 [plg] = 22,86[mm]$

Área total:  $A_t = 0,568 [plg^2] = 366,46 [mm^2]$

### 3.1.1.2.5.2. Par de torsión para elevar carga

Calculados los valores anteriores se encuentra el torque necesario de subida con la ecuación Ec. 2.26 del capítulo 2.

$$T_s = \frac{W * d_m}{2} * \left( \frac{\pi * \mu * d_m + L}{\pi * d_m - \mu * L} \right)$$

Donde:

W: Carga a elevar

$\mu$ : Valor del coeficiente de rozamiento entre los materiales del tornillo y la tuerca (Tabla 2.5 capítulo 2), el tornillo de acero y la tuerca de bronce

inicialmente, consideración inicial, se justifica los materiales en los cálculos realizados para la tuerca,  $\mu=0,15$

$$T_s = \frac{1246,67[\text{N}] * 22,86[\text{mm}]}{2} * \left( \frac{\pi * 0,15 * 22,86[\text{mm}] + 5,08[\text{mm}]}{\pi * 22,86[\text{mm}] - 0,15 * 5,08[\text{mm}]} \right)$$

$$T_s = 3,18[\text{Nm}]$$

Encontrado el torque necesario para elevar la carga calculada, se verifica que el conjunto, tornillo de potencia- tuerca es autotrabante y finalmente se deduce el torque mínimo para descender la carga.

3.1.1.2.5.3. Verificación conjunto autotrabante:

$$\mu \geq \frac{p}{\pi * d_m}$$

$$\mu \geq \frac{5,08[\text{mm}]}{\pi * 22,86[\text{mm}]}$$

$$\mu \geq 0,07$$

3.1.1.2.5.4. Par de torsión para descender carga:

$$T_b = \frac{W * d_m}{2} * \left( \frac{\pi * \mu * d_m - L}{\pi * d_m + \mu * L} \right)$$

$$T_b = \frac{1246,67[\text{N}] * 22,86[\text{mm}]}{2} * \left( \frac{\pi * 0,15 * 22,86[\text{mm}] - 5,08[\text{mm}]}{\pi * 22,86[\text{mm}] + 0,15 * 5,08[\text{mm}]} \right)$$

$$T_b = 1,12[\text{Nm}]$$

3.1.1.2.5.5. Esfuerzo producido por el par de torsión:

El esfuerzo del torque producido se calcula considerando el valor más alto del par, en este caso es el torque para ascender carga. Por lo tanto:

$$\tau_T = \frac{T * c}{J} = \frac{16 * T_s}{\pi * d_m^3}$$

$$\tau_T = \frac{16 * 3,18[Nm]}{\pi * 22,86[mm]^3}$$

$$\tau_T = 1,36[MPa]$$

### 3.1.1.2.5.6. Esfuerzo de aplastamiento en el tornillo de potencia

El esfuerzo de aplastamiento para el tornillo se calcula con:

$$\sigma_a = \frac{W}{A_t}$$

Donde:

$A_t$ : Es el área proyectada del tornillo de potencia

$$\sigma_a = \frac{1247,67[N]}{366,45[mm^2]}$$

$$\sigma_a = 3,40[MPa]$$

### 3.1.1.2.5.7. Teoría de esfuerzo cortante máximo (T.E.C.M)

El esfuerzo total por la Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo aplicado al tornillo de potencia:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{2}\right)^2 + \tau_T^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{3,40[MPa]}{2}\right)^2 + (1,36[MPa])^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 2,18[MPa]$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y^{**}}{2}$$

Donde:

$S_y^{**}$ : Esfuerzo de fluencia calculado

$$S_y^{**} = 4,35[MPa]$$

Cumple que:

$$S_y^{**} < S_y$$

Se cumple la condición de la inecuación de esfuerzo de fluencia con esfuerzo de diseño de 250[MPa] se concluye que las dimensiones y material seleccionado inicialmente es apto para el tornillo de potencia. F.S.=62,1

### 3.1.1.2.5.8. Espesor de la tuerca

De acuerdo a la teoría de la sección 2.6.1.6.4.5 se usa el método de R. Juvinall por ser más conservador: (1991)

$$L_T = \frac{7}{8} * D$$

$$L_T = \frac{7}{8} * 25,4[mm]$$

$$L_T = 22,23[mm]$$

### 3.1.1.2.5.9. Esfuerzo cortante de los hilos en contacto

$$\sigma = \frac{3 * W}{2 * A_{ba}}$$

Esfuerzo calculado para el tornillo:

$$\sigma_{HTO} = \frac{3 * W}{2 * \pi * d_m * W_i * p * n_f}$$

El valor de  $n_f = 1$  ya que el primer hilo es quien soporta la mayor cantidad de peso, siendo este el punto crítico, el valor de  $W_i$ , se encuentra tabulado en la Tabla 2.8 del capítulo 2

$$\sigma_{HTO} = \frac{3 * 1246,67[N]}{2 * \pi * 22,86[mm] * 0,77 * 5,08[mm] * 1}$$

$$\sigma_{HTO} = 6,66[MPa]$$

Esfuerzo calculado para la tuerca:

$$\sigma_{HTU} = \frac{3 * W}{2 * \pi * D * W_o * p * n_f}$$

$$\sigma_{HTU} = \frac{3 * 1246,67[N]}{2 * \pi * 25,4[mm] * 0,63 * 5,08[mm] * 1}$$

$$\sigma_{HTU} = 7,33[MPa]$$

### 3.1.1.2.5.10. Resistencia a flexión entre hilos en contacto

Para el tornillo

$$S_{yTO}^* = \frac{3 * W * h}{\pi * d_m * n_f * (W_i * p)^2}$$

Donde:

h: Altura de trabajo del filete Tabla 2.7 del capítulo 2.

$$S_{yTO}^* = \frac{3 * 1246,67[N] * \frac{5,08[mm]}{2}}{\pi * 22,86[mm] * 1 * (0,77 * 5,08[mm])^2}$$

$$S_{yTO}^* = 8,65[MPa]$$

$$F.S. = \frac{S_y}{S_{yTO}^*}$$

$$F.S. = \frac{270[MPa]}{8,65[MPa]}$$

$$F.S. = 31,22$$

Para la tuerca:

$$S_{yTU}^* = \frac{3 * W * h}{\pi * D * n_f * (W_o * p)^2}$$

$$S_{yTU}^* = \frac{3 * 1246,67[N] * \frac{5,08[mm]}{2}}{\pi * 25,4[mm] * 1 * (0,63 * 5,08[mm])^2}$$

$$S_{yTU}^* = 12,92[MPa]$$

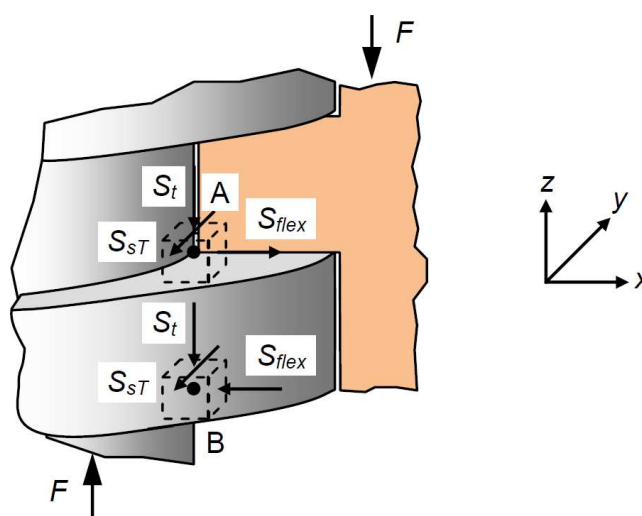
$$F.S. = \frac{S_y}{S_{yTU}^*}$$

$$F.S. = \frac{84[MPa]}{12,92[MPa]}$$

$$F.S. = 6,51$$

### 3.1.1.2.5.11. Verificación de resistencia a la fatiga del tornillo de potencia

La Fig. 4.49 indica cómo actúan los esfuerzos en dos puntos críticos del tornillo de potencia



**Fig. 3. 55.- Esfuerzo combinados actuantes en el tornillo de potencia**

**Fuente: (Norton, 1999)**

Se determina:

$$S_{XX} = S_{yTO}^* = 8,65[MPa]$$

$$S_{YY} = 0$$

$$S_{ZZ} = \sigma_a = \frac{W}{A_t} = 3,40[MPa]$$

$$S_{sYZ} = \tau_T = 1,36[MPa]$$

$$S_{sXY} = S_{sZX} = 0$$

La fuerza mínima W es cero, al igual que el torque mínimo, por tal razón los correspondientes al esfuerzo medio y alternativo son:



$$W_m = W_a = \frac{W}{2}$$

$$T_m = T_a = \frac{T_s}{2}$$

El esfuerzo medio y alternativo es:

$$S_{XXm} = S_{XXa} = \frac{8,65[MPa]}{2} = 4,33[MPa]$$

$$S_{YYm} = S_{YYa} = 0$$

$$S_{ZZm} = S_{ZZa} = \frac{3,40[MPa]}{2} = 1,70[MPa]$$

$$S_{sYZm} = S_{sYZa} = \frac{1,36[MPa]}{2} = 0,68[MPa]$$

$$S_{sXYm} = S_{sXYa} = S_{sZXm} = S_{sZXa} = 0$$

Calculados los esfuerzos parciales, estos se multiplicaran por un factor de concentración de esfuerzos, adoptando el método de Norton para materiales dúctiles, consideramos: (1999)

$$K_{ff} = K_f = 2,8$$

Por lo tanto:

$$K_{ff(M)} = K_{ff(W)} = K_{ff(T)} = K_{fm(M)} = K_{fm(W)} = K_{fm(T)} = K_f = 2,8$$

Los esfuerzos son:

$$\sigma_{XXm} = \sigma_{XXa} = 2,8 * S_{XXm} = 12,13[MPa]$$

$$\sigma_{YYm} = \sigma_{YYa} = 0$$

$$\sigma_{ZZm} = \sigma_{ZZa} = 2,8 * S_{ZZm} = 4,76[MPa]$$

$$\tau_{YZm} = \tau_{YZa} = 2,8 * S_{sYZm} = 1,91[MPa]$$

$$\tau_{XYm} = \tau_{XYa} = \tau_{XZm} = \tau_{XZa} = 0$$

Los esfuerzos equivalentes medio y alternativo respectivamente:

$$\sigma_{ae} = \sqrt{\sigma_{XXa}^2 + \sigma_{ZZa}^2 - \sigma_{XXa} * \sigma_{ZZa} + 3 * \tau_{sYZa}^2} = \sigma_{me}$$

$$\sigma_{ae} = \sigma_{me} = 10,85[MPa]$$

El factor de seguridad es calculado con la teoría de Goodman ecuación Ec.2.58 del capítulo 2.

$$\frac{\sigma_{ae}}{S_y} + \frac{\sigma_{me}}{S_u} = \frac{1}{F.S.}$$

$$\frac{10,85[MPa]}{270[MPa]} + \frac{10,85[MPa]}{520[MPa]} = \frac{1}{F.S.}$$

$$F.S. = 14,1$$

### 3.1.1.2.5.12. Cargas columnares en el tornillo de potencia.

Para garantizar que el tornillo de potencia no tiene ninguna clase de pandeo por la carga axial que soporta, definiendo la fijación de los extremos como empotrada-empotrada se considera un factor  $K=0,65$  de acuerdo a la Tabla 2.8 del capítulo 2.

$$Le = K * L$$

Donde:

Le: Longitud efectiva del tornillo

K: Constante de acuerdo a la fijación de los extremos del tornillo

L: Longitud original del tornillo

$$Le = 0,65 * 1,4[m]$$

$$Le = 0,91[m]$$

La relación de esbeltez para el tornillo de potencia es, (Juvinall, 1991):

$$RE = \frac{Le}{\rho}$$

Donde:

$\rho$ : Radio de giro.

$$RE = \frac{0,91[m]}{\frac{dm}{4}}$$

$$RE = \frac{910[mm]}{\frac{22,86[mm]}{4}}$$

$$RE = 159,23$$

Dado que es una columna larga se utiliza la fórmula de Euler para determinar la carga crítica con un factor de seguridad de 2,5. El material para el tornillo es Acero A1040, módulo de elasticidad de 207 [GPa].

$$S_{CR} = \frac{P_{CR}}{A} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{Le}{\rho}\right)^2}$$

Donde:

$S_{CR}$ : Carga unitaria crítica

$P_{CR}$ : Carga crítica

A: Sección de la columna

E: Módulo de elasticidad.

La carga crítica para el tornillo de potencia es de 1247 [N] con un factor de seguridad de 2,5.

$$P_{CR} = 1247[N] * 2,5$$

$$P_{CR} = 3118[N]$$

Dado que:

$$A = \frac{\pi * d_m^2}{4} ; \rho = \frac{d_m}{4}$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_{CR}}{A} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{Le}{\rho}\right)^2}$$

$$d_m = \left(\frac{64 * P_{CR} * Le^2}{\pi^3 * E}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$D = \left(\frac{64 * 3118 * (0,91[m])^2}{\pi^3 * (207 * 10^9)}\right)^{\frac{1}{4}}$$

$$d_m = 12,8[mm]$$

Se verifica que para levantar una carga de 12346,47 [N] a lo largo de un tornillo de potencia de 1,4 [m] es necesario un diámetro medio de 12,8 [mm] por lo tanto el diámetro calculado previamente de 22,86 [mm] soporta la carga planteada.

Se calcula el factor de seguridad del tornillo de potencia con la carga requerida:

$$S_{CR} = \frac{P_{CR}}{A} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{Le}{\rho}\right)^2}$$

$$P_{CR} = \frac{\pi^3 * E * d_m^4}{64 * Le^2}$$

$$P_{CR} = \frac{\pi^3 * 207[GPa] * (22,86[mm])^4}{64 * (910[mm])^2}$$

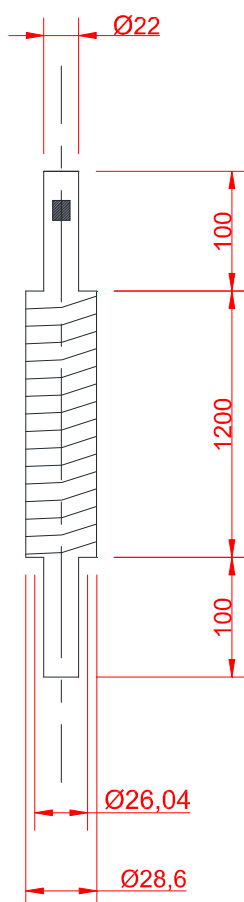
$$P_{CR} = 33072,13[N]$$

Factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{33072,13[N]}{1247[N]}$$

$$F.S. = 26,52$$

Se concluye que las dimensiones para el tornillo de potencia son las ideales para la aplicación las dimensiones son indicadas en la Fig. 3. 55.



**Fig. 3. 56.- Dimensiones del tornillo de potencia**

### 3.1.1.2.5.13. Chaveta

Las más comunes para transmitir par de torsión del eje al cubo son las chavetas o cuñas cuadradas, de acuerdo al estándar ANSI B17.1 el ancho de las cuñas deben ser aproximadamente un cuarto del diámetro del eje, para esta aplicación se adopta las recomendaciones ANSI B17.1. (R1998). Jvinall en su texto demuestra que para obtener un diseño balanceado requiere que la cuña sea de  $1,8 \cdot d$  de longitud. (1991). La Fig. 3. 53 muestra las variables que indican los parámetros de las chavetas.

w: Ancho y alto de la cuña

$$w = \frac{1}{4} * d$$

$$w = \frac{1}{4} * 22[mm]$$

$$w = 5,5[mm]$$

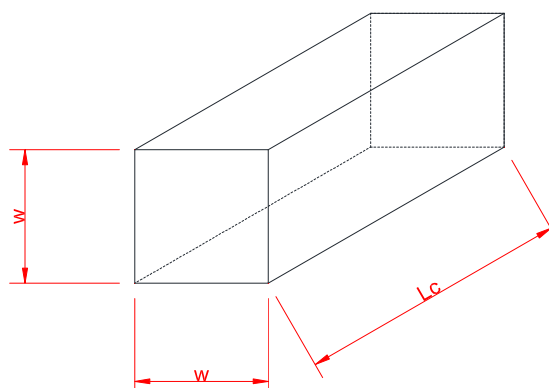
d: Diámetro no roscado del tornillo de potencia.

Lc: Largo de la cuña

$$L_c = 1,8 * d$$

$$L_c = 1,8 * 22[mm]$$

$$L_c = 40[mm]$$



**Fig. 3. 57.- Dimensiones de la chaveta para el tornillo de potencia**

Juvinall, en su texto expresa “El par de torsión que puede transmitirse con el cortante de la cuña es similar al producto del esfuerzo limitante, área y radio”, el autor en esta fórmula considera, que el material del eje es el mismo que material de la cuña y aplican la ecuación Ec. 2.16 del capítulo 2. (1991)

$$T = \frac{0,58 * S_y * L_c * d^2}{8}$$

La chaveta es del mismo material del tronillo de potencia, AISI 1040. Por lo tanto  $S_y=270[MPa]$

$$T_T = \frac{0,58 * 270[MPa] * 54[mm] * (30[mm])^2}{8}$$

$$T_T = 951,345 [Nm]$$

Al comparar con el torque para elevar una carga:  $T_s=4,27$  [Nm] que es el mayor torque que se deber aplicar al tornillo de potencia se obtiene el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{T_T}{T_S}$$

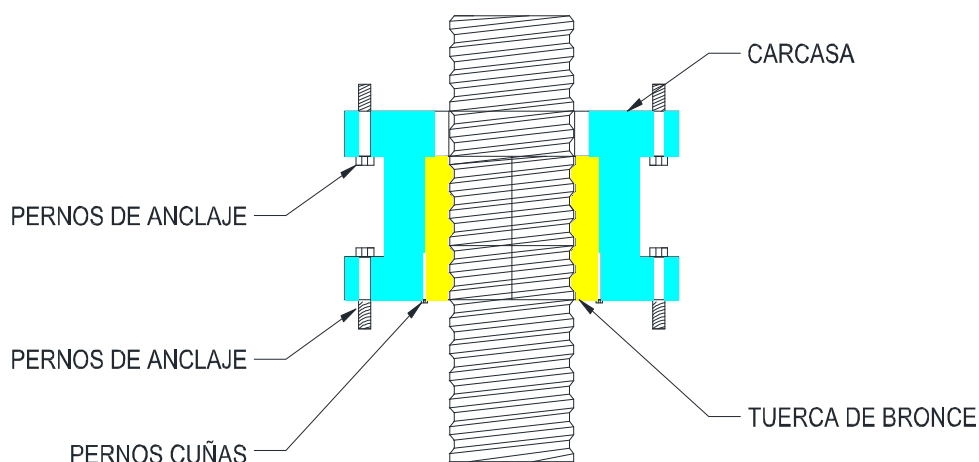
$$F.S. = \frac{951.345[Nm]}{4,27[Nm]}$$

$$F.S. = 222,8$$

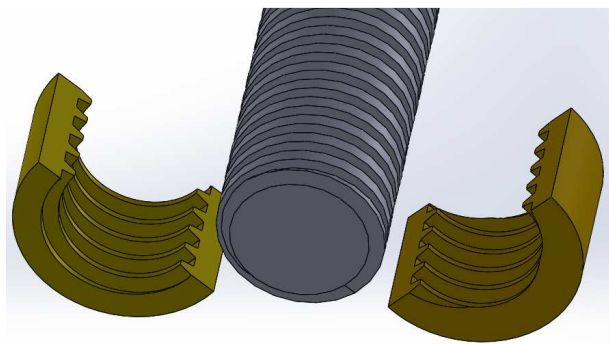
Con el factor de seguridad se verifica dimensiones y el material aplicado.

### 3.1.1.2.6. Diseño del mecanismo de acople entre tuerca y estructura

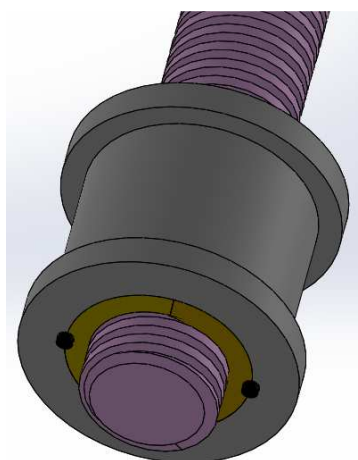
Una de las razones por la que se escoge realizar el tornillo de potencia de rosca ACME es por la ventaja de su tuerca, esta se puede seccionar en un plano axial lo que permite realizar el mantenimiento y en el peor de los casos realizar el cambio de la tuerca sin necesariamente desmontar todo el sistema de elevación. El mecanismo de acople es capaz de aprovechar la ventaja que la tuerca con rosca ACME poseen. Los elementos del acople cuenta con una carcasa, la tuerca, cuñas y placas de sujeción a la estructura del brazo posterior del mecanismo de elevación. La Fig. 3. 54. Muestra la estructura del mecanismo de unión entre el acople y la tuerca.



**Fig. 3. 58.- Esquema del mecanismo de acople entre la tuerca y la estructura del mecanismo de elevación.**



**Fig. 3. 59.- Rosca ACME seccionada en el plano axial**



**Fig. 3. 60.- Mecanismo de unión entre la tuerca y el acople al mecanismo de elevación, 3D**

El momento transmitido del tornillo de potencia a la tuerca es el mismo que se transmite a un par de tornillos que actúan como cuñas entre la tuerca y la carcasa.

Por lo tanto se debe seleccionar tornillos que cumplan esta función.

Se plantea usar tornillos M3 x 10mm de acero ( $S_y=250[\text{Mpa}]$ ;  $S_u=400[\text{Mpa}]$ ), con la ecuación Ec. 2.16, se calcula el torque máximo generado que los tornillos soportan al cortante, este valor debe ser mayor al torque máximo que transmite el tornillo de potencia a la tuerca y por ende, la tuerca a los tornillos que cumplen el papel de cuñas.

$$T_{Tc} = \frac{0,58 * S_y * L_c * d^2}{8}$$



$$T_{Tc} = \frac{0,58 * 250[MPa] * 10[mm] * (50.8[mm])^2}{8}$$

$$T_{Tc} = 467,75[Nm]$$

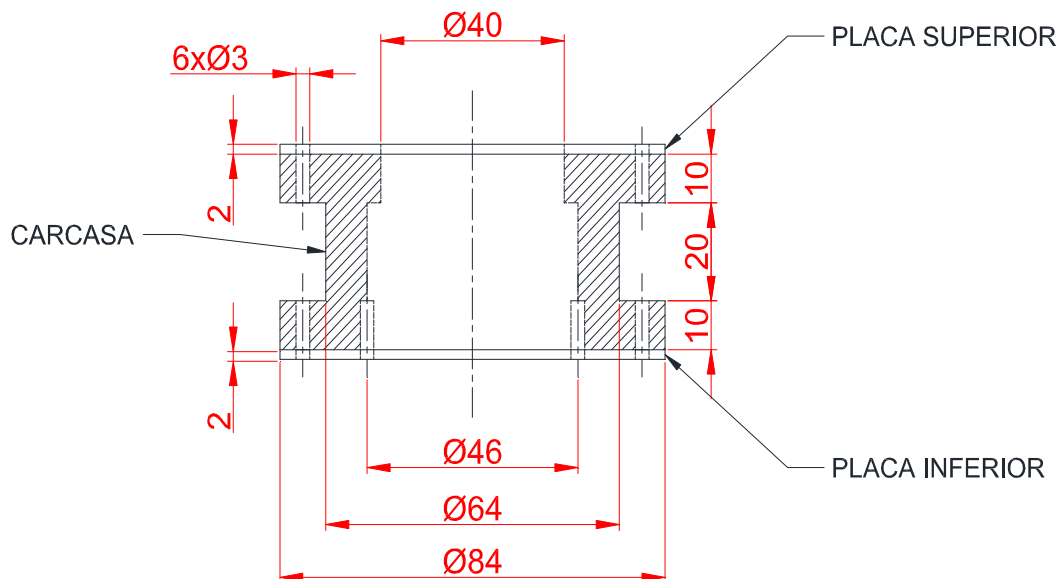
Al comparar con el torque para elevar una carga:  $T_s=4,27[Nm]$  que es el mayor torque que se debe aplicar al tornillo de potencia se obtiene el factor de seguridad:

$$F.S. = \frac{T_T}{T_S}$$

$$F.S. = \frac{467,75[Nm]}{4,27[Nm]}$$

$$F.S. = 109,5$$

La carcasa está anclada con pernos a la estructura de acople a brazo elevador posterior a través de placas soldadas a estas.



**Fig. 3. 61.- Esquema y dimensiones de la carcasa**

#### 3.1.1.2.6.1. Acople de chapa metálica

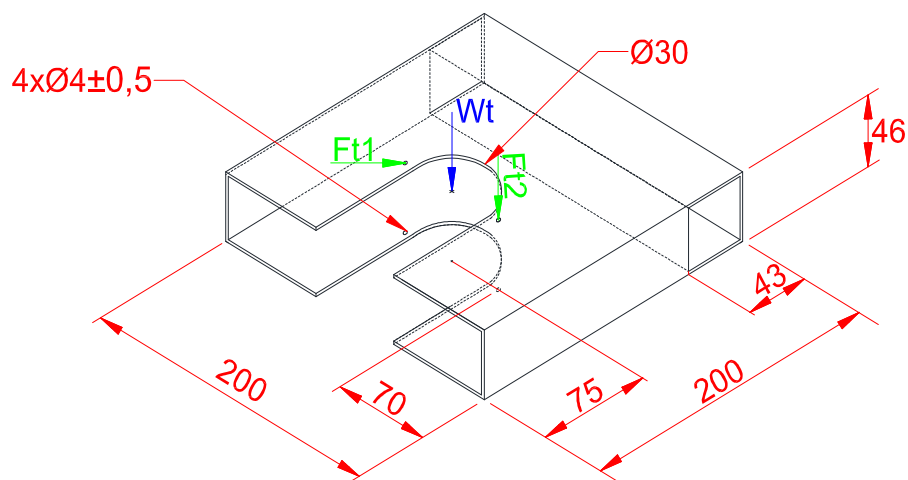
Se necesita garantizar que el acople que une la carcasa con el brazo posterior no tenga deformaciones y tenga la suficiente resistencia para complementar al mecanismo de elevación. Se plantea realizar los cálculos inicialmente con

el espesor de la chapa de 4 [mm]. La Fig. 3. 58 indica las dimensiones propuestas y las fuerzas actuantes.

Donde:

$W_t$ : Peso total del mecanismo de elevación a su máxima capacidad

$F_{t1}$ ,  $F_{t2}$ : Fuerzas tangenciales resultantes del torque producido para ascender o descender al sistema de elevación.



**Fig. 3. 62.- Dimensiones del acople entre carcasa y brazo posterior**

El peso total  $W_t$  produce un esfuerzo de flexión al acople por lo tanto:

$$\sigma = \frac{M * Y}{I}$$

Donde:

M: Momento actuante

Y: Distancia al punto más largo de la pieza

I: Inercia de la pieza

$$M = 1247 [N] * 0,082[m] = 102,26 [Nm]$$

El esfuerzo en el caso de que el acople sea conformado solo de una placa:

$$\sigma = \frac{12 * 102,26[Nm] * 0,002[m]}{0,2[m] * (0,004[m])^3}$$

$$\sigma = 198,74 [MPa]$$

Dado que son dos placas simétricas el esfuerzo es la mitad del esfuerzo anterior.

$$\sigma = 99,4 [MPa]$$

La deflexión máxima es:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{W_t}{2} * L^3}{48 * E * I}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{1247}{2} [N] * (0,4[m])^3}{48 * 207000 [MPa] * \frac{0,2[m] * (0,004[m])^3}{12}}$$

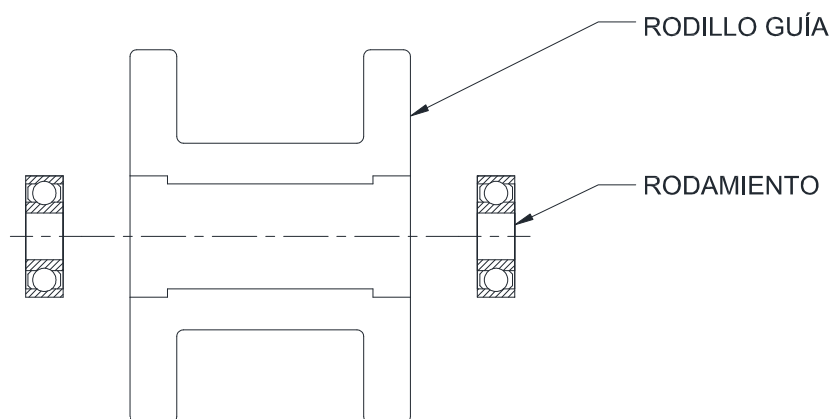
$$\delta_{m\acute{a}x} = 0,0027 [m] \approx 3 [mm]$$

La deflexión está dentro de los rangos admisibles.

### 3.1.1.2.7. Selección de rodamientos

Se selecciona un rodamiento de acuerdo al espacio disponible y respecto al tipo de carga que soporta. El siguiente paso es verificar el cumplimiento de los diferentes estados a los que se puede exponer el rodamiento de acuerdo al procedimiento detallado en la sección 2.6.1.5.3.

#### 3.1.1.2.7.1. Rodamientos para rodillos guía para base móvil.



**Fig. 3. 63.- Esquema de unión entre rodillo guía y rodamiento**

Se usa 16 rodamientos en total, dos bases móviles, cuatro rodillos guía por cada base, dos rodamientos por cada rodillo guía. El diámetro interior del rodamiento se propone de 10mm, la carga que soporten estos rodamientos es radial a determinada velocidad.

Para cargas netamente radiales aplican tanto rodamientos de bola como de rodillo, sin embargo existe la posibilidad que en el sistema de elevación durante la transición de descenso a ascenso o viceversa experimente carga axial por la que se descarta a los rodamientos de rodillos. La opción idónea es el rodamiento rígido de bolas con tapas de protección para evitar el ingreso de polvo que se encuentra en el ambiente.

La preselección basada inicialmente en el tamaño, carga y tapas de protección disponen el rodamiento **6000.2ZR** correspondiente al catálogo de "Rodamientos FAG". (2000)

La aplicación del rodamiento puede ser estática ( $n < 10 \text{min}^{-1}$ ) o dinámica considerando que la distancia que debe recorrer es de 1,2 metros en 30 segundos que es el máximo tiempo que se puede tardar en el descenso el recorrido del brazo elevador, para el ascenso el tiempo es de 20 segundos en consecuencia si el descenso se verifica que es una aplicación dinámica entonces para el ascenso también se considera la misma aplicación.

Demostrando la velocidad lineal es de:

$$v = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}$$

$$v = \frac{1,2 \text{ [m]}}{30 \text{ [s]}}$$

$$v = 0,04 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Conociendo el diámetro mayor del rodillo ( $D_r = 40 \text{ [mm]}$ ) se calcula las revoluciones por minuto para determinar si es una aplicación estática o dinámica.

$$n = 0,04 \frac{[m]}{[s]} * \frac{1 [rev]}{\pi * 0,04[m]} * \frac{60 [s]}{1 [min]} = 19,1 [RPM]$$

Los valores de revoluciones por minuto indican que la aplicación es dinámica (10 RPM) por lo tanto se realiza el cálculo en base a la carga dinámica equivalente punto 2.6.1.5.3.3 del capítulo 2

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad [KN]$$

Donde:

$F_r$ : Carga Radial. [KN]

$F_a$ : Carga Axial. [KN]

X: Factor Radial.

Y: Factor Axial.

Los valores de X y de Y son valores dados por el fabricante de rodamientos.

La carga radial que actúa en los rodamientos es la fuerza tangencia calculada en la sección “**Diseño de rodillos guías para base móvil**” ( $F_T = 739,14 [N]$ ) mientras la fuerza axial que soportan los rodamientos se calcula en base al torque para elevar carga (3,18[N]) con su respectiva distancia (0,512 [m]) por lo tanto la fuerza axial,  $F_a = 1,07 [N]$

La relación entre la fuerza axial y la fuerza radial es  $1,44 \times 10^{-3}$ , valor con el cual se determina los coeficientes radial y axial respectivamente. (“FAG”, 2000)

X: Factor Radial. ( $X = 1$ )

Y: Factor Axial. ( $Y = 0$ )

Por lo tanto la carga equivalente:

$$P = 1 * 0,73914 + 0 * 1,07 \quad [KN]$$

$$P = 0,74 [KN]$$

La vida útil del rodamiento bajo las condiciones indicadas es:

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [10^6 \text{ revoluciones}]$$

Donde:

$L_{10} = L$ : Vida nominal  $[10^6 \text{ revoluciones}]$

C: Capacidad de carga dinámica (4,55 [KN])

P: Carga dinámica equivalente (0,74 [KN])

p: Exponente de vida. (3)

$$L_{10} = L = \left(\frac{4,55}{0,74}\right)^3$$

$$L_{10} = L = 232,46 [10^6 \text{ revoluciones}]$$

$$L_h = \frac{L_{10} * 10^6}{n * 60} [h]$$

Donde:

$L_h$ : Vida nominal en horas [h]

n: Velocidad [RPM]

$$L_h = \frac{232,46 * 10^6 [\text{revoluciones}]}{17,91 [\text{RPM}] * 60} [h]$$

$$L_h = 216322,36 [h]$$

### 3.1.1.2.7.2. Rodamientos para extremos de tornillo de potencia.

Se usa dos rodamientos en el tornillo de potencia, uno en cada extremo (detalle en la sección Fig. 3.23). Para esta aplicación se considera que el diámetro interior del rodamiento deberá ser menor o igual a 22[mm] la carga que soporten estos rodamientos es axial a velocidad media.

Para cargas axiales se usa varios tipos de rodamientos sin embargo se preselecciona los rodamientos de bolas con contacto angular debido a que soportan tanto carga axial como radial, vida útil prolongada bajo condiciones

recomendadas por el fabricante, no son despiezables por lo tanto mantenimiento nulo.

La preselección basada inicialmente en el tamaño y carga dispone el rodamiento **7206B.TVB** correspondiente al catálogo de "Rodamientos FAG". (2000)

La aplicación del rodamiento puede ser estática ( $n < 10 \text{min}^{-1}$ ) o dinámica considerando que la distancia lineal que debe recorrer un punto es de 1,2 metros en 30 segundos en el descenso y de 15 segundos en el ascenso, conocido el paso de 6,35[mm/rev]

Velocidad angular para 30 segundos:

$$n = \frac{1200[\text{mm}]}{6,35[\text{mm}] * 30[\text{segundos}]} * \frac{60 [\text{s}]}{1 [\text{min}]} = 377,95 \approx 400 [\text{RPM}]$$

Velocidad angular para 15 segundos:

$$n = \frac{1200[\text{mm}]}{6,35[\text{mm}] * 15[\text{segundos}]} * \frac{60 [\text{s}]}{1 [\text{min}]} = 755,91 \approx 800 [\text{RPM}]$$

Los valores de la velocidad angular para los dos tiempos indican que la aplicación es dinámica por lo tanto se hará el cálculo en base a la carga dinámica equivalente punto 2.6.1.5.3.3 del capítulo 2

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad [\text{KN}]$$

Donde:

$F_r$ : Carga Radial. [KN]

$F_a$ : Carga Axial. [KN]

X: Factor Radial.

Y: Factor Axial.

Los valores de X y de Y son valores dados por el fabricante de rodamientos.

La carga axial que actúa sobre los rodamientos es el peso total calculado en la sección "**Cálculo de esfuerzos de la estructura del acople a mecanismo**

de elevación" ( $W = 1246,67$  [N]) más el peso del tornillo de potencia conociendo que la densidad media del acero 1040 es de  $7850 \text{ kg/m}^3$ . La fuerza total que soporta el rodamiento inferior y superior es de  $1371$  [N].

Dado que no existe una fuerza radial considerable por lo tanto la carga equivalente:

$$P = F_a \quad [KN]$$

$$P = 1,371 [KN]$$

La vida útil del rodamiento bajo las condiciones indicadas es:

$$L_{10} = L = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad [10^6 \text{ revoluciones}]$$

Donde:

$L_{10} = L$ : Vida nominal  $[10^6 \text{ revoluciones}]$

C: Capacidad de carga dinámica ( $20,4$  [KN])

P: Carga dinámica equivalente ( $1,371$  [KN])

p: Exponente de vida. (3)

$$L_{10} = L = \left(\frac{20,4}{1,371}\right)^3$$

$$L_{10} = L = 3294,42 [10^6 \text{ revoluciones}]$$

$$L_h = \frac{L_{10} * 10^6}{n * 60} [h]$$

Donde:

$L_h$ : Vida nominal en horas [h]

n: Velocidad [RPM]

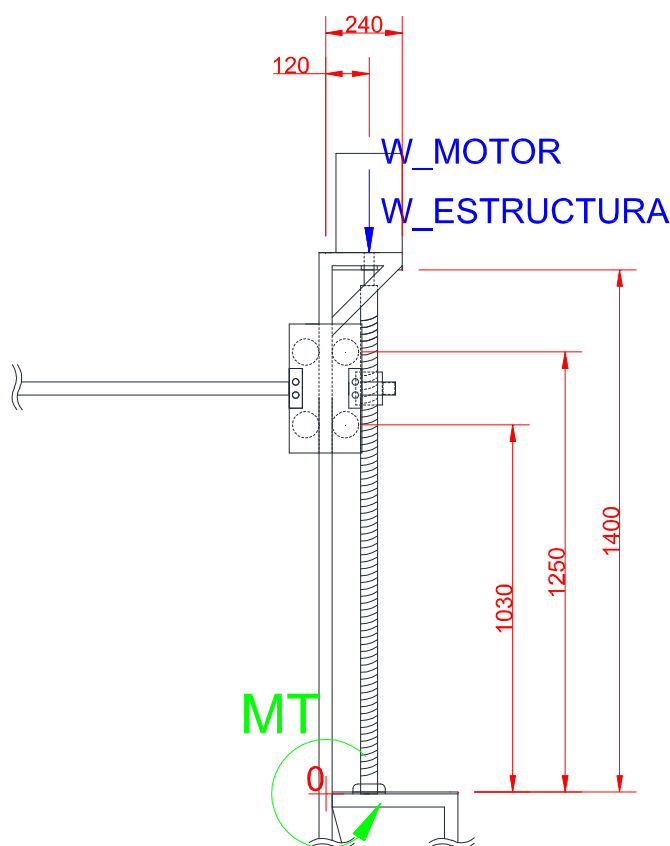
$$L_h = \frac{3294,42 * 10^6 [\text{revoluciones}]}{755,91 [\text{RPM}] * 60} [h]$$

$$L_h = 4358217,25 [h]$$



### 3.1.1.2.8. Verificación de la resistencia de la estructura principal

Calculadas todas la fuerzas es necesario verificar que la estructura principal respecto a las fuerzas resultantes y a la sección de ésta considerando que la estructura completa está hecha de tubo cuadrado de 40 x 2 [mm] acero A36.



**Fig. 3. 64.- Fuerzas resultantes actuantes en la estructura principal, tubo cuadrado de 40[mm]x2[mm]**

El punto crítico a analizar en la columna es en el instante en el que el sistema elevador se encuentra en la posición más alta de la máquina. El análisis se realiza respecto al nivel donde se asienta el tornillo de potencia con su respectivo rodamiento y chumacera. La Fig. 3. 63 indica el diagrama de cuerpo libre con respecto al punto “cero”. Asumiendo que la fuerza en la columna actúa en el centro de esta, se calcula la carga crítica a través de la ecuación de Euler. Al considerar que se trata de tubo cuadrado de 40[mm] por 2 [mm] de espesor, los valores de A,  $\rho$  están tabulados. (recuperado de: [www.autinohierros.com.ar](http://www.autinohierros.com.ar)).

$$S_{CR} = \frac{P_{CR}}{A} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{Le}{\rho}\right)^2}$$

Donde:

$S_{CR}$ : Carga unitaria crítica

$P_{CR}$ : Carga crítica

A: Sección de la columna

E: Módulo de elasticidad.

Le: Longitud equivalente de la columna

$\rho$ : Radio de giro.

La Longitud equivalente es:

$$Le = K * L$$

K, es la constante de la Tabla 2. 10. (K=2,1)

$$Le = 2,1 * 1,44[m]$$

$$Le = 3,02[m]$$

Por lo tanto la carga crítica que soporta la columna es:

$$\frac{P_{CR}}{3,04 * 10^{-4}[m^2]} = \frac{\pi^2 * 207 * 10^9[Pa]}{\left(\frac{3,02[m]}{0,015[m]}\right)^2}$$

$$P_{CR} = 16360,37[N]$$

La relación de esbeltez de la columna es:

$$\frac{Le}{\rho} = \frac{3,02[m]}{0,015[m]} = 201,33$$

La carga unitaria crítica es:

$$S_{CR} = \frac{P_{CR}}{A} = 50,4[MPa]$$

Por lo tanto es una columna larga.

Posteriormente se calcula la carga crítica excéntrica que soporta la columna usando la ecuación de la secante. (Juvinall, 1951).

$$SE_{CR} = \frac{Pe}{A} = \frac{S_y}{1 + \left(\frac{e * c}{\rho^2}\right) * \sec \left[ \left(\frac{Le}{\rho}\right) * \sqrt{\frac{P_{CR}}{4 * A * E}} \right]}$$

Donde:

$SE_{CR}$ : Carga crítica unitaria en columnas con carga excéntrica.

$Pe$ : Carga crítica excéntrica

$e$ : Excentricidad

$c$ : Distancia del plano de flexión neutro a la fibra extrema

$\frac{e*c}{\rho^2}$ : Relación de excentricidad.

$$SE_{CR} = \frac{Pe}{A} = \frac{170[MPa]}{1 + \left(\frac{0,12[m] * 0,02[m]}{(0,015[m])^2}\right) * \sec \left[ \left(\frac{3,02[m]}{0,015[m]}\right) * \sqrt{\frac{16360,37[N]}{4 * 3,04 * 10^{-4}[m^2] * 207[GPa]}} \right]}$$

$$SE_{CR} = \frac{Pe}{3,04 * 10^{-4}[m]} = 14,53[MPa]$$

$$Pe = 4417,09[N]$$

El momento máximo que produce la carga crítica con excentricidad de 0,12[m] es:

$$M_{Pe} = Pe * e$$

$$M_{Pe} = 4417,09 [N] * 0,12[m]$$

$$M_{Pe} = 530,1[Nm]$$

El peso de los elementos, motor y estructura, que están en la parte superior de la máquina debe ser menor a la carga crítica  $Pe$ .

El peso del motor y de la estructura donde está asentado el motor es:

$$W_{MOTOR} = 14[Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$W_{MOTOR} = 137,34[N]$$

Carga del tubo= 2,332 [Kg/m])

$$2 \text{ tubos de } 1[m] = 2,332 [Kg/m] * 2 [m] * 9,81 [m/s^2] = 45,75 [N]$$

$$2 \text{ tubos de } 0,24[m] = 2,332 [Kg/m] * 2 * 0,24 [m] * 9,81 [m/s^2] = 11 [N]$$

$$2 \text{ tubos de } 0,35[m] = 2,332 [Kg/m] * 2 * 0,35 [m] * 9,81 [m/s^2] = 16 [N]$$

$$\text{Chapa de } 1[m]*0,24[m]*2[mm]=4,8*10^{-4}[m^3]*7850[Kg/m^3] * 9,81 [m/s^2] = 37 [N]$$

$$W_{ESTRUCTURA} = 45,75[N] + 11[N] + 16[N] + 37[N]$$

$$W_{ESTRUCTURA} = 109,75[N]$$

La carga real distribuida entre las dos columnas es:

$$W_{REAL} = 137,34[N] + 109,75[N]$$

$$W_{REAL} = 247,09[N]$$

La Carga para cada columna es:

$$W = \frac{W_{REAL}}{2} = \frac{247,09[N]}{2}$$

$$W = 123,55[N]$$

El factor de seguridad entre la carga crítica y la carga de cada columna es:

$$F.S. = \frac{4417,09[N]}{123,55[N]}$$

$$F.S. = 35,75$$

El momento total para la sección de la Fig. 3. 64 es:

$$M_R = M_T - M(W_{MOTOR}) - M(W_{ESTRUCTURA})$$

Donde:

$M_T$ : Momento total (sección 3.1.1.2.4, Fig. 3. 46)

$$M_T = 191,57[Nm]$$

M( $W_{MOTOR}$ ): Momento producido por el peso del motor (14[Kg]), F.S: 2,5

$$M_{W_{MOTOR}} = 14[Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * 0,12[m] * 2,5$$

$$M_{W_{MOTOR}} = 41,2[Nm]$$

M( $W_{ESTRUCTURA}$ ): Momento producido por el peso de la estructura donde está el motor F.S. 2,5.

$$M_{W_{ESTRUCTURA}} = 109,75 * 0,12[m] * 2,5$$

$$M_{W_{ESTRUCTURA}} = 32,93 [Nm]$$

$M_R$ : Momento resultante total.

$$M_R = 191,57[Nm] - 41,2[Nm] - 32,93 [Nm]$$

$$M_R = 117,44[Nm]$$

El momento resultante que actúa en la base de la columna es menor al momento máximo producido por la carga  $P_e$

El módulo de sección que soporta la columna considerando el esfuerzo de la Tabla 3. 12 es:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo del perfil cuadrado

$M_{m\acute{a}x}$ : Momento máximo de flexión

S: Módulo de sección.

Considerando el factor de seguridad de 4:

$\sigma_{y^*}$ : Esfuerzo de diseño

$$\sigma_{c1} = \frac{\sigma_{y^*}}{F.S.}$$

$$\sigma_{C1} = \frac{170[MPa]}{4}$$

$$\sigma_{C1} = 42,5 [MPa]$$

El módulo de sección es:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{C1}}$$

$$S = \frac{117,44[Nm]}{42,5[MPa]}$$

$$S = 3,02 [cm^3]$$

El módulo inmediato superior de sección mayor a 3,02 [cm<sup>3</sup>] es el correspondiente a tubo cuadrado de 40[mm] x 2[mm] que posee un módulo de sección de 3,668[cm<sup>3</sup>] y un peso de 2,332 [Kg/m].

El esfuerzo de flexión máximo para el tubo es:

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{M\acute{a}x}}{S}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{117,44 [Nm]}{3,668[cm^3]}$$

$$\sigma_{Real} = 32,02 [MPa]$$

$$F.S. = \frac{\sigma_{dise\tilde{n}o}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S. = \frac{170 [MPa]}{32,02 [MPa]}$$

$$F.S. = 5,3$$

El tubo cuadrado que está afectado por el momento resultante también está sometido a carga de compresión debido al peso del motor y de la estructura.

El peso del motor y de la estructura superior causa un esfuerzo de aplastamiento:

$$\sigma_a = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_a = \frac{123,55[N]}{3,04[mm]}$$

$$\sigma_a = 40,65[MPa]$$

Los elementos diferenciales del esfuerzo de aplastamiento y de flexión actúan en la misma dirección, en el punto crítico del tubo, consecuentemente el esfuerzo total es la suma de los esfuerzos parciales.

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_{REAL}$$

$$\sigma = 40,65[MPa] + 32,02[MPa]$$

$$\sigma = 72,67[MPa]$$

El factor de seguridad es:

$$F.S. = \frac{170[MPa]}{72,67[MPa]}$$

$$F.S. = 2,33$$

El tubo cuadrado estructural de 40[mm] x 2[mm] cumple con los requerimientos de la aplicación con un factor de seguridad de 2,1

### 3.1.1.3. Planos Mecánicos (ANEXO A)

### 3.1.1.4. Diagramas de Manufactura (Anexo E)

### 3.1.2. DISEÑO SISTEMA ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

#### 3.1.2.1. Selección Elementos Eléctricos, Electrónicos Y Control

##### 3.1.2.1.1. Sistema de calentamiento de agua.

En la sección 2.6.2 del capítulo 2 se presenta las opciones para el sistema de calentamiento de agua se evalúa de acuerdo a la Tabla 3. 31.

##### 3.1.2.1.1.1. Resistencia eléctricas

El proceso de impresión por transferencia de agua necesita que el líquido se encuentre en un rango de temperatura entre 30°C y 35°C, el tanque tiene unas dimensiones de 3,28 metros de largo por 1,2 metros de ancho por 1 metro de alto, no está aislado y tiene la parte superior abierta, el tanque está fabricado de acero inoxidable de 2 milímetros de espesor y contiene aproximadamente 3,0 metros cúbicos de agua a 14°C inicialmente, el mayor tiempo que debe tardar en llegar a la temperatura máxima es de 5 minutos.

El sistema para calentar agua se selecciona las resistencias eléctricas o niquelinas según la Tabla 3. 31.

**Tabla 3. 23**

#### Ponderación para el sistema de calentamiento de agua

Parámetros	Energía solar	Caldera	Serpentín	Niquelinas
Manufactura ( / 1 punto)	0,3	0,3	0,8	1
Sistema independiente ( / 2 puntos)	0,5	2	0,5	2
Menor número de elementos en la instalación ( / 1 punto)	0,5	0,3	1	1
Costo ( / 1 punto)	0,8	0,5	0,8	0,8
Total ( / 5 puntos)	2,1	3,1	3,1	4,8



Calor específico del acero = 0,12 [Cal/g/°C]

Calor específico del agua = 1 [Cal/g/°C]

Densidad del acero = 7800 [Kg/m<sup>3</sup>]

Densidad del agua = 1000 [Kg/m<sup>3</sup>]

$$q = m * Ce * \Delta T$$

Donde:

q: Calor necesario

m: Masa del agua

$\Delta T$ : Variación de temperatura

Calor necesario para el agua es de:

$$q_{agua} = 1000 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 3,0[m^3] * 1 \left[ \frac{Cal}{g * ^\circ C} \right] * (35 - 14)[^\circ C]$$

$$q_{agua} = 63000000[Cal]$$

Calor necesario para el acero es de:

$$q_{acero} = 7800 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 0,036[m^3] * 0,12 \left[ \frac{Cal}{g * ^\circ C} \right] * (35 - 14)[^\circ C]$$

$$q_{acero} = 732146,7[Cal]$$

El calor necesario total es:

$$q_{Total} = q_{agua} + q_{acero}$$

$$q_{Total} = 63000000 + 732146,7$$

$$q_{Total} = 63732146,7 [cal]$$

La potencia se obtiene aplicando la siguiente operación:

$$P = \frac{q_{Total}}{t}$$

Donde:

P: Potencia

t: Tiempo

$$P = \frac{63732146,7[Cal]}{300[s]}$$

$$P = 212440,489 \left[ \frac{Cal}{s} \right]$$

$$P = 764785,76 \left[ \frac{Kcal}{h} \right]$$

$$P = \frac{764785,76 \left[ \frac{Kcal}{h} \right]}{0,86 \left[ \frac{Kcal}{h} \right]} * 1[watt]$$

$$P = 889285,769[W]$$

Las resistencias eléctricas o niquelinas de inmersión, para calentar líquidos se encuentran comercialmente desde 100 [W] en adelante, a mayor potencia de la niquelina de igual forma aumenta el costo del elemento. Para calentar toda el agua contenida en el tanque en el tiempo solicitado es necesario adquirir 74 niquelinas de 12000[W] concluyendo que es poco posible calentar el agua en determinado tiempo.

Se calcula la potencia de las niquelinas para calentar el agua durante un tiempo aproximado de dos horas.

$$P = \frac{q_{Total}}{t}$$

$$P = \frac{63732146,7[Cal]}{7200[s]}$$

$$P = 8851,69 \left[ \frac{Cal}{s} \right] = 37053,57 [W]$$

El número de niquelinas de 12000[W] para instalar en el tanque es:

$$\text{No. Niquelinas} = \frac{74107,15[W]}{12000[W]}$$

$$\text{No. Niquelinas} = 3,08$$

Se decide la instalación 3 niquelinas para calentar todo el volumen de agua de la aplicación en un tiempo dos horas.

Para la activación de las resistencias eléctricas para el calentamiento de agua se instala un contactor por cada resistencia capaz de activar y desactivar el sistema con mandos a distancia.

El contactor soporta la corriente de demanda de cada la niquelina que consumen una potencia de 12000 [W] a 220 voltios.

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

I: Corriente

P: Potencia

V: Voltaje

$$I = \frac{12000 [W]}{240 [V]}$$

$$I = 50 [Amp]$$

Dado que son 3 niquelinas trifásicas, el sistema cuenta con 3 contactores trifásicos de 240 [v], 50 [Amp], con una bobina a 120 Vac para mando a distancia. La protección del sistema es por 3 disyuntores de las mismas características que los contactores, trifásicos de 220 [v], 50 [Amp].

#### 3.1.2.1.2. Selección del motor eléctrico

El eje del motor está conectado al tornillo de potencia a través de una cuña. El motor trabaja en posicionamiento vertical y sometido a carga axial, es

bridado y está anclado a la estructura principal de la máquina. El ciclo de trabajo es intermitente. La máquina utiliza para su proceso químicos líquidos y agua el motor está protegido contra cualquier tipo de salpicaduras y contra el polvo pues las piezas sometidas al proceso de impresión por transferencia de agua están hechas de fibra de vidrio, polímeros, etc, materiales que desprenden minúsculas partículas durante su fabricación, por lo tanto el grado de protección para el motor es IP55. Para proceso de impresión por transferencia de agua es necesario que el motor trabaje a diferentes velocidades y girar en ambos sentidos.

La potencia mecánica que desarrolla el motor con la menor velocidad es:

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

$$P = \frac{4,27[Nm] * 400[RPM]}{9550}$$

$$P = 0,18 [KW]$$

La potencia mecánica que debe desarrollar el motor a mayor velocidad es:

$$P = \frac{T * n}{9550}$$

$$P = \frac{4,27[Nm] * 800[RPM]}{9550}$$

$$P = 0,36 [KW] \approx \frac{1}{2} [HP]$$

Se implementa un interruptor magnetotérmico para la protección del motor y personal que opera la máquina.

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

I: Corriente

P: Potencia

V: Voltaje

$$I = \frac{372,85[W]}{220 [V]}$$

$$I = 1,7 [Amp] \approx 2[Amp]$$

El dispositivo de maniobras está diseñado para soportar 2 [Amp], conexión trifásica.

Se requiere un variador de frecuencia para el accionar del motor a varias velocidades y cambio de sentido de giro.

#### 3.1.2.1.3. Selección de variador de frecuencia

El proceso requiere operar la máquina a velocidades diferentes y cambiar el sentido de giro del motor. Se solicita un variador de frecuencia para la aplicación capaz de controlar un motor de 1/2 [HP] de potencia con entradas digitales para el control de frecuencia de trabajo del motor. Se recomienda la selección de un variador de frecuencia de mayor potencia considerando que el motor puede trabajar por periodos de tiempo a sobrecarga al disminuir su velocidad, por tal razón se selecciona un variador de iguales requerimientos pero de potencia 3/4 [HP], a 220[V], trifásico

#### 3.1.2.1.4. Selección bomba eléctrica de agua

La bomba de pre selección de la sección “dimensionamiento del tanque” cumple con el tiempo y caudal necesario para la aplicación. Es necesario mencionar que es una bomba de caudal mas no de presión (presión necesaria menor a 3 metros de nivel de columna, irrelevante). Por lo tanto se selecciona una bomba para recirculación de agua de 50 GPM de 1 [HP] de potencia a 110V, conexión monofásica.

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

I: Corriente

P: Potencia

V: Voltaje

$$I = \frac{745,7[W]}{110 [V]}$$

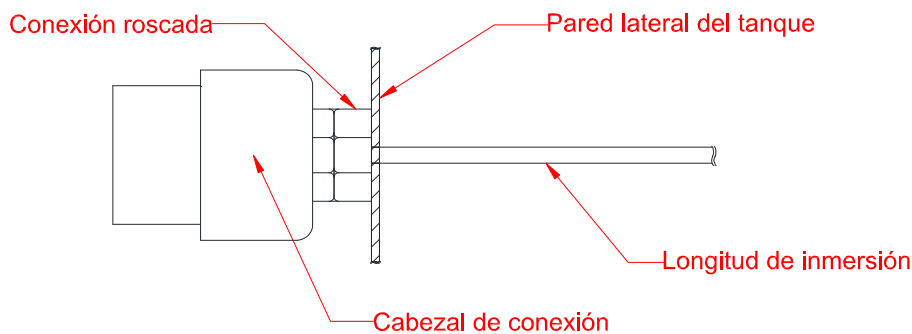
$$I = 6,8 [Amp]$$

Para garantizar la protección de la bomba eléctrica es necesario instalar un interruptor y un aparato de maniobras trifásicos de mayores a 6,8 [Amp], inmediato superior comercial de 8 [Amp] de ciclo de trabajo intermitente, se coloca un disyuntor de las características descritas.

#### 3.1.2.1.5. Selección del sensor de temperatura

Los factores para la selección del sensor temperatura son:

Temperatura de exposición entre 0°C y 50°C, sumergible en agua, la resolución de 0.5°C, voltaje de alimentación 120V/220V.



**Fig. 3. 65.- Conexión sensor de temperatura**

El sensor PT100 de 300mm es ideal para la aplicación excepto porque no es sumergible, sin embargo se conecta a una de las paredes laterales del tanque por su rosca NPT, auto sellante.

#### 3.1.2.1.6. Selección del sensor de nivel

Los factores para la selección del sensor de nivel son:

Temperatura de exposición entre 0°C a 50°C, señal ON/OFF, alimentación 120[V]/220[V], sumergible. Ideal el sensor de nivel marca sunwoald de la Fig. 3.61.

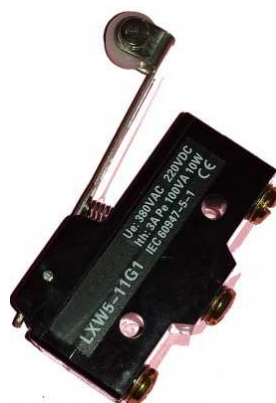


**Fig. 3. 66.- Sensor de nivel**

Recuperado de: [www.sunwoald.com](http://www.sunwoald.com)

#### 3.1.2.1.7. Selección de sensores de posición.

Se necesita saber cuándo el brazo elevador llega a determinada altura. Los parámetros que se deben considerar al seleccionar un sensor son: el sensor está en contacto directo con el objeto, el ambiente al cual está sometido, el material de los objetos a detectar, la distancia a detectar el objeto, entre otros. Se selecciona finales de carrera de rodillo para indicar cuando el brazo elevador llega a lo más alto y al punto más bajo de la máquina, su económico precio, utilidad y a que pueden estar en contacto directo con el brazo elevador lo hacen ideales para la aplicación.



**Fig. 3. 67.- Final de carrera de rodillo**

No ocurre lo mismo con detectar cuando el autoparte sometida pasa por cierto punto, en este caso el sensor a utilizar no puede estar en contacto directo con

el objeto y este debe detectarlo a una distancia entre 70 centímetros a 1 metro de distancia. Se selecciona el sensor fotoeléctrico de rango entre 0.1 metros a 5 metros voltaje de alimentación 24 a 240 Vac.

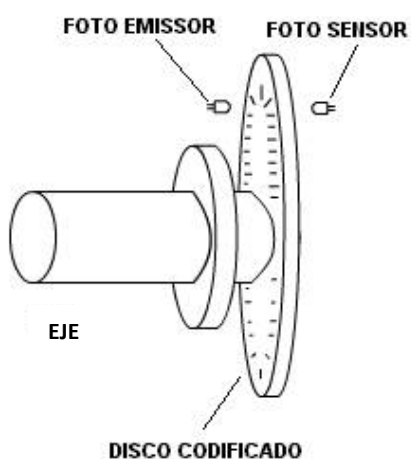


**Fig. 3. 68.- Sensor fotoeléctrico.**

**Recuperado de: [www.autonics.com](http://www.autonics.com)**

Se coloca un encoder en el eje del motor como contador de revoluciones, de esta manera se mide el número de revoluciones que el motor gira como seguridad en caso de que los fines de carrera fallen. La configuración se lo realiza mediante la programación del PLC.

El encoder está compuesto por una rueda metálica (Disco codificado) de 4 agujeros y un sensor fotoeléctrico (opto-acoplador) de 10[mm] de alcance a 120[V]



**Fig. 3. 69.- Encoder en el eje del motor**



### 3.1.2.1.8. Selección del Controlador.

La selección del controlador del proceso de la máquina se lo hace en base a la evaluación de parámetros como programación flexible, elementos extras como complemento al controlador (no considerara actuadores, sensores) descritos en la Tabla 3.32.

**Tabla 3. 24**

#### **Ponderación para la selección del controlador**

<b>Parámetro</b>	<b>PLC</b>	<b>PCB (PLACA)</b>
Programación flexible ( / 2puntos)	2	2
Elementos complementarios al elemento de control ( / 2puntos)	2	1
Costo ( / 1punto)	0,5	1
Total	4,5	4

Dada la aplicación industrial, el sistema que controla la máquina requiere un controlador seguro, robusto y modular y de fácil de programación por estas razones se selecciona un PLC.

Al adquirir un PLC es necesario considerar el número de entradas y salidas que requiere el sistema al igual que los tipos de variables. La máquina de impresión por transferencia de agua requiere de 16 entradas y 8 salidas digitales por tal razón se selecciona con tales características, dado que para medir la temperatura del agua se requiere una entrada analógica y el costo de esta es elevado, se recomienda incorporar un controlador de temperatura y conectar su salida de alarma al PLC.

### 3.1.2.1.9. Selección del controlador de temperatura

El controlador de temperatura seleccionado debido a su menor costo que el módulo de entrada análoga para el PLC, recibe la señal del sensor de temperatura y envía una señal de baja cuando la temperatura es menor a la

requerida, de igual manera lo hace con la señal en alta, es decir cuando la temperatura se encuentra fuera del rango requerido envía una señal. Los controladores comerciales tienen conexión directa a la PT100, sensor de temperatura. Tienen incorporado un display para visualizar la temperatura medida

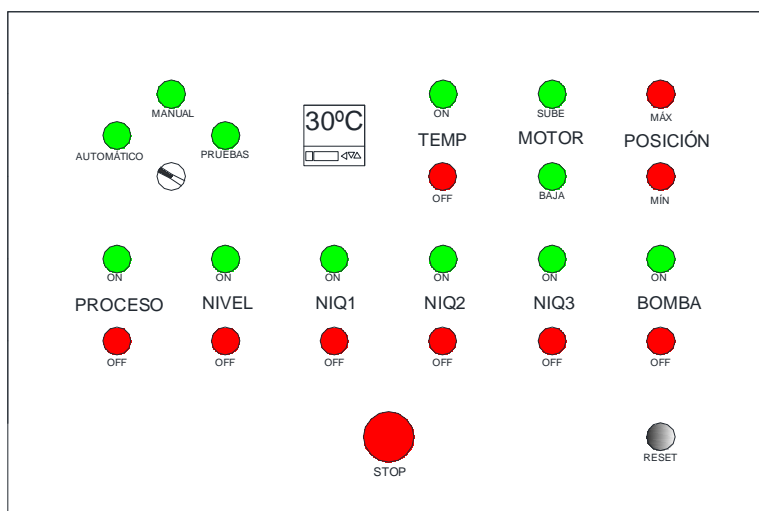


**Fig. 3. 70.- Controlador de temperatura "Fullgauge"**

Recuperado de: [www.fullgauge.com](http://www.fullgauge.com)

3.1.2.1.10. Selección de gabinete eléctrico, luces piloto, pulsadores.

Todos los elementos eléctricos y electrónicos están en un gabinete de control, para la verificación del proceso y activación de actuadores se propone el siguiente diseño:



**Fig. 3. 71.- Ubicación de los elementos en el tablero de control**

Un selector de 3 estados que indica el modo de operación de la máquina.

Las luces piloto son de diámetro de 22 milímetros a 120 Vac, los pulsadores de diámetro de 22 milímetros a 120 Vac

Un paro de emergencia 40mm para ser activo cuando algo durante el proceso de la máquina falle o esté fuera de control.

#### 3.1.2.1.10.1. Distribución del tablero de control

Dentro del gabinete eléctrico se ubican todos los elementos eléctricos y electrónicos que permiten las maniobras y el control de la máquina. La distribución de los elementos dentro del gabinete eléctrico lleva la siguiente estructura. Fig. 3. 69.

#### 3.1.2.2. Planos Eléctricos, Electrónicos Y Control

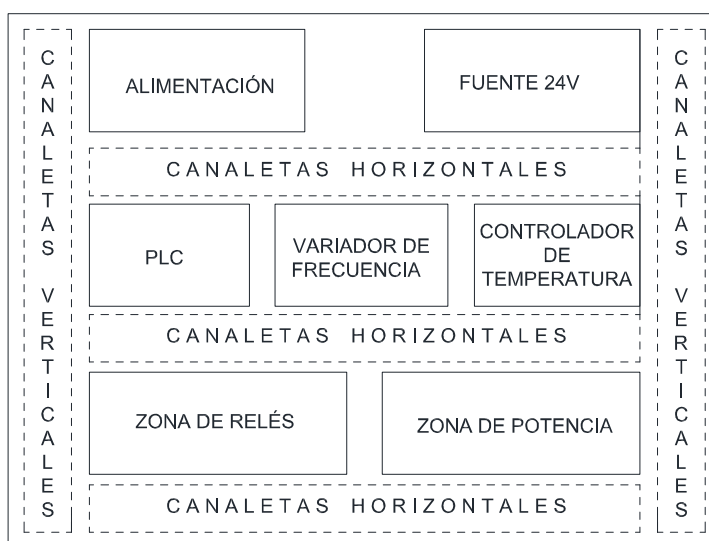
“Anexos B”

#### 3.1.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El proceso de la máquina de impresión por transferencia de agua contralada a través de un PLC puede operar de la siguiente manera de acuerdo a la selección de configuración del tablero de control.

#### 3.1.3.1. Opciones de funcionamiento de la máquina

Considerando todas las acciones posibles en ejecución para la máquina, esta cuenta con tres opciones de funcionamiento.



**Fig. 3. 72.- Distribución de los elementos dentro del tablero de control**

Modo Automático: La máquina realiza todo el proceso para el que está programada con sólo presionar el pulsador “START”

Modo Manual: La máquina realiza el proceso en el mismo orden de operaciones programadas que en el modo automático con la diferencia que para cada acción el operador presiona los pulsadores correspondientes a cada tarea subsecuente.

Modo Pruebas: Esta opción es utilizada para el mantenimiento y las pruebas de cada elemento de la máquina. Cuidando los elementos que necesitan ciertas condiciones para evitar daños.

### **3.1.3.2. Secuencia de funcionamiento de la máquina**

#### **3.1.3.2.1. Modo automático**

Al presionar el botón “START” se enciende la luz piloto color verde correspondiente al título de “PROCESO” indicando que la máquina opera en el siguiente orden:

##### **1. Verificación del nivel correcto del agua.**

El sensor de nivel es el encargado de la verificación del adecuado nivel de agua para el proceso. La luz piloto color verde, en el indicativo de “NIVEL” en el tablero de control, se enciende señalando que la prueba es superada correctamente. Caso contrario permanece encendida la luz piloto color rojo, en el indicativo correspondiente a nivel bajo en el tablero de control, indicando que se debe aumentar la cantidad de agua en el tanque de la máquina. El proceso no avanza mientras la máquina no detecte que el nivel de agua es el adecuado.

##### **2. Verificación de la temperatura ideal del agua para el proceso.**

El sensor de temperatura indica al controlador quien es el encargado de enviar una señal si la temperatura se encuentra dentro del rango ideal, entre 30°C y 35°C, si la temperatura es menor a la necesaria, 30°C, se activan las resistencia eléctricas o niquelinas quienes calienten el agua hasta la máxima

temperatura para el proceso, 35°C, alcanzada esta temperatura las niquelinas se apaga.

En el tablero de control está la luz piloto color verde que indica cuando las niquelinas se encuentren activas, caso contrario se enciende su correspondiente indicativo, luz piloto color rojo.

En el tablero de control está un display que indica la temperatura del agua. Si la temperatura es la ideal, en el indicativo de “TEMP” se enciende la luz piloto color verde caso contrario se enciende la luz piloto color rojo.

### 3. Descenso del autoparte a velocidad rápida

Al haber realizado las verificaciones correspondientes a los ítems 1 y 2, la máquina automáticamente activa el motor en velocidad 1, velocidad rápida, que baja el autoparte hasta antes que ingrese al agua.

### 4. Cambio velocidad de descenso a lenta.

El autoparte es detectado por el sensor fotoeléctrico quien envía una señal para que se reduzca la velocidad de descenso mientras el autoparte sea sumergido en agua. Durante todo el descenso se enciende la luz piloto color verde en el indicativo de “MOTOR BAJA”.

### 5. Final de descenso

Al llegar al punto más bajo de la máquina se activa el final de carrera y se visualiza en el tablero de control con la luz piloto color rojo correspondiente a “POSICIÓN MÍN”. La máquina permanece estática durante un minuto para consecuentemente iniciar el ascenso del autoparte. En caso de fallar el fin de carrera la máquina tiene un encoder de seguridad que detiene al motor cuando este haya sobrepasado determinado número de revoluciones.

### 6. Iniciar ascenso del autoparte

Al subir el autoparte hasta el nivel más alto de la máquina se activa la luz piloto color rojo correspondiente a “POSICIÓN MÁX”. Durante el ascenso se enciende la luz piloto color verde en el indicativo de “MOTOR SUBE”. En caso

de fallar el fin de carrera la máquina tiene un enconder de seguridad que detiene al motor cuando este haya sobrepasado determinado número de revoluciones.

#### 7. Filtrado de agua

Sólo al finalizar los 6 pasos anteriores, de forma automática se enciende la bomba para realizar la recirculación de agua y atrapar impurezas durante un tiempo de 5 minutos y finalizar el proceso deteniendo a todos sus actuadores.

#### 3.1.3.2.2. Modo manual

Al presionar el botón “START” la máquina inicia todo proceso en el mismo orden que en “Modo Automático”. Para realizar las acciones debe el operador presionar los pulsadores de acuerdo al orden del proceso.

##### 1. Verificación del correcto nivel de agua.

El sensor de nivel es el encargado de la verificación del adecuado nivel de agua para el proceso. La luz piloto color verde, en el indicativo de “NIVEL” en el tablero de control, se enciende señalando que la prueba es superada correctamente. Caso contrario permanece encendida la luz piloto color rojo, en el indicativo correspondiente a nivel bajo en el tablero de control, indicando que se debe aumentar la cantidad de agua en el tanque de la máquina. El proceso no avanza mientras la máquina no detecte que el nivel de agua es el idóneo.

##### 2. Verificación de la temperatura del agua ideal para el proceso.

El sensor de temperatura indica al controlador quien es el encargado de enviar una señal si la temperatura se encuentra dentro del rango ideal, entre 30°C y 35°C, si la temperatura es menor a la necesaria, 30°C, el operador debe activar las resistencia eléctricas o niquelinas presionado el pulsador correspondiente a estas hasta ingresar al rango de temperatura ideal.

En el tablero de control hay una luz piloto verde que indica cuando las niquelinas se encuentren activas, caso contrario está encendido su correspondiente rojo.

En el tablero de control hay un display que indica la temperatura del agua. Si la temperatura es la ideal, en el indicativo de "TEMP" se enciende la luz piloto color verde caso contrario se enciende la luz piloto color rojo.

### 3. Descenso del autoparte a velocidad rápida

Al haber realizado la verificación correspondiente a los ítems 1 y 2, el operador debe mantener presionado el pulsador de descenso el cual activa el motor en velocidad 1, velocidad rápida, que baja el autoparte hasta antes que ingrese al agua.

### 4. Cambio velocidad de descenso a lenta.

El operador mantiene presionado el pulsador de descenso, el autoparte será detectado por el sensor fotoeléctrico quien envía una señal para que se reduzca la velocidad de descenso mientras el autoparte es sumergido en agua. Durante todo el descenso se enciende la luz piloto color verde en el indicativo de "MOTOR BAJA".

### 5. Final de descenso.

Al llegar al punto más bajo de la máquina se activa el final de carrera y se visualiza en el tablero de control con la luz piloto color rojo correspondiente a "POSICIÓN MÍN". En caso de fallar el fin de carrera la máquina tiene un encoder de seguridad que detiene al motor cuando este haya sobrepasado determinado número de revoluciones. El operador deja de presionar el botón de descenso. El pulsador de descenso automáticamente se desactiva por programación para proteger el sistema. La máquina permanece estática durante un minuto. Consecuentemente el pulsador de ascenso es habilitado automáticamente por programación.

### 6. Iniciar ascenso del autoparte.

El operador mantiene presionado el pulsador de ascenso para elevar el autoparte hasta llegar al punto inicial. Al llegar el autoparte hasta el nivel más alto de la máquina se activa la luz piloto color rojo correspondiente a "POSICIÓN MÁX". Se deshabilita el pulsador de ascenso automáticamente por programación. Durante el ascenso se enciende la luz piloto color verde en el indicativo de "MOTOR SUBE".

#### 7. Filtrado de agua.

El operador debe mantener presionado el pulsador de la bomba para realizar la recirculación de agua y atrapar impurezas para finalizar el proceso.

#### 3.1.3.2.3. Modo de pruebas

Para realizar las pruebas necesarias de la máquina se activa los pulsadores de las niquelinas, ascenso y descenso de motor. Con las siguientes condiciones

##### 1. Prueba de niquelinas.

Las niquelinas pueden ser activadas cuando se encuentren sumergidas en agua, no es necesario que el nivel de líquido sea el requerido para el proceso.

Por seguridad de las niquelinas se ha instalado un botón de nivel, este es funcional solo en el modo de pruebas, para habilitar el pulsador de las niquelinas es necesario mantener presionado el pulsador de nivel. Las niquelinas se activan solamente cuando se presiona el pulsador de nivel y el pulsador de niquelinas a la vez. De esta manera se recuerda al operador verificar que las niquelinas estén sumergidas en una cantidad mínima del líquido.

##### 2. Pruebas de ascenso y descenso del autoparte.

Los pulsadores correspondientes a ascenso y descenso están habilitados en el modo de pruebas de esta manera el operador puede realizar las pruebas necesarias sin algún proceso previo.



Para seguridad del motor, en la programación del PLC se configura para que al presionar el pulsador de ascenso se deshabilite el pulsador de descenso y viceversa.

De igual manera que en los otros dos modos de funcionamiento, el encoder del motor cuenta las revoluciones, las compara con el número programa y en caso de igualar o exceder este número automáticamente el motor se detiene.

### 3. Pruebas de la bomba de agua.

La bomba de agua podrá ser activada cuando haya agua en la máquina, no es necesario que el nivel de líquido sea el requerido para el proceso.

Por seguridad de la bomba se usa el botón de nivel, este es funcional solo en el modo de pruebas, para habilitar el pulsador de la bomba será necesario mantener presionado el pulsador de nivel. La bomba se activa solamente al presionar el pulsador de nivel y el pulsador de bomba al mismo tiempo. De esta manera se recuerda al operador verificar la cantidad mínima del líquido para no quemar la bomba.

#### 3.1.3.2.4. Paro de Emergencia

1. Si se presiona el paro de emergencia, se detiene completamente el proceso que la máquina se encuentre realizando. Al desactivarlo se puede seleccionar entre dos pulsadores, el pulsador "START" es para continuar con el proceso en el orden programado. El otro pulsador es un "RESET", el programa vuelve al punto inicial. Si el paro de emergencia es activado cuando la máquina está descendiendo o ascendiendo y se presiona el botón "RESET", el brazo elevador regresa a su posición más alta.

### 3.1.3.3. Programación del PLC

#### 3.1.3.3.1. Asignación de variables control:

**Tabla 3. 25**

#### **Asignación de la señal de entrada al PLC**

Asignación de Variables de Control		
ENTRADAS AL PLC		
Dirección	Nombre	Comentario
I1	Selector 1	Selector 1
I2	Selector 2	Selector 1
I3	Selector 3	Selector 1
I4	START	Pulsador 1
I5	Sensor de Nivel	Pulsador 2
I6	Pulsador Bomba	Pulsador 3
I7	Pulsador Niquelina	Pulsador 4
I8	Pulsador Bajar	Pulsador 5
I9	Pulsador Subir	Pulsador 6
IA	Paro de EMERGENCIA	Pulsador 7
IB	Encoder	-
IC	Control de Temperatura baja	Controlador de Temperatura 1
ID	Control de Temperatura alta	Controlador de Temperatura 2
IE	Fin de carrea Baja	-
IF	Fin de Carrera Alto	-
IG	Sensor Fotoeléctrico	-

**Tabla 3. 26****Asignación de la señal de salida del PLC**

Asignación de Variables de Control		
SALIDAS DEL PLC		
Dirección	Nombre	Comentario
Q1	Niquelinas	Actuador 1
Q2	-	Actuador 2
Q3	-	Actuador 3
Q4	Bomba	Actuador 4
Q5	Variador 1	Velocidad de descenso rápida
Q6	Variador 2	Velocidad de sumersión
Q7	Variador 3	Velocidad de Ascenso

## 3.1.3.3.2. Programación Ladder:

La programación y simulación del PLC se lo realiza en un software libre. En el “Anexo C” se detalla la programación Ladder.

## 3.1.3.3.3. Simulación sistema de control.

“Anexo D”



## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo tiene por objetivo poner a punto el control de la máquina de impresión por transferencia de agua en lo referido a la programación de la secuencia de proceso, comprobado a través de la simulación en un software libre.

#### 4.1. DESARROLLO DE PROTOCOLO DE PRUEBAS

Este protocolo verifica e inspecciona la calidad de la tecnología y las operaciones del equipo así como las condiciones de seguridad para sus operadores en modo virtual.

##### 4.1.1. PRUEBAS FUNCIONALES

Modo Automático

**Tabla 4. 1**

**Pruebas funcionales de la máquina en modo automático**

PRUEBAS FUNCIONALES "MODO AUTOMÁTICO"				
OPERACIÓN	ACCIÓN	ELEMENTO	INDICADOR	OBS
Presionar pulsador "START"	Inicio de proceso automático	Sistema encendido	Luz piloto verde correspondiente a "PROCESO"	OK
-	Verificación de nivel de agua	Sensor de nivel	Luz piloto verde correspondiente a "NIVEL"	OK
-	Medición de temperatura del agua	Sensor de temperatura	Display del controlador indica la temperatura actual del agua	OK



Continúa

-	Calentar el agua	Niquelinas encendidas	Luz piloto verde correspondiente a "NIQUELINAS"	OK
-	Medición de temperatura del agua	Sensor de Temperatura	Luz piloto verde correspondiente a "TEMPERATURA"	OK
-	Descenso rápido del autoparte	Motor Velocidad de descenso rápida	Luz piloto verde correspondiente "BAJA"	OK
-	Descenso lento del autoparte	Motor velocidad de descenso lento	Luz piloto verde correspondiente "BAJA"	OK
-	Posición más baja de la máquina	Fin de carrera bajo	Luz piloto roja correspondiente a "POSICIÓN MÍN"	OK
-	Tiempo estático de 1 minuto	-	-	OK
-	Ascenso del autoparte	Motor velocidad ascenso	Luz piloto verde correspondiente "SUBE"	OK
-	Posición más alta de la máquina	Fin de carrera alto	Luz piloto roja correspondiente a "POSICIÓN MÁX"	OK
-	Filtrado de Agua	Bomba	Luz piloto verde correspondiente a "BOMBA"	OK
-	Tiempo de filtrado de 5 minutos	-	-	OK



Continúa

-	Fin del proceso	-	Luz piloto roja correspondiente a "PROCESO"	OK
---	-----------------	---	---	----

Modo Manual

**Tabla 4. 2**

**Pruebas funcionales de la máquina en modo manual**

PRUEBAS FUNCIONALES "MODO MANUAL"				
OPERACIÓN	ACCIÓN	ELEMENTO	INDICADOR	OBS
Presionar pulsador "START"	Inicio de proceso automático	Sistema encendido	Luz piloto verde correspondiente a "PROCESO"	OK
-	Verificación de nivel de agua	Sensor de nivel	Luz piloto verde correspondiente a "NIVEL"	OK
-	Medición de temperatura del agua	Sensor de temperatura	Display del controlador indica la temperatura actual del agua	OK
Presionar pulsador "NIQUELINAS"	Calentar el agua	Niquelinas encendidas	Luz piloto verde correspondiente a "NIQUELINAS"	OK
Dejar de presionar pulsador "NIQUELINAS"	Medición de temperatura del agua	Sensor de Temperatura	Luz piloto verde correspondiente a "TEMPERATURA"	OK
Presionar pulsador "MOTOR BAJA"	Descenso rápido del autoparte	Motor Velocidad de descenso rápida	Luz piloto verde correspondiente "BAJA"	OK

 Continúa

Presionar pulsador "MOTOR BAJA"	Descenso lento del autoparte	Motor velocidad de descenso lento	Luz piloto verde correspondiente "BAJA"	OK
-	Posición más baja de la máquina	Fin de carrera bajo	Luz piloto roja correspondiente a "POSICIÓN MÍN"	OK
-	Tiempo estático de 1 minuto	-	-	OK
Presionar pulsador "MOTOR SUBE"	Ascenso del autoparte	Motor velocidad ascenso	Luz piloto verde correspondiente "SUBE"	OK
-	Posición más alta de la máquina	Fin de carrera alto	Luz piloto roja correspondiente a "POSICIÓN MÁX"	OK
Presionar pulsador "BOMBA"	Filtrado de Agua	Bomba	Luz piloto verde correspondiente a "BOMBA"	OK
-	Tiempo de filtrado de 5 minutos	-	-	OK
-	Fin del proceso	-	Luz piloto roja correspondiente a "PROCESO"	OK



Modo Pruebas

**Tabla 4. 3****Pruebas funcionales de la máquina en modo pruebas**

PRUEBAS FUNCIONALES "MODO PRUEBAS"				
OPERACIÓN	ACCIÓN	ELEMENTO	INDICADOR	OBS
Presionar pulsador "START"	Inicio de proceso automático	Sistema encendido	Luz piloto verde correspondiente a "PROCESO"	OK
-	Verificación de nivel de agua	Sensor de nivel	Luz piloto verde correspondiente a "NIVEL"	OK
-	Medición de temperatura del agua	Sensor de temperatura	Display del controlador indica la temperatura actual del agua	OK
Presionar pulsador "NIQUELINAS" y "NIVEL"	Calentar el agua	Niquelinas encendidas	Luz piloto verde correspondiente a "NIQUELINAS"	OK
Dejar de presionar pulsador "NIQUELINAS" y "NIVEL"	Medición de temperatura del agua	Sensor de Temperatura	Luz piloto verde correspondiente a "TEMPERATURA"	OK
Presionar pulsador "MOTOR BAJA"	Descenso rápido del autoparte	Motor Velocidad de descenso rápida	Luz piloto verde correspondiente "BAJA"	OK
Presionar pulsador "MOTOR BAJA"	Descenso lento del autoparte	Motor velocidad de	Luz piloto verde correspondiente "BAJA"	OK

 Continúa

		descenso lento		
-	Posición más baja de la máquina	Fin de carrera bajo	Luz piloto roja correspondiente a "POSICIÓN MÍN"	OK
-	Tiempo estático de 1 minuto	-	-	OK
Presionar pulsador "MOTOR SUBE"	Ascenso del autoparte	Motor velocidad ascenso	Luz piloto verde correspondiente "SUBE"	OK
-	Posición más alta de la máquina	Fin de carrera alto	Luz piloto roja correspondiente a "POSICIÓN MÁX"	OK
Presionar pulsador "BOMBA" y "NIVEL"	Filtrado de Agua	Bomba	Luz piloto verde correspondiente a "BOMBA"	OK
-	Tiempo de filtrado de 5 minutos	-	-	OK
-	Fin del proceso	-	Luz piloto roja correspondiente a "PROCESO"	OK

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En este capítulo se detallan todos los costos monetarios para la fabricación de la máquina de impresión por transferencia de agua y posteriormente se determina el tiempo de recuperación de la inversión.

#### 5.1. COSTOS

##### 5.1.1. COSTOS DIRECTOS

“Se denomina por costos directos, a todos los costos que vinculen directamente con el proyecto y la realización de la obra en estudio”. (Macchia, 2005)

**Tabla 5. 1**

**Costo de materiales directos**

Materiales Directos	Cantidad	Costo Unitario [USD]	Costo Total [USD]
Chapa A304x2mm	8	178,92	1431,36
Chapa A36x2mm	1	37,5	37,5
Perfil IPE120 A36	3	75,89	227,67
Perfil IPE80 A36	3	51,59	154,77
Perfil UPN100 A36	4	60,71	242,84
Tubo cuadrado A-36x2mm	5	14,38	71,9
Cilindro macizo SAE 1040- $\phi$ 40mmx2m	1	48,35	48,35
Cilindro macizo NylonPA6- $\phi$ 85mmx2m	1	178,4	178,4
Cilindro macizo de Bronce $\phi$ 55mmx0,1m	1	87,4	87,4
Tubo A304 $\phi$ 38mmx0,5mm	1	102,5	102,5
		Total	2582,69

**Tabla 5. 2****Costo de elementos y accesorios**

<b>Materiales Directos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Costo Total [USD]</b>
Perno parcialmente rosca M10x120x1,50	8	1,35	10,8
Perno M3x20	6	0,25	1,5
Perno M2x10	2	0,2	0,4
Perno M2x10	2	0,2	0,4
Tuerca M10 paso 1,50	8	0,7	5,6
Tuerca M3	6	0,15	0,9
Perno M2x10	2	0,2	0,4
Arandela M10	32	0,03	0,96
Arandela M3	6	0,03	0,18
Rodamiento "FAG"-6000,2ZR	16	3,7	59,2
Rodamiento "FAG"-7206,TVB	1	6,8	6,8
Chumacera correspondiente -7206,TVB	1	8,75	8,75
Disyuntor 50Amp 220V 3F Riel Din	3	12,85	38,55
Disyuntor 6A 220V 3F	1	20,64	20,64
Disyuntor 8A Riel Din	1	19,82	19,82
Contactador 50Amp 220V 3F Riel Din	3	44,92	134,76
Contactador 8A Riel Din	1	11,47	11,47
Niquelinas 12000 W	3	115	345
Motor 1/2 HP-IP65-Bridado-Posición vertical-1320 RPM	1	194,61	194,61
Variador de Frecuencia 3/4 HP	1	246,39	246,39
Bomba eléctrica 1HP	1	248,21	248,21



Continúa

Controlador de Temperatura	2	69	138
PLC 16E/8S 120V/220V	1	365,19	365,19
Sensor de nivel 120V	1	10,56	10,56
Sensor Fotoeléctrico	1	42,06	42,06
Sensor temperatura Termocupla PT100	1	50,63	50,63
Fin de Carrera de rodillo	1	4,42	4,42
Luz piloto verde $\phi$ 22mm 120V	12	1,55	18,6
Luz piloto roja $\phi$ 22mm 120V	9	1,55	13,95
Pulsador de emergencia metálico $\phi$ 40mm	2	7,35	14,7
Pulsador rasante $\phi$ 22mm 120V	7	2,52	17,64
Selector 3 estados 120V $\phi$ 22mm	1	3,8	3,8
Gabinete eléctrico 600x400	1	50,05	50,05
Bornera Cable 18 (m)	24	0,56	13,44
Canaleta ranurada 40x40	1	4,9	4,9
Riel Din	1	2,74	2,74
Cable AWG 6 (m)	20	1,68	33,6
Cable AWG 18 (m)	30	1,07	32,1
Filtro conexión 1,5"	1	30,55	30,55
Válvula 1,5"	1	15,4	15,4
Universal 1,5"	1	5,4	5,4
Neplo NPT Inox. $\phi$ 1/2"	2	10,5	21
Neplo NPT Inox. $\phi$ 38mm		Total	2244,07
		Total	2244,07

**Tabla 5. 3****Costo de Maquinado y ensamblaje**

<b>Maquinaria</b>	<b>Tiempo [horas]</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Costo Total [USD]</b>
Suelda TIG	6	5	25
Suelda SMAW	12	4,5	54
Torno	14	6,5	91
Otros	30	3	90
Ensamblaje mecánico	4	5	20
Ensamblaje Eléctrico	7	4,5	31,5
		<b>Total</b>	<b>311,5</b>

**5.1.2. COSTOS INDIRECTOS**

“Se designa con el nombre de gastos indirectos a todas aquellas erogaciones que, siendo necesarias para lograr la producción de un artículo, no es posible determinar en forma precisa la cantidad que corresponde a la unidad producida”. (Jiménez&Espinoza, 2007)

**Tabla 5. 4****Costo de mano de obra indirecta**

<b>Mano de obra indirecta</b>	<b>Tiempo [horas]</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Costo Total [USD]</b>
Ingeniería y Diseño	250	8	2000
Planos mecánicos y eléctricos	35	6	210
Programación	4	8	48
		<b>Total</b>	<b>2258</b>

**Tabla 5. 5**  
**Costos operativos**

<b>Costo operativo</b>	<b>Costo Total [USD]</b>
Luz eléctrica	80
Agua potable	120
Telefonía e internet	100
Transporte	320
Alimentación	350
<b>Total</b>	<b>970</b>

### 5.1.3. COSTOS TOTALES

**Tabla 5. 6**

**Costo total de la máquina de impresión por transferencia de agua**

<b>Detalle</b>	<b>Costo Total [USD]</b>
Costo de materiales directos	2582,69
Costo de elementos y accesorios	2244,07
Costo de Maquinado y ensamblaje	311,5
Costo de mano de obra indirecta	2258
Costos operativos	970
Subtotal	8366,26
Utilidad 40%	3346,51
<b>Total</b>	<b>11712,75</b>

## 5.2. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

Se considera la inversión total del proyecto, sin embargo para este caso el valor de la utilidad no es considerada pues la máquina es desarrollada para usarla en el proceso y no para la comercialización.

### 5.2.1. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

“El valor actual neto (VAN) es uno de los métodos financieros que sí toma en cuenta los flujos de efectivo del tiempo”. (Fernández, 2007)

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{F_n}{(1 + K)^n}$$

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial

$F$ : Flujo neto de efectivo anual

$K$ : Costo del capital.

#### 5.2.1.1. Cálculo de flujo neto de efectivo anual (Fn)

Es el valor total que se origina considerando la productividad de la máquina. Se calcula un promedio del costo de todas las autopartes sometidas al proceso tomando de referencia 17,5 USD por autoparte, la máquina procesa un promedio de 3 autopartes por día, durante 20 días al mes. La venta anual es de:

$$Venta\ Anual = 17,5 \left( \frac{USD}{autoparte} \right) * 3 \left( \frac{autopartes}{día} \right) * 20 \left( \frac{días}{mes} \right) * 12 \left( \frac{meses}{año} \right)$$

$$Venta\ Anual = 12600 \left( \frac{USD}{año} \right)$$



El costo de producción anual:

**Tabla 4. 4**

**Costo de producción anual**

Elemento	Costo mensual	Costo anual
Lámina de polivinílico (rollo)	320	3840
Químico activador	150	1800
Operador	354	4248
Luz eléctrica	35	420
Agua	40	480
	Total	8988

El flujo neto efectivo es:

$$Fn = Ventas - Costo de producción$$

$$Fn = 12600(USD) - 8988(USD)$$

$$Fn = 3612(USD)$$

**Tabla 4. 5**

**Cálculo de VAN**

n	0	1	2	3	4	5
lo	8366,26					
Fn		3612,00	3973,20	4370,52	4807,57	5288,33
K	20%	20%	20%	20%	20%	20%
(1+k)^n	1	120%	144%	173%	207%	249%
Fn/(1+k)^n	-8366,26	3010,00	2759,17	2529,24	2318,47	2125,26
VAN	4375,87					

## 5.2.2. TASA INTERNA DE RETORNO

“La TIR de un proyecto de inversión es la tasa de descuento (r), que hace que el valor actual de los flujos de beneficio (positivo) sea igual al valor actual de los flujos de inversión negativos.

$$I_0 = \sum_{n=1}^n \frac{R_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

TIR: Tasa interna de retorno

R<sub>n</sub>: Flujo de efectivo anual

I<sub>0</sub>: Inversión inicial

**Tabla 4. 6**

### Cálculo de la TIR

n	0	1	2	3	4	5
I <sub>0</sub>	8366,26					
F <sub>n</sub>		3.612,00	3.973,20	4.370,52	4.807,57	5.288,33
TIR	40%	40%	40%	40%	40%	40%
(1+k) <sup>n</sup>	1,00	1,40	1,97	2,77	3,89	5,47
F <sub>n</sub> /(1+k) <sup>n</sup>	-8366,26	2571,70	2014,12	1577,43	1235,42	967,56
VAN	0,0					

Se concluye la viabilidad del proyecto de acuerdo a la Tabla 4. 9 obteniendo que la TIR del 40% es superior a la tasa de descuento del 20%.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. CONCLUSIONES**

- Al culminar el diseño de la máquina semi-automáticas para el proceso de impresión por transferencia de agua para autopartes de autobús, caso específico-Miviltech se cumple con el objetivo principal del proyecto.
- Se comprueba el proceso de la máquina de impresión por transferencia de agua al simular la programación del sistema de control mediante un software.
- Los tres tipos de mando de la máquina ofrece un mayor control del proceso y flexibilidad para diferentes tipos de autopartes de autobús dentro de las dimensiones del proyecto.
- La máquina de impresión por transferencia de agua puede operar las durante las 24 horas del día si la producción así lo requiere.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo de análisis financiero, se ratifica la viabilidad del proyecto.
- Se puede reducir notablemente el tiempo en la pintura de cada autoparte con la implementación del proceso de impresión por transferencia de agua.
- En el diseño de los rigidizadores del anillo inferior del tanque debe ser calculado antes que el anillo superior.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Implementar la máquina de impresión por transferencia de agua.
- Previa la construcción de la máquina verificar la disponibilidad de los elementos, y la maquinaria adecuada para la manufactura en especial para el caso del tornillo de potencia y la tuerca.
- La constante lubricación del tornillo de potencia prolongará la vida útil de sistema de elevación.
- Para la construcción usar los elementos descritos en el proyecto para evitar el sobredimensionamiento o el fallo de la máquina.
- Colocar a la máquina de impresión por transferencia de agua en una zona cubierta y libre de impurezas en el aire.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Beer f. Y Johnston E. (S/F) Mecánica vectorial para ingenieros
- [2] Seely f. (1954), Resistencia de materiales
- [3] Dobrovoski. (1970), Elementos de máquinas. Moscú
- [4] Deutshman, A, (1952), Machine Desing Theory And Practice
- [5] Budynas R. & Nisbett, K. (2008), Diseño en ingeniería mecánica de SHIGLEY. México. Mcgraw- Hill, 8ª Edición
- [6] Mott, R. & Saldaña, S. & Hernández, A. & Villanueva, J, (2006), Diseño de elementos de máquinas
- [7] Mott, R. (2006), Mecánica de fluidos
- [8] Roldán, J. (2011), Automatismos industriales
- [9] Álvarez, M. (2000), Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR
- [10] Macchia, J. (S/F), Cómputos, Costos y Presupuestos
- [11] Jiménez, F. (S/F), Costos industriales