



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO  
AUTOMÁTICO DE BIDONES DE LECHE CON EL FIN DE  
FACILITAR LA LIMPIEZA Y OPTIMIZAR EL TIEMPO DE  
LAVADO DE LOS PROVEEDORES”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

FELIX ALEXANDER DUCHI DUCHI

LISBETH CRISTINA REMACHE CUNALATA

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO  
AUTOMÁTICO DE BIDONES DE LECHE CON EL FIN DE  
FACILITAR LA LIMPIEZA Y OPTIMIZAR EL TIEMPO DE  
LAVADO DE LOS PROVEEDORES”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES: FELIX ALEXANDER DUCHI DUCHI**

**LISBETH CRISTINA REMACHE CUNALATA**

**DIRECTOR: ING. GABRIEL VINICIO MOREANO SÁNCHEZ**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Felix Alexander Duchi Duchi y Lisbeth Cristina Remache Cunalata

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Lisbeth Cristina Remache Cunalata y Felix Alexander Duchi Duchi, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de noviembre del 2023.



**Lisbeth Cristina Remache Cunalata**

**180529760-1**






**Felix Alexander Duchi Duchi**

**060517395-4**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO AUTOMÁTICO DE BIDONES DE LECHE CON EL FIN DE FACILITAR LA LIMPIEZA Y OPTIMIZAR EL TIEMPO DE LAVADO DE LOS PROVEEDORES**”, realizado por los señores: **FELIX ALEXANDER DUCHI DUCHI** y **LISBETH CRISTINA REMACHE CUNALATA**, han sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-11-29
Ing. Gabriel Vinicio Moreano Sánchez <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-11-29
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-11-29

## **DEDICATORIA**

Las horas de estudio, los minutos de sacrificio y los segundos de constancia los dedico a mis padres José y María Duchi. Querido hermano Jhermin y hermana Keny, esto es para ustedes, los sueños si se cumplen. Querido abuelito que estas en el cielo, querido primo Brayan, estimados tíos y tías, esta etapa de mi vida académica se las dedico a ustedes. Los quiero mucho.

Felix

Este sueño hecho realidad se la dedico a mi DIOS, mi fuente eterna de inspiración, a mis amados padres, WILLIAM y SILVIA, quienes han sido mi pilar inquebrantable, su fe en mí ha sido mi impulso constante. A mi querido hermano ROMARIO, un faro de fortaleza y perseverancia, siempre a mi lado en los momentos difíciles. A mi adorada hermana ELINA, a pesar de ser pequeña todavía, ha sido mi constante compañera, brindándome ánimo cuando más lo necesitaba. Cada logro lleva la huella de su amor y apoyo, y este sueño se teje con los hilos de nuestros momentos compartidos. Los amo profundamente.

Cristina

## AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecerte por haberme permitido conocer este mundo, quiero agradecerte por haberme colocado en mi familia, por Jose y Maria Duchi; mis padres, por mis dos pequeños reflejos Jhermin y Keny. Quiero agradecerte por haberme hecho feliz, por la educación, por mis maestros, por las oportunidades y los momentos. Por las personas, mis amigos, mi novia, necesito darte gracias por mi haber confiado en mí y en mi propósito. A ti, gracias, Dios.

Felix

Agradezco eternamente a mi amado Padre Celestial, DIOS, por otorgarme la fuerza necesaria para superar cada adversidad en el camino hacia este gran logro. Su constante bendición me ha brindado salud, vida y sabiduría a lo largo de mi existencia. Expreso mi profundo agradecimiento a toda mi familia, abuelitos y tíos, cuyas palabras y apoyo han dejado una huella imborrable en mi corazón. En especial, a mis amados padres y hermanos, cuyos consejos e incondicional apoyo han sido la brújula que ha guiado cada paso, este triunfo no es solo mío, sino de todos nosotros, ya que lo comenzamos juntos y lo hemos logrado juntos. Mi reconocimiento sincero a Felix, cuya incondicionalidad y sabios consejos han sido faros en mi camino. Finalmente, agradezco a la ESPOCH por ser mi hogar académico, donde me recibieron, formaron profesionalmente y me inculcaron valores que me han guiado para ser no solo una de las mejores en mi campo, sino también una mejor persona.

Cristina

## INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. Alcance .....	4
1.5. Objetivos .....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Estado del arte.....	6
2.1.1. <i>Producción de leche en Ecuador</i> .....	6
2.1.2. <i>Centros de acopio de leche en Ecuador</i> .....	6
2.1.3. <i>Tanques o bidones de leche</i> .....	7
2.1.4. <i>Problemas de bacterias</i> .....	8
2.1.5. <i>Limpieza y desinfección de los tanques de almacenamiento</i> .....	9
2.1.5.1. <i>Pre-enjuague con agua</i> .....	9
2.1.5.2. <i>Lavado con detergente</i> .....	9
2.1.5.3. <i>Enjuague con agua limpia</i> .....	10
2.1.5.4. <i>Desinfección</i> .....	10
2.1.6. <i>Tipos de lavadora de bidones</i> .....	10
2.1.6.1. <i>Lavadora semiautomática lineal de lavado de bidones</i> .....	11
2.1.6.2. <i>Lavadora rotativa de bidones</i> .....	11
2.1.6.3. <i>Lavadora con cepillos externos</i> .....	12



2.1.6.4.	<i>Lavadora vertical con cepillos rotativos</i> .....	13
2.1.6.5.	<i>Lavadora horizontal con cepillos rotativos</i> .....	14
2.2.	<b>Diseño mecánico</b> .....	15
2.2.1.	<b><i>Diseño a carga estática</i></b> .....	15
2.2.1.1.	<i>Esfuerzos mecánicos</i> .....	15
2.2.1.2.	<i>Esfuerzo axial en barras</i> .....	15
2.2.1.3.	<i>Esfuerzo cortante en flexión</i> .....	16
2.2.1.4.	<i>Esfuerzo normal en flexión</i> .....	16
2.2.1.5.	<i>Torsión en barras</i> .....	17
2.2.1.6.	<i>Resistencia estática</i> .....	18
2.2.2.	<b><i>Teorías de falla</i></b> .....	19
2.2.2.1.	<i>Teorías de falla para materiales dúctiles</i> .....	20
2.2.2.2.	<i>Teorías de falla para materiales frágiles</i> .....	22
2.2.3.	<b><i>Coficiente de Seguridad</i></b> .....	24
2.2.4.	<b><i>Selección de teorías de falla</i></b> .....	25
2.2.5.	<b><i>Diseño de ejes por fatiga</i></b> .....	26
2.2.5.1.	<i>Límite de fatiga</i> .....	27
2.2.5.2.	<i>Concentradores de esfuerzo</i> .....	29
2.2.5.3.	<i>Fatiga a esfuerzos combinados</i> .....	31
2.2.6.	<b><i>Selección de elementos flexibles</i></b> .....	32
2.2.6.1.	<i>Transmisión por cadena</i> .....	32
2.2.6.2.	<i>Selección de rodamientos</i> .....	34

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	38
3.1.	<b>Definición del Producto</b> .....	38
3.1.1.	<b><i>Identificación del usuario</i></b> .....	38
3.1.2.	<b><i>Requerimientos del usuario</i></b> .....	38
3.1.3.	<b><i>Priorizar los requerimientos del usuario</i></b> .....	39
3.1.4.	<b><i>Análisis de competencias</i></b> .....	40
3.1.4.1.	<i>Competencia 1: Lavadora de bidones de leche PBL 370</i> .....	41
3.1.4.2.	<i>Competencia 2: Lavadora de bidones - Milk Can Washer</i> .....	42
3.1.4.3.	<i>Competencia 3: Lavadora de bidones - Rotary Can Washing Machine</i> .....	43
3.1.4.4.	<i>Competencia 4: Lavadora automática SP-NW1</i> .....	44
3.1.4.5.	<i>Competencia 5: Lavadora automática - Can Scrubber</i> .....	45
3.1.5.	<b><i>Despliegue de la función de calidad (QFD)</i></b> .....	46

3.1.5.1.	<i>Análisis de evaluación de requerimientos del cliente</i> .....	47
3.1.5.2.	<i>Análisis de competitividad</i> .....	48
3.1.5.3.	<i>Conclusiones de la Matriz QFD</i> .....	51
3.1.6.	<i>Especificaciones técnicas</i> .....	52
3.2.	<b>Diseño conceptual</b> .....	53
3.2.1.	<i>Análisis funcional</i> .....	53
3.2.2.	<i>Matriz morfológica</i> .....	55
3.2.2.1.	<i>Alternativas de solución</i> .....	56
3.2.3.	<i>Métodos de evaluación de soluciones</i> .....	59
3.2.3.1.	<i>Método ordinal corregido de criterios ponderados</i> .....	60
3.3.	<b>Diseño de materialización</b> .....	63
3.3.1.	<i>Generación del modelo 3D mediante software CAD</i> .....	63
3.3.2.	<i>Procesos de manufactura</i> .....	63
3.4.	<b>Diseño mecánico</b> .....	64
3.4.1.	<i>Selección de cepillos industriales</i> .....	64
3.4.2.	<i>Cálculo de la potencia del motor</i> .....	66
3.4.2.1.	<i>Momento de inercia de masa del bidón</i> .....	66
3.4.2.2.	<i>Momento de inercia de masa de los ejes de lavado</i> .....	67
3.4.2.3.	<i>Momento de inercia de masa de los cepillos de lavado</i> .....	68
3.4.2.4.	<i>Momento de inercia de masa de los piñones</i> .....	70
3.4.3.	<i>Cálculo del sistema de transmisión piñón – cadena</i> .....	72
3.4.3.1.	<i>Selección de cadena y ruedas dentadas</i> .....	73
3.4.3.2.	<i>Cálculo de la longitud de la cadena</i> .....	77
3.4.4.	<i>Cálculo de los ejes de los cepillos</i> .....	81
3.4.4.1.	<i>Análisis del eje de lavado 1</i> .....	82
3.4.5.	<i>Selección de rodamientos</i> .....	91
3.4.6.	<i>Selección de chumacera</i> .....	94
3.4.7.	<i>Diseño de la estructura del tanque</i> .....	95
3.4.7.1.	<i>Espesor de la pared del tanque</i> .....	95
3.4.8.	<i>Diseño de la estructura de soporte</i> .....	97
3.4.9.	<i>Soldadura para acero inoxidable</i> .....	99
3.5.	<b>Diseño del sistema de control</b> .....	100
3.5.1.	<i>Cálculo de consumo eléctrico</i> .....	100
3.5.2.	<i>Selección de calibre del conductor</i> .....	101
3.5.3.	<i>Circuito de potencia</i> .....	102
3.5.3.1.	<i>Selección del contactor</i> .....	102

3.5.3.2.	<i>Selección del relé térmico</i> .....	103
3.5.3.3.	<i>Selección del breaker</i> .....	103
3.5.4.	<b>Circuito de mando</b> .....	104
3.5.4.1.	<i>Selección del breaker</i> .....	104
3.5.4.2.	<i>Selección del temporizador</i> .....	104
3.5.4.3.	<i>Selección de pulsadores</i> .....	105
3.5.4.4.	<i>Selección de luces piloto</i> .....	106
3.6.	<b>Representación gráfica del sistema eléctrico</b> .....	107
3.7.	<b>Construcción de la máquina</b> .....	111
3.7.1.	<b>Construcción mecánica</b> .....	111
3.7.1.1.	<i>Fabricación de los cepillos</i> .....	111
3.7.1.2.	<i>Fabricación de los ejes de lavado</i> .....	112
3.7.1.3.	<i>Fabricación del tanque de suministro de agua</i> .....	112
3.7.1.4.	<i>Fabricación de la guarda o cubierta del sistema de transmisión</i> .....	113
3.7.1.5.	<i>Fabricación de la estructura de soporte</i> .....	113
3.7.2.	<b>Ensamblaje de la máquina</b> .....	114
3.7.3.	<b>Mantenimiento preventivo de la maquina</b> .....	118
3.7.3.1.	<i>Acciones de mantenimiento preventivo</i> .....	119
3.8.	<b>Evaluación de costos</b> .....	122
3.8.1.	<b>Costos directos</b> .....	122
3.8.1.1.	<i>Costo de elementos normalizados</i> .....	123
3.8.1.2.	<i>Costo de materiales</i> .....	124
3.8.1.3.	<i>Costo de fabricación y mano de obra</i> .....	124
3.8.2.	<b>Costos indirectos</b> .....	125
3.8.3.	<b>Costo total</b> .....	125

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	126
4.1.	<b>Análisis estructural</b> .....	126
4.1.1.	<b>Validación de los ejes de los cepillos</b> .....	126
4.1.1.1.	<i>Validación de eje de cepillo cilíndrico</i> .....	127
4.1.1.2.	<i>Validación de eje de cepillo cabeza semiesférica</i> .....	129
4.1.2.	<b>Validación del tanque de almacenamiento</b> .....	131
4.1.3.	<b>Validación de la estructura metálica</b> .....	134
4.2.	<b>Resultados operativos</b> .....	139
4.3.	<b>Evaluación de costos de mantenimiento</b> .....	142

4.3.1.	<i>Consumo eléctrico</i> .....	143
4.3.2.	<i>Repuestos de máquina de lavado</i> .....	144
4.3.3.	<i>Costo anual de mantenimiento</i> .....	145

## **CAPÍTULO V**

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	146
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	146
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	147

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Unidades Sistema Inglés y Métrico. ....	15
<b>Tabla 2-2:</b>	Fórmulas de esfuerzo cortante debido a flexión. ....	16
<b>Tabla 2-3:</b>	Factores de multiplicación. ....	18
<b>Tabla 2-4:</b>	Casos de fallo. ....	23
<b>Tabla 2-5:</b>	Cuadro resumen de Teorías de Falla. ....	24
<b>Tabla 2-6:</b>	Coeficiente de seguridad de las teorías de falla. ....	25
<b>Tabla 2-7:</b>	Factor de condición superficial. ....	27
<b>Tabla 2-8:</b>	Factor de confiabilidad. ....	28
<b>Tabla 2-9:</b>	Factor de temperatura. ....	29
<b>Tabla 2-10:</b>	Esfuerzos equivalentes. ....	31
<b>Tabla 2-11:</b>	Criterios de falla. ....	31
<b>Tabla 2-12:</b>	Ventajas y desventajas del sistema de transmisión. ....	32
<b>Tabla 2-13:</b>	Factor de vida de los tipos de rodamientos. ....	35
<b>Tabla 2-14:</b>	Factor de velocidad de los tipos de rodamientos. ....	35
<b>Tabla 3-1:</b>	Requerimientos del usuario. ....	39
<b>Tabla 3-2:</b>	Voz del Ingeniero. ....	40
<b>Tabla 3-3:</b>	Ficha técnica de la competencia 1. ....	41
<b>Tabla 3-4:</b>	Ficha técnica de la competencia 2. ....	42
<b>Tabla 3-5:</b>	Ficha técnica de la competencia 3. ....	44
<b>Tabla 3-6:</b>	Ficha técnica de la competencia 4. ....	45
<b>Tabla 3-7:</b>	Ficha técnica de la competencia 5. ....	46
<b>Tabla 3-8:</b>	Necesidades del cliente. ....	47
<b>Tabla 3-9:</b>	Resultados de las encuestas de los requerimientos de los usuarios. ....	48
<b>Tabla 3-10:</b>	Análisis de competitividad. ....	49
<b>Tabla 3-11:</b>	Evaluación técnica de los productos. ....	51
<b>Tabla 3-12:</b>	Especificaciones técnicas del sistema de lavado de bidones de leche. ....	52
<b>Tabla 3-13:</b>	Módulos de funcionalidad. ....	55
<b>Tabla 3-14:</b>	Matriz Morfológica. ....	55
<b>Tabla 3-15:</b>	Alternativas de solución. ....	57
<b>Tabla 3-16:</b>	Ventajas y desventajas de cada alternativa de solución. ....	58
<b>Tabla 3-17:</b>	Evaluación del peso específico de cada criterio. ....	60
<b>Tabla 3-18:</b>	Evaluación de alternativas respecto al criterio Peso del equipo. ....	61
<b>Tabla 3-19:</b>	Evaluación de alternativas respecto al criterio Costo. ....	61
<b>Tabla 3-20:</b>	Evaluación de alternativas respecto al criterio Componentes. ....	61

<b>Tabla 3-21:</b>	Evaluación de alternativas respecto al criterio Relación de transmisión. ....	62
<b>Tabla 3-22:</b>	Evaluación de alternativas respecto al criterio Velocidad de lavado. ....	62
<b>Tabla 3-23:</b>	Evaluación de alternativas. ....	62
<b>Tabla 3-24:</b>	Factor de servicio $c_1$ . ....	73
<b>Tabla 3-25:</b>	Interpolación de potencia para 12 dientes en piñón motriz. ....	75
<b>Tabla 3-26:</b>	Velocidades máximas de cadenas. ....	80
<b>Tabla 3-27:</b>	Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304. ....	89
<b>Tabla 3-28:</b>	Características del rodamiento seleccionado 6705. ....	93
<b>Tabla 3-29:</b>	Características de la chumacera seleccionada F-UCPM205/LP03. ....	95
<b>Tabla 3-30:</b>	Pesos de los componentes que soporta la estructura. ....	97
<b>Tabla 3-31:</b>	Ficha técnica de la maquina lavadora de bidones de leche. ....	117
<b>Tabla 3-32:</b>	Acciones de mantenimiento preventivo. ....	122
<b>Tabla 3-33:</b>	Costo de elementos normalizados. ....	123
<b>Tabla 3-34:</b>	Costo de materiales. ....	124
<b>Tabla 3-35:</b>	Costo de fabricación y mano de obra. ....	124
<b>Tabla 3-36:</b>	Costos indirectos de fabricación. ....	125
<b>Tabla 3-37:</b>	Costo total de la máquina. ....	125
<b>Tabla 4-1:</b>	Análisis de elementos finitos para eje de cepillo cilíndrico. ....	127
<b>Tabla 4-2:</b>	Análisis de elementos finitos para eje de cepillo cabeza semiesférica. ....	129
<b>Tabla 4-3:</b>	Referencia de datos según los evaluadores de falla. ....	131
<b>Tabla 4-4:</b>	Costos de consumo eléctrico. ....	144
<b>Tabla 4-5:</b>	Costos de filamentos anuales. ....	144
<b>Tabla 4-6:</b>	Costos anuales de mantenimiento. ....	145

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Bidón de leche de 40 litros.....	8
<b>Ilustración 2-2:</b>	Máquina de limpieza de contenedores de leche.....	11
<b>Ilustración 2-3:</b>	Lavadora rotativa de bidones de leche.....	12
<b>Ilustración 2-4:</b>	Lavadora exterior e interior de bidones. ....	13
<b>Ilustración 2-5:</b>	Lavadora de bidones con cepillos verticales.....	14
<b>Ilustración 2-6:</b>	Lavadora de bidones con cepillos horizontales. ....	14
<b>Ilustración 2-7:</b>	Esfuerzo en flexión. ....	17
<b>Ilustración 2-8:</b>	Falla dúctil y frágil de probetas. ....	20
<b>Ilustración 2-9:</b>	Representación de la teoría de fallo de Tresca en los círculos de Mohr. ...	21
<b>Ilustración 2-10:</b>	Representación de la teoría de fallo de Von Mises en el diagrama $\sigma_1$ - $\sigma_2$ (para estados tensionales biaxiales).....	22
<b>Ilustración 2-11:</b>	Representación de la teoría de fallo de Rankine: a) en los círculos de Mohr b) en el diagrama $\sigma_1$ - $\sigma_2$ (para estados tensionales biaxiales). ....	23
<b>Ilustración 2-12:</b>	Selección de teorías de falla.....	26
<b>Ilustración 2-13:</b>	Sensibilidad de la muesca en flexión invertida.....	30
<b>Ilustración 2-14:</b>	Sensibilidad de la muesca en torsión invertida.....	31
<b>Ilustración 3-1:</b>	Casa de calidad del sistema de lavado automático de bidones de leche....	50
<b>Ilustración 3-2:</b>	Análisis funcional-Nivel 0. ....	53
<b>Ilustración 3-3:</b>	Análisis funcional-Nivel 1. ....	54
<b>Ilustración 3-4:</b>	Diseño CAD del sistema de lavado. ....	63
<b>Ilustración 3-5:</b>	Esquema de cepillos cilíndricos modulares.....	65
<b>Ilustración 3-6:</b>	Rodillo cepillo cilíndrico de nylon. ....	66
<b>Ilustración 3-7:</b>	Propiedades físicas del bidón de leche. ....	67
<b>Ilustración 3-8:</b>	Cepillo de cabeza esférica. ....	69
<b>Ilustración 3-9:</b>	Transmisión de cadena de rodillos.....	73
<b>Ilustración 3-10:</b>	Conjunto de piñones normalizados adquiridos.....	76
<b>Ilustración 3-11:</b>	Configuración del sistema de transmisión de la máquina. ....	77
<b>Ilustración 3-12:</b>	Sistema de transmisión de potencia de la máquina.....	77
<b>Ilustración 3-13:</b>	Sistema de transmisión cadena - piñón.....	78
<b>Ilustración 3-14:</b>	Propiedades del piñón conductor de SolidWorks. ....	78
<b>Ilustración 3-15:</b>	Propiedades del piñón conducido de SolidWorks. ....	79
<b>Ilustración 3-16:</b>	Cálculo de la longitud de la cadena. ....	79
<b>Ilustración 3-17:</b>	Diagrama de cuerpo libre del eje 1. ....	83
<b>Ilustración 3-18:</b>	Análisis de fuerzas en el punto A. ....	83

<b>Ilustración 3-19:</b>	Diagrama de cuerpo libre en el plano x-y .....	84
<b>Ilustración 3-20:</b>	Análisis de cortante en la sección 3. ....	85
<b>Ilustración 3-21:</b>	Diagrama cortante en el plano x-y. ....	86
<b>Ilustración 3-22:</b>	Diagrama de momento flector en el plano x-y. ....	86
<b>Ilustración 3-23:</b>	Diagrama de cuerpo libre en el plano x-z. ....	86
<b>Ilustración 3-24:</b>	Diagrama cortante en el plano x—z.....	87
<b>Ilustración 3-25:</b>	Diagrama de momento flector en el plano x-z.....	87
<b>Ilustración 3-26:</b>	Diagrama de flexión (esfuerzo completamente invertido) .....	88
<b>Ilustración 3-27:</b>	Diagrama de torsión constante. ....	89
<b>Ilustración 3-28:</b>	Rodamientos rígidos de bolas. ....	91
<b>Ilustración 3-29:</b>	Chumacera tipo puente.....	94
<b>Ilustración 3-30:</b>	Valores de $\alpha$ para fórmula de tanques. ....	96
<b>Ilustración 3-31:</b>	Contactador. ....	102
<b>Ilustración 3-32:</b>	Relé térmico. ....	103
<b>Ilustración 3-33:</b>	Breaker. ....	104
<b>Ilustración 3-34:</b>	Temporizador. ....	105
<b>Ilustración 3-35:</b>	Pulsador de marcha – verde. ....	106
<b>Ilustración 3-36:</b>	Pulsador de apagado – rojo. ....	106
<b>Ilustración 3-37:</b>	Pulsador de emergencia – rojo. ....	106
<b>Ilustración 3-38:</b>	Luces pilotos. ....	107
<b>Ilustración 3-39:</b>	Representación gráfica del sistema eléctrico en Cade Simu. ....	108
<b>Ilustración 3-40:</b>	Orden de activación del sistema eléctrico.....	109
<b>Ilustración 3-41:</b>	Modalidades del proceso.....	109
<b>Ilustración 3-42:</b>	Gabinete eléctrico - vista externa.....	110
<b>Ilustración 3-43:</b>	Gabinete eléctrico - vista interna. ....	111
<b>Ilustración 3-44:</b>	Fabricación de cepillos de nylon.....	112
<b>Ilustración 3-45:</b>	Ejes de lavado. ....	112
<b>Ilustración 3-46:</b>	Fabricación del tanque de suministro de agua. ....	113
<b>Ilustración 3-47:</b>	Doblado de la cubierta del sistema de transmisión.....	113
<b>Ilustración 3-48:</b>	Estructura de soporte.....	114
<b>Ilustración 3-49:</b>	Montaje de los cepillos de lavado. ....	115
<b>Ilustración 3-50:</b>	Montaje del cepillo recto y el rodillo en las paredes laterales del tanque. ....	115
<b>Ilustración 3-51:</b>	Montaje del sistema de transmisión. ....	116
<b>Ilustración 3-53:</b>	Sistema de lavado de bidones de lecho terminado en su totalidad. ....	116
<b>Ilustración 3-54:</b>	Diagrama Ishikawa para el mal funcionamiento de la máquina. ....	119
<b>Ilustración 4-1:</b>	Análisis estático de eje de cepillo. ....	127



<b>Ilustración 4-2:</b>	Análisis de tensiones de los ejes. ....	128
<b>Ilustración 4-3:</b>	Análisis de desplazamiento de eje. ....	128
<b>Ilustración 4-4:</b>	Factor de seguridad del eje. ....	128
<b>Ilustración 4-5:</b>	Análisis estático de eje de cepillo. ....	129
<b>Ilustración 4-6:</b>	Análisis de tensiones de los ejes. ....	130
<b>Ilustración 4-7:</b>	Análisis de desplazamiento de eje. ....	130
<b>Ilustración 4-8:</b>	Factor de seguridad del eje. ....	130
<b>Ilustración 4-9:</b>	Datos mínimos y máximos de la calidad del mallado. ....	131
<b>Ilustración 4-10:</b>	Cargas y condiciones de apoyo. ....	132
<b>Ilustración 4-11:</b>	Deformación máxima del tanque. ....	133
<b>Ilustración 4-12:</b>	Esfuerzo máximo producido en el tanque. ....	133
<b>Ilustración 4-13:</b>	Calidad de malla de la estructura. ....	134
<b>Ilustración 4-14:</b>	Deformación total de la estructura de soporte. ....	135
<b>Ilustración 4-15:</b>	Fuerza axial de la columna. ....	135
<b>Ilustración 4-16:</b>	Fuerza axial de la viga lateral. ....	136
<b>Ilustración 4-17:</b>	Fuerza axial de la viga central. ....	136
<b>Ilustración 4-18:</b>	Path de la viga central. ....	137
<b>Ilustración 4-19:</b>	Diagramas de cortante y momento flector de la viga central. ....	137
<b>Ilustración 4-20:</b>	Path de la viga lateral. ....	137
<b>Ilustración 4-21:</b>	Diagramas de cortante y momento flector de la viga lateral. ....	138
<b>Ilustración 4-22:</b>	Fuerza de reacción en los apoyos. ....	138
<b>Ilustración 4-23:</b>	Momento generado en los apoyos de la estructura. ....	139
<b>Ilustración 4-24:</b>	Ingreso de los bidones de leche. ....	141
<b>Ilustración 4-25:</b>	Proceso de lavado del bidón de leche. ....	141
<b>Ilustración 4-26:</b>	Retiro del bidón de leche. ....	142
<b>Ilustración 4-27:</b>	Obtención de un bidón limpio. ....	142

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SELECCIÓN DE CADENA DE RODILLOS.
- ANEXO B:** SELECCIÓN DE CADENA DE RODILLOS.
- ANEXO C:** SELECCIÓN DE LAS CATARINAS DE LA CADENA DE RODILLOS.
- ANEXO D:** PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304.
- ANEXO E:** PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304.
- ANEXO F:** VIDA NOMINAL DE RODAMIENTOS PARA DIFERENTES MÁQUINAS.
- ANEXO G:** SELECCIÓN DE RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS.
- ANEXO H:** SELECCIÓN DE CHUMACERA CON RODAMIENTO DE BOLAS.
- ANEXO I:** FÓRMULAS CÁLCULO DE VIGAS DE LA ESTRUCTURA DEL SOPORTE.
- ANEXO J:** TUBO CUADRADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 304.
- ANEXO K:** SELECCIÓN DE CALIBRE DEL CONDUCTOR.
- ANEXO L:** REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

## RESUMEN

En las zonas rurales, los centros de acopio juegan un papel crucial en la recolección y procesamiento de la leche de pequeños y medianos productores. La calidad de la leche entregada es esencial, pero la metodología de lavado manual de los tanques o bidones utilizados para transportarla y almacenarla a menudo no cumple con las expectativas, lo que puede resultar en rechazos debido a la presencia de bacterias y contaminantes, además el tiempo de lavado de cada recipiente es extenso. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue realizar el diseño y construcción de un sistema de lavado automático de bidones de leche con el fin de facilitar la limpieza y optimizar el tiempo de lavado de los proveedores. La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque de diseño y construcción, integrando tecnologías automáticas para desarrollar un sistema de lavado eficiente. Se realizaron pruebas exhaustivas para evaluar la efectividad y la durabilidad del sistema, utilizando métricas clave de rendimiento. Como resultado, se logró la implementación exitosa de un sistema de lavado automático que demostró significativas mejoras en la eficiencia del proceso de limpieza de bidones. Los tiempos de lavado se redujeron considerablemente, brindando a los proveedores una solución práctica y eficaz. En este contexto se concluye que el sistema de lavado automático no solo cumple con el objetivo de optimizar el tiempo de lavado, sino que también presenta beneficios adicionales, como la reducción de costos y la mejora de la calidad del lavado. Esta investigación destaca la importancia de la innovación tecnológica en la optimización de procesos en la industria láctea.

**Palabras clave:** <SISTEMA DE LAVADO AUTOMÁTICO> <BIDONES DE LECHE> <ACERO INOXIDABLE> <CEPILLOS INDUSTRIALES> <TRANSMISIÓN DE POTENCIA>.

2290-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

In rural areas, collection centers play a crucial role in collecting and processing milk from small and medium producers. The quality of the milk delivered is essential, but the methodology of manually washing the tanks or drums used to transport and store it often does not meet expectations, which can result in rejections due to the presence of bacteria and contaminants, in addition to the washing time for each container is extensive. Therefore, this research aimed to design and build an automatic milk drum washing system to facilitate cleaning and optimize suppliers' washing time. The research used a design-build approach, integrating automatic technologies to develop an efficient washing system. Extensive testing was performed to evaluate the effectiveness and durability of the system using key performance metrics. As a result, the successful implementation of an automatic washing system demonstrated significant improvements in the efficiency of the drum cleaning process. Washing times were significantly reduced, providing suppliers with a practical and effective solution. In this context, it is concluded that the automatic washing system meets the objective of optimizing washing time and presents additional benefits, such as reducing costs and improving washing quality. This research highlights the importance of technological innovation in process optimization in the dairy industry.

**Keywords:** <AUTOMATIC WASHING SYSTEM> <MILK DRUMS> <STAINLESS STEEL>  
<INDUSTRIAL BRUSHES> <POWER TRANSMISSION>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

## **INTRODUCCIÓN**

El diseño y construcción de un sistema de lavado automático de bidones de leche es una solución innovadora que busca facilitar la limpieza y optimizar el tiempo de lavado para los proveedores. En la industria láctea, la higiene y limpieza son aspectos fundamentales para garantizar la calidad del producto final. Actualmente, el lavado manual de los bidones de leche puede resultar un proceso tedioso y consumir una cantidad considerable de tiempo para los proveedores. Además, existe el riesgo de que no se realice de manera adecuada, lo que puede comprometer la calidad del producto y la salud de los consumidores.

En este contexto, el diseño y construcción de un sistema de lavado automático se presenta como una solución eficiente y confiable. Este sistema utilizará un control automatizado, para realizar de forma precisa y efectiva la limpieza de los bidones de leche. El objetivo principal de este proyecto es proporcionar a los proveedores de leche un equipo que permita optimizar el proceso de lavado, reducir los costos asociados y mejorar la eficiencia de sus operaciones. Al implementar un sistema automático, se logrará una limpieza uniforme y rigurosa de los bidones, eliminando cualquier residuo o contaminante que pueda afectar la calidad de la leche.

En resumen, el diseño y construcción de un sistema de lavado automático de bidones de leche representa una solución innovadora y eficiente para mejorar la calidad de vida de los proveedores.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

La leche de vaca se considera un alimento de primera necesidad para las familias, es por eso por lo que, existe gran demanda por el alto valor nutricional y porque es considerado un alimento básico en la dieta de los infantes, ancianos y la población en general. Sin embargo, la insalubridad de los alimentos y la existencia de enfermedades de transmisión alimentaria representan un problema de salud significativo en todos los países. (Buestan, 2022)

Según un estudio realizado por la OMS en la Región de las Américas se calcula que cada año 77 personas se enferman y más de 9000 mueren, de ellas 31 millones son menores de 5 años y más de 2000 mueren como consecuencias diarreicas atribuidas, en su mayoría, a la ingesta de agua o alimentos contaminados. Ecuador, por su parte, reportó 5.890 casos de intoxicación alimentaria bacteriana en 2020 debido al consumo de alimentos mal procesados, cocidos o enlatados, transmitiendo así bacterias causantes de enfermedades a los consumidores. (MSP, 2021)

El Ecuador es un país que produce alrededor de 6,15 millones de litros de leche cruda diarios, esta producción favorece a muchas familias desde pequeños y grandes ganaderos principalmente de la región sierra del país. (INEC, 2020) Por su parte la provincia de Chimborazo ubicada en la sierra centro del país es un productor muy importante de leche al igual que provincias como Pichincha y Cotopaxi quienes aportan con alrededor de 4,5 millones de litros diarios de esta materia prima. La producción e industria láctea del Ecuador beneficia a más de 1,2 millones a personas de manera directa de esta cadena productiva, y para el año 2022 representa casi el 14% del PIB agroalimentario del país. (ESPAC, 2022)

Si bien la industria láctea representa un ingreso considerable para familias ganaderas, estos valores son afectados principalmente por la calidad del producto que los ganaderos venden a los centros de acopio. La ley orgánica para la determinación del precio de la leche en Ecuador ha impuesto reglamentos obligatorios a las industrias pagar un valor de 0,42 USD por litro de leche cruda al productor, al que se debe incluir un valor extra con base a la calidad de este producto, calidad que en su gran parte es afectada por factores como malas técnicas de ordeño, almacenamiento o transporte. En cuanto al almacenamiento el principal inconveniente son los recipientes en los que se transportan el producto que predominan entre tanques de plástico y acero; este último material viene siendo un requerimiento por parte de las industrias lácteas. (Dinero, 2022)

La mayoría de los ganaderos venden y entregan sus productos en centros de acopios donde los mismos proveedores son socios de las organizaciones. Los productores enfrentan una problemática que no ha sido atendida, el horario de entrega que normalmente ronda entre las 5:00 horas y 7:00 horas de la mañana es una jornada donde las temperaturas de los sectores rurales son bajas. Esta variable influye en la comodidad para el buen manejo de producción de leche como por ejemplo el lavado y limpieza de los recipientes de leche en estos horarios fríos, estos factores climáticos hacen que los productores no desarrollen una correcta limpieza y lavado de los tanques de leche.

La construcción de un sistema automático de lavado de bidones de acero es una alternativa para el mejoramiento de la calidad de la leche que involucra llevar el tanque de acero a un proceso de limpieza en una máquina automática que atraviesa por etapas de aplicación de detergente, enjuague y desinfección. Esta es una gran contribución con los productores lecheros que brinda solución inmediata a la contaminación durante el almacenamiento de la leche en recipientes impuros con suciedades y microorganismos.

## **1.2. Planteamiento del problema**

La producción de leche en Ecuador ha experimentado un gran crecimiento en las últimas décadas. Esto se debe a una serie de factores, entre los cuales se destacan el aumento de la productividad de las vacas lecheras gracias a la mejora de la genética y la alimentación, la adopción de tecnologías modernas en el manejo y procesamiento de leche y el desarrollo de una infraestructura adecuada para el transporte y almacenamiento. Es por eso, que, en Ecuador, especialmente en zonas rurales, existen numerosos centros de acopio, los cuales cumplen una función importante en el proceso de recolección, almacenamiento y procesamiento de la leche. Estos son lugares donde los pequeños y medianos productores entregan su producción diaria, es importante que la leche al ser entregada cuente con una buena calidad, caso contrario puede ser rechazada para su procesamiento y comercialización. Esto, se debe también, a la limpieza de los recipientes donde es transportada la leche, que son tanques o bidones, mismos que tienen que ser bien desinfectados con el fin de que no haya bacterias y otros microorganismos que afectan a la calidad, pero muchas veces esto no se cumple al realizar un lavado manual de los mismos.

### **1.3. Justificación**

El diseño y construcción de un sistema de lavado automático de bidones de leche puede convertirse en parte fundamental para mejorar la calidad e inocuidad de la leche producida en las diferentes zonas del Ecuador, ya que los bidones de leche son una herramienta crítica en el proceso de recolección y transporte de la leche desde las zonas lecheras hasta los centros de acopio.

Los bidones de leche son recipientes que deben estar limpios y desinfectados adecuadamente para evitar la contaminación y la proliferación de bacterias y otros microorganismos que pueden afectar la calidad de la leche y la salud de los consumidores. Una maquina lavadora eficiente puede reducir significativamente el riesgo de contaminación.

Además, se puede mejorar la eficiencia en la recolección y transporte de la leche, al reducir los tiempos de espera y los costos asociados al lavado manual de los bidones. Un sistema de lavado automatizado y eficiente puede aumentar la productividad y rentabilidad de los productores de leche, al permitir una recolección y transporte rápida y eficiente.

### **1.4. Alcance**

La presente propuesta pretende realizar el diseño y construcción de un sistema automático de lavado de bidones de leche tanto interior como exterior con cepillos e inyectores de agua, contando con un ciclo de lavado programable y con un sistema de calentamiento de agua facilitando así, la remoción de las grasas. Este tipo de máquinas de lavado automático tienen la oportunidad de operar en centros de acopio de leche en las zonas rurales principalmente en la provincia de Chimborazo brindando así, un servicio garantizado de limpieza de recipientes a los ganaderos y proveedores. Este sistema al ser implementado en centros de acopio permitirá mejorar la imagen y reputación de la industria lechera ecuatoriana, al demostrar un compromiso con la seguridad alimentaria y la calidad de los productos lácteos. Así también puede contribuir a la sostenibilidad ambiental, ya que la limpieza adecuada de los bidones reduce la necesidad de utilizar productos químicos y detergentes tóxicos y costosos.

### **1.5. Objetivos**

#### ***1.5.1. Objetivo general***

Diseñar y construir un sistema de lavado automático de bidones de leche con el fin de facilitar la limpieza y optimizar el tiempo de lavado de los proveedores.



### ***1.5.2. Objetivos específicos***

- Realizar el estudio de arte de la máquina de lavado automático de bidones de leche.
- Estudiar métodos eficientes de limpieza de bidones de acero para el almacenamiento de leche.
- Establecer las especificaciones técnicas más adecuadas para el sistema de lavado mediante un análisis detallado de las características técnicas de los diferentes tipos de bidones de acero empleados por los productores de leche.
- Realizar el cálculo y selección de elementos mecánicos para la máquina de lavado de bidones.
- Generar los planos de construcción del sistema de lavado de bidones mediante software CAD.
- Construir la máquina de lavado automático de bidones de leche.
- Instalar el sistema de lavado automático en el centro de acopio Asoprogar-El Refugio para ejecutar pruebas de funcionamiento.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se realiza un estudio completo de las máquinas desarrolladas actualmente, mediante un estudio absoluto del estado del arte. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis detallado de las lavadoras disponibles en el mercado, tanto a nivel nacional como internacional, utilizando el benchmarking como enfoque comparativo. Además, se presentan las ecuaciones necesarias de manera precisa para el diseño de una máquina lavadora de bidones de leche.

#### 2.1. Estado del arte

##### 2.1.1. *Producción de leche en Ecuador*

La leche es un producto alimenticio esencial para el ser humano ya que tiene gran valor nutritivo y que contiene vitaminas y minerales como el fósforo, calcio, zinc, etc. Ecuador es uno de los países que tiene gran producción de leche, aproximadamente de 6.15 millones de litros diarios, esto, según datos tomados en 2020 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). La industria láctea representa una fuente de ingresos para muchas familias, ayudando así, a casi 1.2 millones de personas.

La población total de bovinos en el Ecuador es de alrededor de 4.1 millones y la ganadería para la leche representa el 57% desarrollándose mucho más en la zona andina del país, mientras que para la carne representa un 43% principalmente en la Costa y Amazonía. Un 80% de los productores de leche son de granjas pequeñas y familiares y solamente un 20% son de granjas medianas y grandes. La leche debe cumplir con altos estándares de calidad por lo que los ganaderos deben entregar la leche en tanques de almacenamiento limpios, fuera de microorganismos que afecten su calidad y por ende la salud de los seres humanos que lo consuman. (Ionita, 2022)

##### 2.1.2. *Centros de acopio de leche en Ecuador*

Los centros de acopio de leche en Ecuador son instalaciones que se encargan de recolectar, almacenar, procesar y distribuir la leche producida por los productores lecheros del país. Estos centros son esenciales para el desarrollo de la industria láctea ecuatoriana, ya que permiten concentrar la producción de leche en un solo lugar, facilitando su transporte y reduciendo los costos de producción.

Una de las funciones importantes de estos centros es mejorar tanto la producción como la calidad de la leche, asegurándose de aplicar técnicas adecuadas y un manejo eficiente de las pasturas, lo cual puede resultar en un aumento de los índices de productividad y de los ingresos económicos de las familias que se dedican a esta actividad. (Pulamarín, 2012)

Entre las principales funciones de los centros de acopio de leche en Ecuador se encuentran:

1. Recepción y almacenamiento de la leche: los centros de acopio reciben la leche fresca de los productores lecheros, la analizan y la almacenan en condiciones óptimas de temperatura y limpieza hasta su procesamiento o distribución.
2. Procesamiento de la leche: en algunos centros de acopio se realiza el procesamiento de la leche para obtener productos lácteos como quesos, yogures, mantequilla, entre otros.
3. Control de calidad: los centros de acopio tienen la responsabilidad de asegurar la calidad de la leche que se recibe, por lo que se realizan pruebas para detectar contaminantes o sustancias no deseadas que puedan afectar su calidad.
4. Comercialización de la leche: los centros de acopio son intermediarios entre los productores lecheros y los compradores de leche, ya sean empresas procesadoras o comercializadoras de leche.
5. Capacitación y asesoramiento técnico: algunos centros de acopio brindan capacitación y asesoramiento técnico a los productores lecheros para mejorar la calidad y cantidad de su producción. (Pulamarín, 2012)

### **2.1.3. Tanques o bidones de leche**

Los productores de leche transportan su producto a los centros de acopio en tanques de almacenamiento o bidones de leche, estos recipientes son fabricados con materiales no tóxicos y lavables como es el acero inoxidable con el fin de que se permita la limpieza y la desinfección correcta. Deben mantenerse en condiciones adecuadas para que no afecte la calidad de la leche cruda. Generalmente, los bidones tienen esquinas redondeadas para facilitar su limpieza. La capacidad de estos recipientes suele variar, ya que existen tanques pequeños de 20 y 40 litros. (Brito, y Guachamin, 2017)

Según el Manual de procedimientos para la vigilancia y control de la inocuidad de la leche cruda se presenta algunos de los requisitos importantes de higiene que se debe tomar en cuenta para el transporte del producto.

1. El tanque o bidón de almacenamiento de leche, junto con sus accesorios, deben ser fabricados con materiales como el acero inoxidable y/o aluminio.
2. El recipiente utilizado para la leche cruda debe encontrarse en óptimas condiciones, sin presencia de lubricantes, fugas ni derrames de leche o cualquier otra sustancia contaminante.
3. Las tapas de los recipientes de almacenamiento como tanques o bidones deben evitar la acumulación de residuos, y además deben ser sencillos de utilizar, limpiar y desinfectar.
4. Es necesario seguir un protocolo de limpieza y desinfección de los recipientes de leche después de ser utilizados. Se deben tener a disposición herramientas y utensilios exclusivos y adecuados para esta tarea, y se deben almacenar de manera apropiada para mantener su calidad y eficacia. (MAGAP, 2013)



**Ilustración 2-1:** Bidón de leche de 40 litros.

Fuente: (UMCO, 2023)

#### ***2.1.4. Problemas de bacterias***

Es crucial que se realice una limpieza y desinfección exhaustiva de todos los utensilios, equipos y superficies que entren en contacto con la leche, suciedad o estiércol antes de llevar a cabo el próximo ordeño. De igual forma, es importante limpiar y desinfectar los tanques de almacenamiento tras cada recolección de leche para evitar la acumulación de residuos de leche, sólidos orgánicos y minerales en las superficies del equipo. El objetivo de la desinfección es eliminar los microorganismos presentes en estas superficies antes del próximo ordeño. Si la limpieza y desinfección no se llevan a cabo de manera adecuada, las bacterias pueden permanecer en las superficies del equipo y propagarse, lo que resulta en un alto conteo de bacterias en la leche. (Cattle, 2019)

La leche contiene grasas, proteínas y azúcares, que son los componentes principales de los residuos orgánicos. Es de vital importancia retirar estos residuos de las superficies después del ordeño de manera inmediata, ya que tienden a adherirse con mayor fuerza a medida que pasa el

tiempo, el calor y la deshidratación. Si estos residuos se secan y endurecen, se convierten en un depósito difícil de remover. (Cattle, 2019)

### ***2.1.5. Limpieza y desinfección de los tanques de almacenamiento***

El proceso de limpieza de los tanques o bidones de leche se lo realiza manualmente en la mayoría de los sectores, ya que cada uno de los ganaderos individualmente realiza este proceso para transportar su producto a los centros de acopio. Para su limpieza se utilizan ciertas herramientas como cepillos manuales y detergentes, sin embargo, el trabajo es laborioso y lleva tiempo obtener el bidón limpio, fuera de microorganismos que afecten a la calidad de la leche. Muchas de las veces resultan inefectivas, ya que una limpieza inadecuada del bidón infectaría directamente al producto. Es necesario seguir un procedimiento riguroso y bien estudiado durante las operaciones de limpieza para lograr el nivel de limpieza necesario. (Anrango, 2018)

A continuación, se presenta las etapas necesarias para la limpieza de los tanques y bidones de leche.

#### ***2.1.5.1. Pre-enjuague con agua***

Esta primera etapa debe llevarse a cabo inmediatamente después de haber entregado el producto en los centros de acopio, caso contrario los residuos de la leche se secarán y se acumularán en la superficie, endureciéndose y haciendo que la limpieza sea difícil. Las grasas de leche son fácilmente removidas si el proceso se realiza con agua caliente. El pre-enjuague se realiza hasta cuando el agua esté completamente clara, ya que cualquier residuo de suciedad puede aumentar la cantidad de detergente necesaria. Por otro lado, si se encuentra residuos de leche seca en la superficie, puede ser necesario remojar el equipo para facilitar la limpieza al ablandar la suciedad. (Anrango, 2018)

#### ***2.1.5.2. Lavado con detergente***

En esta etapa se realiza la desinfección, eliminación y remoción de todos los microorganismos y desechos de la leche alojados en la superficie del recipiente. Para este proceso, se puede también utilizar soluciones desinfectantes o detergentes con *ph* más baja. Es importante que el detergente tenga la capacidad de dispersar la suciedad y mantener las partículas suspendidas para evitar la floculación. Los emulsionantes efectivos y los agentes dispersantes, como las polifosfatos, son muy útiles y también pueden ablandar el agua. Los compuestos más frecuentemente empleados incluyen el trifosfato de sodio y los compuestos de fosfato complejo. (Anrango, 2018)

#### *2.1.5.3. Enjuague con agua limpia*

En esta etapa, se realiza la remoción de los restos de detergente acumulados en los recipientes, con un tiempo suficiente controlado, posteriormente se deja drenar el agua de los tanques y bidones. (Anrango, 2018)

#### *2.1.5.4. Desinfección*

Si se realiza una limpieza con detergentes ácidos o alcalinos de manera apropiada, no solo se eliminará la suciedad del equipo de forma física sino también química, y en gran medida bacteriológica. Después, se puede mejorar aún más el efecto de limpieza bacteriológica mediante la desinfección, lo que dejará el equipo prácticamente libre de bacterias. Para ciertos productos es esencial esterilizar el equipo para asegurar que las superficies estén completamente libres de bacterias. Existen diversas formas de desinfectar los recipientes de almacenamiento de leche, tales como:

- La desinfección térmica mediante agua hirviente, agua caliente o vapor.
- La desinfección química mediante el uso de cloro, ácidos, iodóforos, peróxido de hidrógeno, entre otros.

Es posible llevar a cabo la desinfección en la mañana, justo antes de iniciar el procesamiento de la leche, y la leche podrá ser admitida una vez que se haya eliminado completamente el desinfectante del recipiente. (Anrango, 2018)

#### *2.1.6. Tipos de lavadora de bidones*

Existen diferentes tipos de lavadoras de bidones. Estas máquinas sean industriales o no cumplen una función indispensable, ya que nos permite economizar recursos, como el tiempo; principalmente por esta razón se busca satisfacer los centros de acopio con la construcción e instalación de una máquina lavadora que cumpla con los requerimientos de los productores de leche. Entre los tipos de lavadoras de bidones se encuentran los siguientes:

- Lavadora semiautomática lineal de lavado de bidones.
- Lavadora rotativa de bidones
- Lavadora con cepillos externo
- Lavadora vertical con cepillos rotativos
- Lavadora horizontal con cepillos rotativos

### 2.1.6.1. Lavadora semiautomática lineal de lavado de bidones

Se trata de un equipo utilizado en la industria para limpiar bidones de diferentes tamaños y formas. Estas máquinas se utilizan comúnmente en la industria alimentaria, farmacéutica, química y otras industrias donde se requiere una limpieza eficiente y precisa. Esta máquina se denomina semiautomática porque el proceso de carga y descarga de los bidones se realiza manualmente, mientras que el proceso de lavado se realiza automáticamente. El sistema de lavado consiste en un conjunto de boquillas que rocían agua y detergente sobre los bidones mientras se desplazan a través de la máquina en una línea recta.

La máquina está diseñada para limpiar eficazmente los bidones en un corto período de tiempo, reduciendo el tiempo de inactividad y aumentando la productividad. Además, estas máquinas también están diseñadas para cumplir con los requisitos de higiene y limpieza necesarios en la industria, lo que las hace ideales para cualquier empresa que necesite limpiar grandes cantidades de bidones de manera eficiente. (SS Engineers & Consultants, 2016)



**Ilustración 2-2:** Máquina de limpieza de contenedores de leche.

**Fuente:** (SS Engineers & Consultants, 2016a)

### 2.1.6.2. Lavadora rotativa de bidones

Además de los equipos de lavado de cajas, contenedores y tinas, también está los equipos de lavado de contenedores de leche que funcionan en una dirección rotativa. El equipo de lavado de bidones rotativo es de tamaño compacto y puede ser operado por una sola persona. La máquina funciona para lavar, esterilizar y secar envases de leche, bidones y tapas de estos a través de la operación continua. La máquina puede limpiar 200-300 latas por hora, dando una tasa de producción de limpieza de 2000 bidones por turno de 8 horas. La lavadora rotativa evita las salpicaduras y la mezcla de agua entre las cámaras, para garantizar una limpieza perfecta de los bidones y tapas, y para conservar el calor y la humedad.

Pensar en la contaminación de los alimentos y responder adecuadamente para garantizar la inocuidad de los alimentos es crucial para las operaciones de procesamiento de alimentos. Principalmente en la industria láctea, los contenedores de leche son un medio conveniente y atractivo de transporte de leche desde las granjas. Protege la leche de las influencias ambientales y los daños durante la distribución. Los envases rígidos y semirrígidos fabricados con una amplia variedad de materiales se llenan de productos y se cierran de forma segura. El contenedor debe limpiarse para eliminar la suciedad, los objetos extraños y otros contaminantes. (SS Engineers & Consultants, 2016b)



**Ilustración 2-3:** Lavadora rotativa de bidones de leche.

**Fuente:** (SS Engineers & Consultants, 2016b)

### 2.1.6.3. Lavadora con cepillos externos

Este tipo de máquina cuenta con tres cepillos externos de lavado externo, dos para las partes laterales y uno para la base, cuenta además con un rotador y un soporte trasero del motor de engranajes. Se ubica la boca del bidón justamente en el rotador, el cual con ayuda del motor comienza a girar comenzando así, la etapa del prelavado. Como se puede observar en la figura, esta etapa cuenta con una mesa de lavado llena con cierta cantidad de agua para que el recipiente se mantenga elevado y logre girar con facilidad. También cuenta con una cámara de lavado interna, aquí se ubica el bidón y por medio de aspersores el agua sale con gran presión con el fin de remover ágilmente los contaminantes del recipiente. Esta máquina cuenta con una bomba de lavado interna de 0.5 HP, una válvula solenoide neumática, un temporizador, un panel eléctrico, todo esto para el control de mando de la máquina, concluyendo ser una máquina semiautomática, ya que por lo general la carga y descarga del bidón se lo realiza de forma manual. (IndiaMART, 2019)





**Ilustración 2-4:** Lavadora exterior e interior de bidones.

**Fuente:** (IndiaMART, 2019)

#### 2.1.6.4. Lavadora vertical con cepillos rotativos

Cada una de las máquinas antes mencionadas son diseñadas para limpiar y desinfectar bidones de diferentes tamaños y materiales. Esta máquina cuenta con cepillos verticales que ayudan en la limpieza externa e interna de los bidones, estos eliminan la suciedad, los residuos y otros contaminantes. Esta máquina cuenta con un control automático y se activa el motor de los cepillos al momento en que los bidones son ingresados en la máquina para posteriormente realizar el proceso, también cuenta con dispersores de agua para remover fácilmente los contaminantes. La máquina puede ser operada por una sola persona teniendo una buena capacidad de producción de limpieza de hasta 200-300 bidones por hora, pero esto depende del modelo y de la configuración de la máquina. El sistema de lavado puede estar fabricado en diferentes materiales, como es el acero inoxidable, y tener diferentes características adicionales, como sistemas de secado y esterilización. También puede ser personalizada según las necesidades específicas del cliente. En general, la lavadora de bidones con cepillos rotativos es una herramienta esencial para garantizar la higiene y la calidad del producto final en la producción industrial. (Aqua Safe Plus, 2018)



**Ilustración 2-5:** Lavadora de bidones con cepillos verticales.

Fuente: (Aqua Safe Plus, 2018)

#### 2.1.6.5. Lavadora horizontal con cepillos rotativos

Esta máquina es un armario de lavado de bidones, mismo que está diseñado para la limpieza y desinfección de bidones, y está equipado con un sistema de lavado por aspersion y cepillos rotativos. Tiene una estructura robusta fabricada en acero inoxidable, resistente a la corrosión y a los productos químicos utilizados en la limpieza. El sistema de lavado por aspersion garantiza una limpieza eficiente y uniforme de los bidones, mientras que los cepillos rotativos aseguran la eliminación de cualquier residuo adherido en las paredes y en la base del bidón.

El armario cuenta con una puerta frontal que permite el acceso al interior del equipo para la carga y descarga de los bidones. Además, dispone de un sistema de control automático para el ciclo de lavado, lo que permite un uso sencillo y eficiente de la máquina. Este sistema de lavado es una solución ideal para la limpieza de bidones en la industria alimentaria y farmacéutica, ya que cumple con los estándares de higiene y seguridad exigidos en estos sectores. Además, su diseño compacto y eficiente permite una instalación en espacios reducidos y una alta capacidad de producción. (DINOX, 2018)



**Ilustración 2-6:** Lavadora de bidones con cepillos horizontales.

Fuente: (DINOX, 2018)

## 2.2. Diseño mecánico

Dentro del diseño mecánico se considera la revisión de ecuaciones, métodos matemáticos y teorías para el diseño de los elementos, componentes y sistemas que conforman la máquina de lavado. Se detallan a continuación las generalidades del diseño de elementos de máquinas.

### 2.2.1. Diseño a carga estática

El diseño bajo carga estática o estacionaria analiza los componentes con carga fija que mantienen constante su valor durante el periodo de funcionamiento.

#### 2.2.1.1. Esfuerzos mecánicos

Un esfuerzo se considera como la resistencia interna de un material que enfrenta a una carga externa actuante sobre dicho material. Según la aplicación de carga sobre el elemento existen diferentes tipos de esfuerzos mecánicos.

Matemáticamente un esfuerzo es equivalente a una unidad de fuerza sobre un área transversal. Entre las unidades más utilizadas para los esfuerzos están:

**Tabla 2-1:** Unidades Sistema Inglés y Métrico.

Sistema Inglés	Sistema Métrico
Lb/pulg <sup>2</sup> = psi	N/m <sup>2</sup> = Pa
Kips/pulg <sup>2</sup> = ksi	N/mm <sup>2</sup> = MPa

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 2.2.1.2. Esfuerzo axial en barras

Un esfuerzo axial se caracteriza por soportar cargas de tracción o compresión debido a fuerzas normales que actúan sobre un área transversal.

Los esfuerzos de tracción son tensiones que se representan con un signo positivo y tienden a estirar el elemento mecánico. Por su parte, los esfuerzos de compresión son esfuerzos de signo negativo que tienden a contraer el material.

$$\sigma_{axial} = \frac{F}{A_{transversal}} \quad (1.2)$$

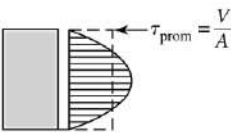
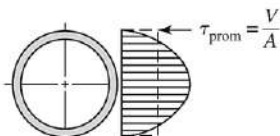
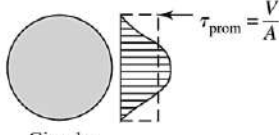
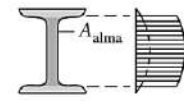
En donde:

- $\sigma_{axial}$  = Esfuerzo axial, Pa
- F = Fuerza normal al elemento, N
- $A_{transversal}$  = Área transversal del elemento, m<sup>2</sup>

### 2.2.1.3. Esfuerzo cortante en flexión

Son esfuerzos que enfrentan cargas cortantes que actúan de forma perpendicular al eje longitudinal del elemento y provocan deformación. Estos esfuerzos cambian en relación con el área transversal.

**Tabla 2-2:** Fórmulas de esfuerzo cortante debido a flexión.

Forma de la viga	Fórmula	Forma de la viga	Fórmula
 <p>Rectangular</p>	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{3V}{2A}$	 <p>Circular hueca con pared delgada</p>	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{2V}{A}$
 <p>Circular</p>	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{4V}{3A}$	 <p>Viga I estructural (con pared delgada)</p>	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_{alma}}$

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

### 2.2.1.4. Esfuerzo normal en flexión

Este tipo de esfuerzos se presentan en casos de flexión pura o fuerzas cortantes equivalentes a cero. Estos esfuerzos se generan con los momentos flectores que actúan generalmente en los extremos del elemento mecánico.

Los esfuerzos varían en relación con la separación entre el eje neutro y el extremo del elemento,  $c$ , en función del eje coordenado del análisis. Según esta definición se tiene:

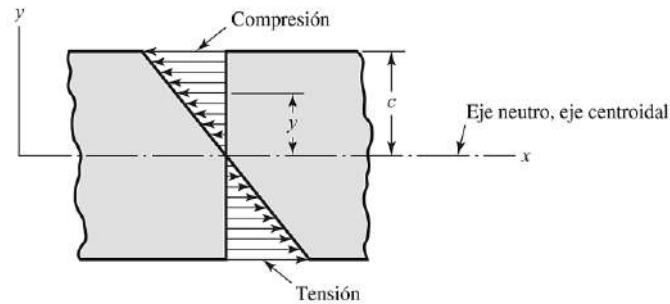
$$\sigma_{flexión} = \frac{M * c}{I} \tag{2.2}$$

En donde:

$\sigma_{\text{flexión}}$  = Esfuerzo de flexión, Pa

M = Momento flector, Nm

C = Distancia desde el eje neutro al punto de análisis, m



**Ilustración 2-7:** Esfuerzo en flexión.

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

#### 2.2.1.5. Torsión en barras

La torsión es producto de un vector momento que actúa de manera colineal en el eje longitudinal de una barra o elemento mecánico. Un elemento a torsión es aquel que tiende a torcer alrededor de este eje. La sección transversal juega un papel importante para definir la ecuación de esfuerzos cortantes que genera la torsión. Para una barra de sección circular se tiene:

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad (3.2)$$

El radio de la superficie exterior  $\rho$  se puede renombrar como el radio, por lo tanto, al reemplazar se tiene:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Tr}{J} \quad (4.2)$$

La ecuación del ángulo de giro del elemento circular se calcula a través de:

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \quad (5.2)$$

Donde:

T = Par de torsión

l = Longitud

G = Módulo de rigidez

J = Segundo momento polar de inercia

Sin embargo, existen diseños que tienen secciones transversales no circulares, la determinación de los esfuerzos cortantes generados por torsión para secciones rectangulares se establece a través de:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T}{\alpha bc^2} = \frac{T}{bc^2} \left( 3 + \frac{1.8}{b/c} \right) \quad (6.2)$$

Donde:

b = Lado mayor

c = Lado menor

a = Factor de multiplicación

Al igual que en secciones circulares se tiene un ángulo de giro:

$$\theta = \frac{Tl}{\beta bc^3 G} \quad (7.2)$$

Los factores de multiplicación a y b se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla 2-3:** Factores de multiplicación.

b/c	1.00	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	4.00	6.00	8.00	10	∞
α	0.208	0.231	0.239	0.246	0.258	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
β	0.141	0.196	0.214	0.228	0.249	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 2.2.1.6. Resistencia estática

La resistencia estática es un principio a partir del análisis de esfuerzos principales en un determinado punto de un elemento mecánico. A través de esta resistencia se establecen estados tensionales en diferentes direcciones, es decir de forma biaxial o bien triaxial. El material del

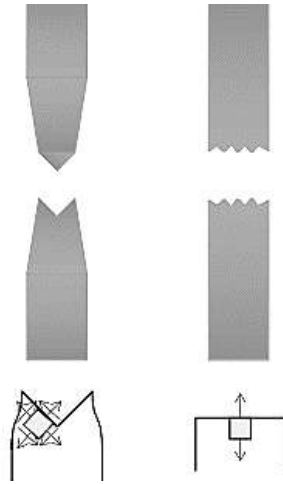
elemento mecánico suele ser uno de los principales factores para la resistencia a la tensión, es decir la resistencia depende del material para comprender la resistencia frente a la deformación. En el diseño de piezas, elementos o componentes mecánicos hay que considerar ensayos de resistencia de materiales. Estas son pruebas para observar y analizar los efectos que producen las fuerzas externas sobre el material, para los ensayos de resistencia se requiere dar un mismo tratamiento a las probetas sean estos, térmicos y acabado superficial, similar al elemento que se desea diseñar para garantizar que los resultados de prueba sean valores reales si el elemento fuese construido.

Sobre estos ensayos deben cumplirse exactamente las mismas condiciones de fuerza y carga, ejemplo de esto si el elemento mecánico una vez construida enfrentará una carga de torsión; requiere un ensayo de torsión. Si el elemento enfrentará cargas de flexión; requiere un ensayo de flexión.

### **2.2.2. Teorías de falla**

Una falla puede definirse como la pérdida de su funcionalidad o cuando un elemento no cumple con el objetivo para el cual fue diseñado, es inútil.

El nivel de fallo depende del material de construcción del elemento, esto hace referencia a la clasificación estructural que son dúctil y frágil. Los materiales dúctiles llegan a un punto llamado fluencia y forman una deformación permanente mientras que los materiales frágiles llegan hasta un punto de rotura para la falla, para este tipo de material no existe la deformación antes del fallo. Los materiales dúctiles presentan una fluencia producida por esfuerzos tangenciales de tipo cortante, cuando este elemento mecánico llega a su punto de fluencia se rompe con un ángulo de  $45^\circ$  con relación del eje longitudinal de la probeta. Por otra parte, los materiales frágiles producen una pequeña grieta luego de ser expuestas a una tensión normal, los esfuerzos y tensión aumentan al borde de la grieta haciendo que se rompa el elemento con un corte de forma perpendicular al eje longitudinal.



**Ilustración 2-8:** Falla dúctil y frágil de probetas.

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

Con esta clasificación de los materiales se puede establecer criterios de falla diferentes según su condición. Para los materiales dúctiles el criterio de fallas es *fluencia* y los materiales más comunes son aceros y aleaciones de aluminio. Para los materiales frágiles el criterio de falla es *fractura* y los materiales más comunes son aceros de herramientas de corte, fundición gris y concreto.

#### 2.2.2.1. Teorías de falla para materiales dúctiles

##### Teoría de Tresca

La teoría del esfuerzo cortante máximo como también se conoce, es una teoría dedicada a los materiales dúctiles, propuesta por el ingeniero francés Henri Tresca.

La teoría propone que la fluencia comienza cuando el esfuerzo cortante máximo en un elemento mecánico iguala al esfuerzo cortante máximo en una pieza de ensayo a tensión, siendo estos del mismo material. Esta teoría, tiene un estado multiaxial de tensiones en el que el fallo ocurre cuando el esfuerzo máximo de tipo cortante supera el cortante de fluencia.

La representación matemática para la teoría de Tresca se describe a continuación.

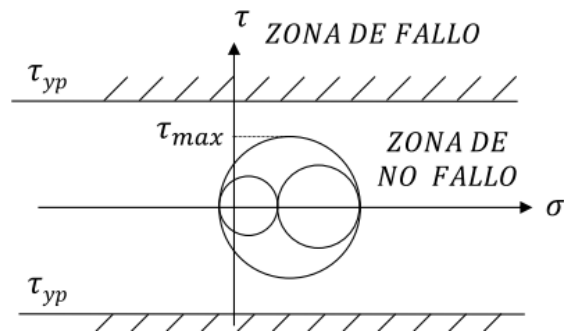
$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2} \rightarrow \text{ocurre la falla} \quad (8.2)$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{S_y}{2} \quad (9.2)$$

$$S_y = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (10.2)$$



Estas tensiones se pueden visualizar en el círculo de Mohr, el fallo sucede cuando los esfuerzos igualan o superan la línea de  $\tau_y$ .



**Ilustración 2-9:** Representación de la teoría de fallo de Tresca en los círculos de Mohr.

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

### Teoría de Von Mises

También conocida como teoría de la energía de distorsión, propuesta por el físico austrohúngaro Richard Von Mises.

Esta teoría hace referencia a la distorsión de un elemento de esfuerzo, según Tresca la fluencia no es un fenómeno de tensión o compresión simple y el fallo sucede cuando un material dúctil supera la energía de distorsión de la resistencia a la fluencia. También se hace referencia al fallo del material cuando el esfuerzo cortante sea en un plano con cierta inclinación, logra un valor en el ensayo de tracción bajo las mismas condiciones de inclinación.

Las ecuaciones para la teoría de Von Mises se detallan a continuación.

Para estados generales:

$$\tau_{max} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_3 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_1)^2} \quad (11.2)$$

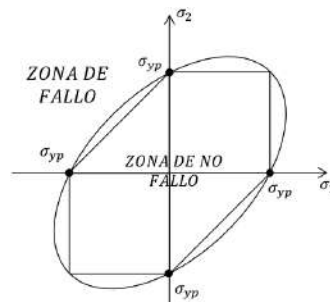
Para un ensayo a tracción:

$$\tau_{max} = \frac{1}{3} \sqrt{(S_y - 0)^2 + (S_y - 0)^2 + (0 - 0)^2} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot S_y \quad (12.2)$$

Igualando ambas expresiones se tiene:

$$S_y = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (13.2)$$

En la teoría de Tresca se considera una teoría más conservadora a partir de la siguiente figura, nótese que un punto dado entre las líneas de frontera de la elipse y el hexágono es una zona de fallo para Tresca, mientras que para Von Mises es una zona de no fallo.



**Ilustración 2-10:** Representación de la teoría de fallo de Von Mises en el diagrama  $\sigma_1$ - $\sigma_2$  (para estados tensionales biaxiales).

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

#### 2.2.2.2. Teorías de falla para materiales frágiles

##### Teoría de Coulomb-Mohr

La teoría de Coulomb Mohr se aplica a los elementos cuyo material posee una resistencia a la compresión mucho mayor a la resistencia a tracción, ejemplo de estos son concreto, cerámica, entre otros materiales frágiles.

En función de los esfuerzos principales se tienen tres casos de fallo, que se muestran a continuación, en la Tabla 2-4.

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$$

$$\sigma_a = \sigma_1$$

$$\sigma_b = \sigma_3$$

**Tabla 2-4:** Casos de fallo.

Caso 1	Caso 2	Caso 3
$\sigma_a \geq \sigma_b \geq 0$  $\sigma_a = \frac{S_{ut}}{\eta}$	$\sigma_a \geq 0 \geq \sigma_b$  $\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_{ut}} + \frac{\sigma_b}{S_{uc}}$	$0 \geq \sigma_a \geq \sigma_b$  $\sigma_a = \frac{S_{ut}}{\eta}$

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

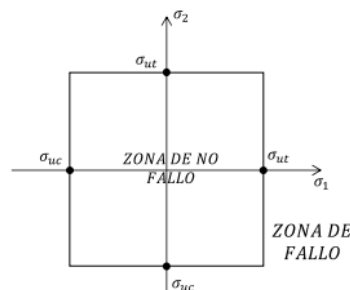
### Teoría de Rankine

Se conoce también como teoría del esfuerzo normal máximo y determina que el fallo en un estado tensional sucede cuando los esfuerzos principales positivos son mayores al esfuerzo de rotura en los ensayos de tracción, o bien cuando los esfuerzos principales negativos son mayores al esfuerzo de rotura en ensayos de compresión.

Según Rankine la resistencia a la fluencia es el máximo de los esfuerzos principales.

$$S_y = \max(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3)$$

Representado de forma gráfica las líneas fronteras de fallo y no fallo se muestra en la siguiente Ilustración 2-11.



**Ilustración 2-11:** Representación de la teoría de fallo de Rankine: a) en los círculos de Mohr b) en el diagrama  $\sigma_1 - \sigma_2$  (para estados tensionales biaxiales).

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

En base a estas diferentes teorías de predicción del fallo para materiales dúctiles y frágiles, en un plano de esfuerzos se puede considerar el siguiente resumen de ecuaciones fundamentales gobernantes en cada teoría:

**TENM:** Teoría del esfuerzo normal máximo

**TECM:** Teoría del esfuerzo cortante máximo

**TED:** Teoría de la energía de distorsión

**Tabla 2-5:** Cuadro resumen de Teorías de Falla.

Teoría de fallo	Ecuación gobernante	$\sigma_y = 0$
TENM	$\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = S_y$	$S_y = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$
TECM	$\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} = S_y$	$S_y = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2}$
TED	$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} = S_y$	$S_y = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Los esfuerzos cortantes máximos son:

TENM:  $\sigma_{max} = S_y$

TECM:  $\tau_{max} = 0.5 S_y$

TED:  $\tau_{max} = 0.577 S_y$

### 2.2.3. Coeficiente de Seguridad

Un coeficiente de seguridad tiene por objetivo evitar la falla de un material. Es un factor de diseño que permite proteger la integridad de los elementos estructurales o piezas mecánicas. Entre las consideraciones más importantes de un coeficiente de seguridad se pueden describir las siguientes.

- Si el elemento es crítico
- Conocer las propiedades del material
- Conocer cargas y condiciones de operación del elemento

Existen valores de coeficientes de seguridad útiles basadas en pruebas y experiencias de campo donde se considera como recomendación:

- Construcciones → FS ≥ 2
- Automóviles → FS ≥ 3
- Aeronaves → FS ≥ 1,2 – 2,5
- Recipientes a presión → FS ≥ 8,5
- Equipos de elevación → FS ≥ 8 – 9

$$\eta = \frac{\text{Resistencia}}{\text{Esfuerzo equivalente}} \tag{14.2}$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

Del mismo modo, este coeficiente de seguridad puede emplearse a las diferentes teorías descritas anteriormente.

**Tabla 2-6:** Coeficiente de seguridad de las teorías de falla.

TENM	$\frac{S_y}{\eta} = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$
TECM	$\frac{S_y}{\eta} = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$
TED	$\frac{S_y}{\eta} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

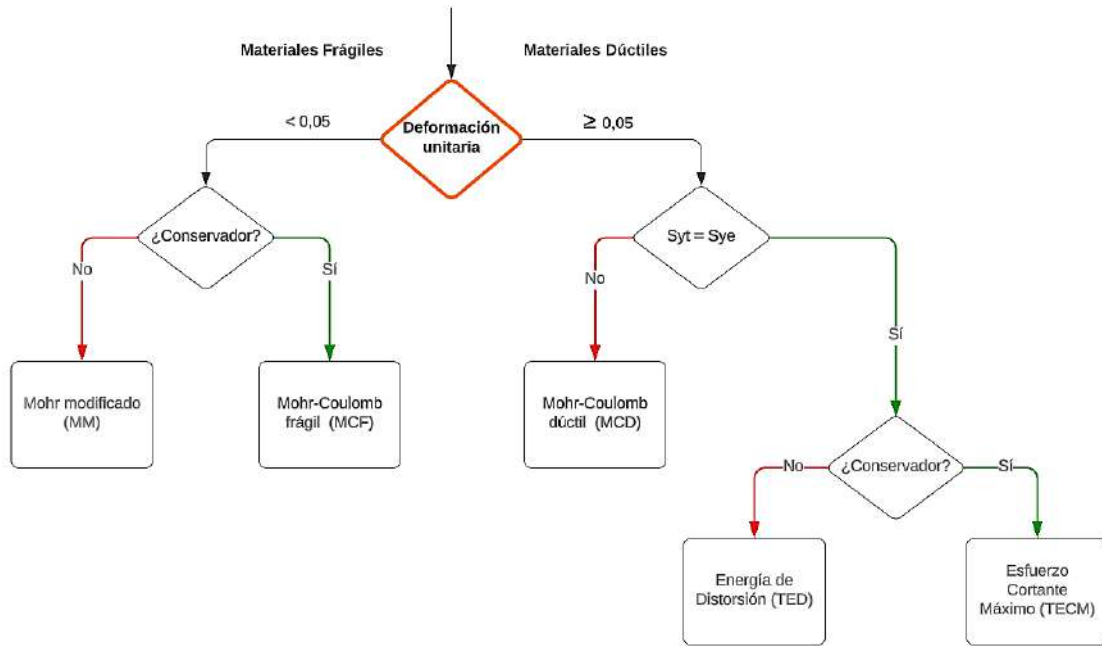
**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### Margen de seguridad

$$M.S = (\eta - 1)\%$$

#### 2.2.4. Selección de teorías de falla

Escoger una teoría de falla puede principalmente basarse en el tipo de material según su clasificación dúctil y frágil. Pero, existen posibilidades de considerar un diseño conservador o bien un diseño realista. El siguiente esquema muestra los caminos para seleccionar una teoría de falla.



**Ilustración 2-12:** Selección de teorías de falla.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 2.2.5. *Diseño de ejes por fatiga*

Diferentes elementos mecánicos como los ejes están expuestos a cargas de fatiga, esto significa que existen cargas cíclicas que pueden actuar constantemente sobre los elementos y ocasionar mucho daño.

Una falla por fatiga se conoce a la formación de grietas en un determinado punto del elemento y que a través de este su propagación es común. Estas grietas generalmente suceden tras una discontinuidad en el punto donde el esfuerzo cíclico es máximo, uno de los principales puntos de discontinuidad son los concentradores de esfuerzo. La fatiga en un elemento como una viga se observa luego de tres etapas:

1. Generación de la grieta
2. Propagación de la grieta
3. Fractura repentina

### 2.2.5.1. Límite de fatiga

Requiere de un análisis a vida infinita para determinar el límite de resistencia a fatiga  $S_e$ . Existen diferentes factores los cuales ocasionan la fatiga, de los más relevantes se describen en la siguiente ecuación:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_g S_e' \quad (15.2)$$

- $k_a$  Factor de seguridad de la condición superficial
- $k_b$  Factor de tamaño
- $k_c$  Factor de confiabilidad
- $k_d$  Factor de temperatura
- $k_g$  Factor de efectos varios
- $S_e'$  Límite a la fatiga de la probeta de prueba
- $S_e$  Límite de resistencia a la fatiga

El valor de  $S_e'$  se calcula para vida infinita para los distintos esfuerzos.

- $S_e' = 0,5S_{ut}$  Flexión pura
- $S_e' = 0,45S_{ut}$  Tracción pura
- $S_e' = 0,29S_{ut}$  Torsión pura, Cizalla

#### Factor de condición superficial $k_a$

El factor de modificación depende de la calidad del acabo de la superficie.

$$K_a = aS_{ut}^b \quad (16.2)$$

**Tabla 2-7:** Factor de condición superficial.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

### Factor de tamaño $k_b$

El tamaño o dimensión del elemento mecánico también afecta en la resistencia del material. Cuanto mayor sea el tamaño, menor es la resistencia; en carga axial no se aplica esta consideración.

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Para carga axial no se considera ese efecto de tamaño.

$$k_b = 1$$

Para piezas rectangulares (pulg):  $d_e = 0.80808(hb)^{1/2}$

### Factor de confiabilidad $k_c$

El factor de confiabilidad como gran parte de las curvas corresponden a una tendencia media de desviaciones porcentuales para el límite de resistencia a la fatiga.

**Tabla 2-8:** Factor de confiabilidad.

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_a$	Factor de confiabilidad $k_c$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)



### Factor de temperatura $k_d$

Los valores para el factor de temperatura dependen de esta misma propiedad de los materiales.

**Tabla 2-9:** Factor de temperatura.

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

### Factor de efectos varios $k_g$

Los efectos varios pueden ser factores de menor relevancia pero que es importante considerar en la ecuación de Marín. Generalmente este factor puede tomarse como  $k_g = 1$ .

#### 2.2.5.2. Concentradores de esfuerzo

Se considera un concentrador de esfuerzo aquel punto donde existen cambios de sección o discontinuidades de las piezas, estos pueden encontrarse en agujeros, chaveteros, cambios de sección y ranuras. Los concentradores de esfuerzo como tal su nombre lo indica, provocan un aumento de las tensiones en dichos puntos donde comúnmente el elemento falla. En fatiga a flexión el factor de concentración de esfuerzo es:

$$k_f = q(k_t - 1) + 1 \quad (17.2)$$

- $k_f$  Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a flexión
- $q$  Sensibilidad a la muesca
- $k_t$  Factor de concentración de esfuerzos para flexión

En fatiga a torsión el factor de concentración de esfuerzo es:

$$k_{fs} = q_s(k_{ts} - 1) + 1 \quad (18.2)$$

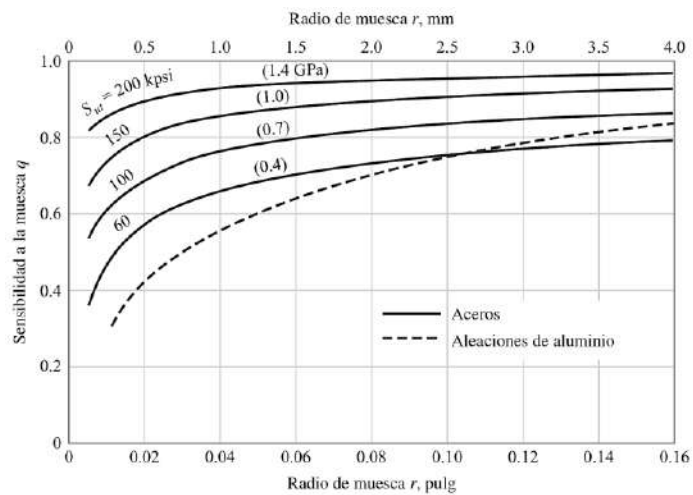
- $k_{fs}$  Factor de concentración de esfuerzos por fatiga a torsión
- $q_s$  Sensibilidad a la muesca
- $k_{ts}$  Factor de concentración de esfuerzos para torsión

La relación con los esfuerzos máximos es la siguiente:

$$\sigma_{max} = k_f \sigma_{nom} \quad (19.2)$$

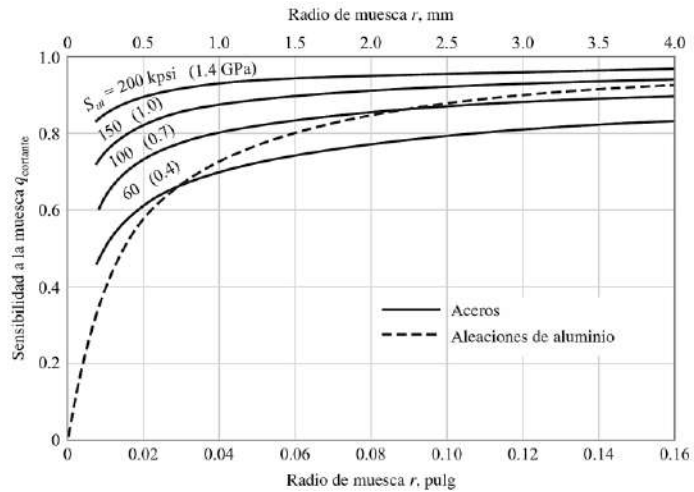
$$\tau_{max} = k_{fs} \tau_{nom} \quad (20.2)$$

El valor de la sensibilidad de la muesca se halla a través de la figura. Si el valor es desconocido puede tomarse la consideración conservadora;  $q = 1$ .



**Ilustración 2-13:** Sensibilidad de la muesca en flexión invertida.

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)



**Ilustración 2-14:** Sensibilidad de la muesca en torsión invertida

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

### 2.2.5.3. Fatiga a esfuerzos combinados

Un elemento normalmente se encuentra a más de un tipo de esfuerzo, a esto se considera esfuerzos combinados. Se realiza un procedimiento ordenado con cada uno de los esfuerzos presentes sobre el elemento además de obtener los esfuerzos medio y amplitud para cada uno junto con alguna teoría de falla.

**Tabla 2-10:** Esfuerzos equivalentes.

Esfuerzo equivalente amplitud	Esfuerzo equivalente medio
$\sigma_{a_{eq}} = \sqrt{(k_{f_a} \sigma_{a_a} + k_{f_f} \sigma_{a_f})^2 + 3(k_{f_t} \tau_{a_t})^2}$	$\sigma_{m_{eq}} = \sqrt{(\sigma_{m_a} + \sigma_{m_f})^2 + 3(\tau_{m_t})^2}$

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

A través de los esfuerzos equivalentes y aplicando las teorías de falla más aplicadas a fatiga se tiene:

**Tabla 2-11:** Criterios de falla.

Según Soderberg	Según Goodman
$\frac{\sigma_{a_{eq}}}{S_e} + \frac{\sigma_{m_{eq}}}{S_y} = \frac{1}{\eta}$	$\frac{\sigma_{a_{eq}}}{S_e} + \frac{\sigma_{m_{eq}}}{S_{ut}} = \frac{1}{\eta}$

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

**Realizado por:** Remache, L. y Duchi, F., 2023

## 2.2.6. Selección de elementos flexibles

### 2.2.6.1. Transmisión por cadena

Las cadenas son elementos de transmisión de potencia muy utilizados en la industria, específicamente en las maquinarias y equipos. Se convierten en una buena alternativa cuando de transmitir grandes cargas se trata, son tipos de transmisión robustas que permiten trabajar en condiciones ambientales diferentes aun con altas temperaturas. Entre las ventajas y desventajas de un sistema de transmisión por cadena están:

**Tabla 2-12:** Ventajas y desventajas del sistema de transmisión.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>○ Ausencia de deslizamiento.</li><li>○ Relación de transmisión constante.</li><li>○ Mejor resistencia a las condiciones ambientales.</li><li>○ Simplificación de la instalación y reparación.</li><li>○ Transmisión de potencia a distintos árboles.</li><li>○ Larga vida útil.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Requiere lubricación.</li><li>○ Costo elevado.</li><li>○ Resultan un poco ruidosas.</li><li>○ Requiere de una alineación precisa.</li></ul>

**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Generalmente este tipo de transmisiones están conformadas de una rueda dentada motriz, una o más ruedas dentadas conducidas y la cadena.

### Cálculo de la potencia

$$P_d = PC_7 \quad (21.2)$$

$P_d$  Potencia de diseño

$P$  Potencia nominal

$C_7$  Factor de servicio

### Cálculo de relación de transmisión

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\text{rpm conductora}}{\text{rpm conducida}} \quad (22.2)$$

### Numero de dientes de rueda conducida

$$Z_2 = iZ_1 \quad (23.2)$$

- i      Potencia de diseño  
Z<sub>2</sub>    Número de dientes conducida  
Z<sub>1</sub>    Número de dientes conductora

### Longitud de la cadena

Para la longitud de la cadena se puede relacionar con el número de eslabones calculados.

Factor A

$$A = \frac{G - g}{2e} \quad (24.2)$$

$$G = \frac{Z_2 p}{\pi} \quad (25.2)$$

$$g = \frac{Z_1 p}{\pi} \quad (26.2)$$

$$e = G + 0,5g \quad (27.2)$$

- G    Diámetro de rueda grande en pulgadas  
g    Diámetro de rueda pequeña en pulgadas  
e    Distancia entre centros en pulgadas

Número de eslabones

$$\text{Número de eslabones} = \frac{Be}{p} + Ct + DT \quad (28.2)$$

- P    Paso de cadena en pulgadas  
t    Número de dientes de rueda pequeña  
T    Número de dientes de rueda grande

Distancia entre centros corregida

$$E = \frac{(N - Ct - DT)P}{B} \quad (29.2)$$

## Cálculo de fuerza

$$v = \frac{z \cdot p \cdot n}{12} \quad (30.2)$$

z	Número de dientes
p	Paso en pulgadas
n	rpm
v	Velocidad ft/min

$$F = \frac{HP \cdot 33000}{v} \quad (31.2)$$

$$F_c = 1,05F \quad (32.2)$$

F	Fuerza en lb
v	Velocidad ft/min
F <sub>c</sub>	Fuerza aplicada en el eje

### 2.2.6.2. Selección de rodamientos

Los cojinetes como también son conocidos, se encargan de brindar la posición y libertad de rotación a los ejes, su objetivo principal es el de reducir el desgaste y la fricción de los ejes giratorios. La selección de un rodamiento adecuado para un sistema se basa en la siguiente metodología:

- Velocidad de operación
- Vibración y cargas de choque
- Cargas en los rodamientos
- Ambiente de operación
- Temperatura del rodamiento

En cuanto al diseño mecánico requiere de los siguientes cálculos:

- Chequeo dinámico
- Chequeo estático
- Cálculo de la vida del rodamiento

## Chequeo a carga dinámica

Dentro del chequeo a carga dinámica se calcula la capacidad dinámica del rodamiento

$$C' = \frac{f_h}{f_n} P \quad (33.2)$$

Un rodamiento debe resistir las condiciones de operación siempre y cuando se cumpla:

$$C' = C_r \quad (34.2)$$

Si  $C_r$  es mayor que  $C'$  el rodamiento tiene mayor vida útil, si es menor su vida útil es menor.

## Factor de vida

El factor de vida para los rodamientos se hace en base a modelos estadísticos en el que se considera que un 90% de rodamientos son similares bajo las mismas condiciones de operación.

**Tabla 2-13:** Factor de vida de los tipos de rodamientos.

Rodamientos de bolas	Rodamiento de rodillos
$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$	$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{\frac{3}{10}}$

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

## Factor de velocidad

La velocidad permite predecir la duración de un rodamiento por lo que se utiliza un factor de velocidad.

**Tabla 2-14:** Factor de velocidad de los tipos de rodamientos.

Rodamientos de bolas	Rodamiento de rodillos
$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{3}}$	$f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{3}{10}}$

Fuente: (Budynas, y Nisbett, 2011)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

$n$  simboliza las revoluciones por minuto del rodamiento.

### **Carga radial dinámica equivalente**

$$P_r = XF_r + YF_a \quad (35.2)$$

- $P_r$  Carga radial dinámica equivalente N
- $F_r$  Fuerza radial aplicada N
- $F_a$  Fuerza axial aplicadas N
- $X$  Factor de carga radial
- $Y$  Factor de carga axial

### **Carga axial dinámica equivalente**

$$P_a = F_a + 1.2F_r \quad (36.2)$$

- $P_a$  Carga axial dinámica equivalente N
- $F_r$  Fuerza radial aplicada N
- $F_a$  Fuerza axial aplicadas N

### **Chequeo a carga estática**

Para el chequeo a carga estática se calcula la capacidad a carga estática del rodamiento.

$$C'_o = f_s P_o \quad (37.2)$$

Un rodamiento debe resistir las condiciones de operación siempre y cuando se cumpla:

$$C'_o \leq C_{or} \quad (38.2)$$

### **Carga radial estática equivalente**

$$P_{or} = X_o F_r + Y_o F_a \quad (39.2)$$

- $P_{or}$  Carga radial estática equivalente N
- $F_r$  Fuerza radial aplicada N
- $F_a$  Fuerza axial aplicadas N
- $X_o$  Factor de carga radial estática
- $Y_o$  Factor de carga axial estática



### **Carga axial estática equivalente**

$$P_{oa} = F_a + 2.7F_r \quad (40.2)$$

$P_{oa}$  Carga axial estática equivalente N

$F_r$  Fuerza radial aplicada N

$F_a$  Fuerza axial aplicadas N

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se consideran los requerimientos dados por los clientes, mismos que serán recopilados como voz de usuario y cliente con el fin de elaborar la casa de la calidad. Una vez que se haya completado esta etapa, se definen las especificaciones técnicas del sistema automatizado de lavado de bidones de leche. Posteriormente se lleva a cabo un análisis funcional de la máquina, donde se identifican los diferentes niveles que reflejan los procesos presentes en la máquina. Mediante el uso del método de criterios ponderados se elige la solución más adecuada de entre las alternativas propuestas y con ello, desarrollar un diseño conceptual. Una vez que se haya establecido claramente este diseño, se propone la ingeniería de detalle, que abarca el cálculo y la selección de los componentes que conforman la máquina. A continuación, se procede a la construcción de la máquina, seguido del análisis de costos con el fin de llevar a cabo las pruebas necesarias y verificar su correcto funcionamiento. Al no cumplir con los objetivos establecidos, se procede al proceso de rediseño para evaluar nuevamente la última etapa desde la ingeniería de detalle.

#### 3.1. Definición del Producto

El sistema de lavado automático de bidones de leche debe cumplir con todas las especificaciones requeridas por el cliente, mismas que son esenciales para determinar los parámetros técnicos ingenieriles y lograr un producto que sea competitivo a nivel local e internacional.

##### 3.1.1. *Identificación del usuario*

En este paso, se identifica los usuarios posibles que darán uso del sistema automático de lavado de bidones, siendo, los ganaderos y productores de leche que entregan su producto en los centros de acopio. Permitiendo así, agilizar el proceso de lavado y reducir el tiempo requerido para preparar los bidones para su posterior uso o almacenamiento. Por otro lado, la instalación de una máquina así, mejora la eficiencia de la operación, asegura que los bidones queden completamente limpios, garantizando la calidad de los productos lácteos.

##### 3.1.2. *Requerimientos del usuario*

Los requerimientos para la máquina puede variar según las necesidades específicas de los usuarios. A continuación, se muestra algunos datos a considerar.

1. Eficiencia de lavado: La máquina debe proporcionar un lavado eficiente y completo de los bidones de leche, eliminando de manera efectiva cualquier residuo o contaminante.
2. Facilidad de uso: El sistema de lavado debe ser fácil de operar, con una interfaz intuitiva y controles simples, ya que debe ser accesible para todas las personas, incluso para aquellos que no tengan mucha experiencia técnica.
3. Seguridad: Es uno de los requisitos fundamentales de la máquina, ya que debe estar diseñada con medidas de seguridad adecuadas para proteger a los usuarios y prevenir cualquier riesgo durante el proceso de lavado.
4. Mantenimiento y limpieza: La máquina debe contar con características que faciliten el mantenimiento regular y la limpieza interna de la misma.
5. Durabilidad y confiabilidad: El sistema debe ser capaz de funcionar de manera consistente y sin problemas durante un período prolongado de tiempo.
6. Robustez y resistencia: La máquina tiene que ser robusta y resistente para soportar un uso intensivo y continuo, utilizando materiales duraderos y resistentes a la corrosión para asegurar la vida útil de la máquina.

### ***3.1.3. Priorizar los requerimientos del usuario***

Actualmente para el proceso de lavado de bidones de leche se utiliza el método tradicional, que es el proceso de lavado manual, es por eso por lo que se ha visto la necesidad de diseñar, construir e implementar en centros de acopio una máquina para este proceso de lavado, con el fin de optimizar el tiempo de los ganaderos y productores de leche y obtener bidones completamente limpios. De esta forma se realiza un estudio en el cual se identifica las necesidades importantes del usuario.

La evaluación de los requerimientos del cliente se realiza mediante entrevistas y encuestas a los propietarios de los centros de acopio, ganaderos y productores de leche con el fin de seleccionar las características más importantes que debe tener el sistema de lavado automático de bidones. Una vez realizada las encuestas y entrevistas correspondientes los usuarios mencionan que la maquina deben constar con los siguientes parámetros que se detallan a continuación en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Requerimientos del usuario.

<b>Voz del Usuario</b>
Rapidez del lavado
Costo accesible
Fácil operación y mantenimiento

Instalación eléctrica monofásica
Resistente y robusto
Bajo tiempo de lavado
Funcionamiento duradero
Tamaño compacto

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Posteriormente, al examinar las solicitudes dadas por los posibles usuarios de la máquina, se traduce esas necesidades a un lenguaje técnico con el propósito de brindar una solución fundamentada en criterios de ingeniería para atender dichas demandas.

**Tabla 3-2:** Voz del Ingeniero.

<b>Voz del Ingeniero</b>
Potencia
Velocidad de lavado
Capacidad de lavado
Consumo de energía
Materiales de construcción
Dimensiones del Equipo
Mantenimiento
Peso del equipo
Control automático
Diseño
Componentes
Vida útil
Eficiencia
Costo máximo del equipo
Ergonomía
Seguridad

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### **3.1.4. Análisis de competencias**

Para el análisis de competencia se opta por investigar y buscar tipos de máquinas similares existentes en el mercado nacional como internacional, que presenten características similares para este tipo de proceso automático de lavado de bidones de leche, de tal manera que se elaboran pequeñas fichas técnicas con las especificaciones de cada una, con el fin de tomar la mejor decisión para su diseño y construcción. A continuación, se muestran algunos modelos genéricos existentes en el mercado.

### 3.1.4.1. Competencia 1: Lavadora de bidones de leche PBL 370

La empresa Technologie Cominox se dedica principalmente a la creación de maquinaria para la industria alimentaria, específicamente en la construcción de lavadoras para la industria láctea. La empresa se enfoca en fabricar máquinas de alta calidad y brindar asistencia para solucionar los problemas específicos de cada cliente, ofreciendo también el diseño de máquinas que se ajusten a cualquier tipo de necesidad. Utiliza tecnologías innovadoras, para construir máquinas con grandes ventajas, incluyendo la reducción del consumo de agua. (COMINOX, 2020)

A continuación, en la Tabla 3-3 se presenta algunos de los datos técnicos que presenta el sistema de lavado de bidones.

**Tabla 3-3:** Ficha técnica de la competencia 1.

<b>COMPETENCIA 1</b>		<b>Ficha: 1</b>
DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES		<b>Tipo:</b> Lavado automático de bidones de leche
TECNOLOGIE COMINOX		<b>Dirección:</b> Guanzate (CO) - Italia
<b>EQUIPO</b>		<b>DATOS TÉCNICOS</b>
		<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>
		<p>Número/modelo: PBL 370</p> <p>Material: Acero inoxidable AISI 304</p> <p>Guías de deslizamiento construidos con materiales adecuados (cumple con normas FDA)</p> <p>Línea con movilización de pallets.</p> <p>Flexible, seguro y ergonómico.</p> <p>Sistema modular de transporte por cadena.</p> <p>Cámara de lavado para parte externa e interna del bidón.</p> <p>Cámara de esterilización mediante el uso de vapor a baja presión.</p>
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>	
Productividad	35 seg. por bidón	
Consumo de agua	22±25 Lt. x bidón a 10 bar	
Tipo de lavado	Por aspersión	
Capacidad	370 bidones por hora	

**Fuente:** (COMINOX, 2020)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

3.1.4.2. Competencia 2: Lavadora de bidones - Milk Can Washer

SS Engineers & Consultants es una empresa de ingeniería y consultoría con sede en India. Esta empresa se dedica al diseño, fabricación, instalación y puesta en marcha de una amplia gama de equipos y sistemas industriales para empresas líderes en la industria de alimentos y bebidas, productos lácteos, farmacéutica, etc. La empresa se esfuerza por mantener altos estándares de calidad en sus productos y servicios, y, además, han implementado sistemas de gestión de calidad y están certificados según la norma ISO 9001. (SS Engineers & Consultants, 2016a)

Entre los productos que ofrece esta la lavadora de recipientes de leche “Milk Can Washer” que se utiliza para lavar y limpiar los bidones de leche, cuenta con un solo riel deslizante, es decir, que los bidones se cargan en un solo carril y se desplazan automáticamente a través del proceso de lavado. A continuación, en la Tabla 3-4 se presenta algunas especificaciones técnicas que presenta la máquina.

**Tabla 3-4:** Ficha técnica de la competencia 2.

<b>COMPETENCIA 2</b>		<b>Ficha: 2</b>
<b>DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES</b>		<b>Tipo:</b> Lavado semiautomático de bidones de leche
SS ENGINEERS & CONSULTANTS		<b>Dirección:</b> Andhra Pradesh - India
<b>EQUIPO</b>		<b>DATOS TÉCNICOS</b>
		<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>
		<p>Número/modelo: SL2ZP2T6</p> <p>Material: Acero inoxidable AISI 304</p> <p>Acabado superficial liso.</p> <p>Fácil operación y mantenimiento mínimo.</p> <p>Guías de deslizamiento construidos con materiales adecuados.</p> <p>Zontas individuales de lavado y enjuague.</p> <p>Calentador de agua eléctrico.</p> <p>Parámetros de lavado de alta eficiencia.</p> <p>Boquillas ajustables.</p> <p>Filtros multietapa y lado de succión de la bomba.</p> <p>Flexible, seguro y ergonómico.</p>

<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>
Capacidad	200 a 600 CPH
Largo de la máquina	5400 mm
Área de instalación	7400 x 3000 (Largo x ancho)
Dimensiones	470 x 320 x 175 mm
Potencia de consumo	10 kW
Agua de consumo	1300 – 1400 Litros
Consumo de vapor	100 – 150 kg/H
Voltaje	200 V
Tipo de lavado	Por aspersión

Fuente: (Kothari, 2018a)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.1.4.3. Competencia 3: Lavadora de bidones - Rotary Can Washing Machine

La empresa Engineers & Consultants también brinda otro tipo de máquinas que cumplen con el mismo objetivo que es el lavado de bidones de leche, tratándose de una máquina rotativa “Rotary Can Washing Machine”, misma que es de tamaño compacto y puede ser operado por una sola persona. Su función principal es la de enjuagar, limpiar y esterilizar los bidones de manera eficaz mediante una operación continua. (SS Engineers & Consultants, 2016b)

Este tipo de lavadoras evitan las salpicaduras y la mezcla del agua con las cámaras, asegurando de este modo, la limpieza completa de los bidones, y, además, conserva el calor y el agua. A continuación, en la Tabla 3-5 se presenta algunos de los datos técnicos de esta máquina.

**Tabla 3-5:** Ficha técnica de la competencia 3.

	<b>COMPETENCIA 3</b>	<b>Ficha: 3</b>
	DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES	<b>Tipo:</b> Lavado semiautomático de bidones de leche
	SS ENGINEERS & CONSULTANTS	<b>Dirección:</b> Andhra Pradesh - India
<b>EQUIPO</b>	<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
	Material: Acero inoxidable AISI 304 Excelente eficiencia de limpieza. Diseño compacto. Menos consumo de energía. Alta productividad de limpieza. Construcción simple. Fácil operación y mantenimiento mínimo. Calentador de agua eléctrico. Flexible, seguro y ergonómico.	
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>	
Capacidad	150 – 300 CPH	
Potencia de consumo	4 – 18.4 kW	
Velocidad rotatoria	1.2 rpm	
Tipo de lavado	Por aspersion	

**Fuente:** (Kothari, 2018b)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 3.1.4.4. Competencia 4: Lavadora automática SP-NW1

Uno de los países más desarrollados en tecnología y maquinaria es China, aquí se encuentra una empresa llamada Chinapak (China Packing & Filling Machine) que se dedica a consultoría, diseño, desarrollo, fabricación y comercialización de maquinaria, su experiencia basa principalmente en líneas de producción de máquinas de agua y bebidas y empacadoras de alimentos.

La lavadora automática SP-NW1 se trata de una máquina para lavado de garrafones de agua, pero el conocer su funcionamiento puede ser de gran ayuda para la creación de una nueva máquina de lavado, pero en este caso, para bidones de leche. Está diseñada para garantizar una limpieza eficiente de los garrafones, eliminando cualquier residuo o contaminante que puedan estar



presentar en ellos. A continuación, en la Tabla 3-6 se presenta algunos de los datos técnicos que presenta la máquina. (Chinapak, 2022)

**Tabla 3-6:** Ficha técnica de la competencia 4.

	<b>COMPETENCIA 4</b>	<b>Ficha: 4</b>
	DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES	<b>Tipo:</b> Lavado automático de garrafones de agua de 5 galones
	CHINAPAK	<b>Dirección:</b> China
<b>EQUIPO</b>	<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
	<p>Número/modelo: SP-NW1  Material: Acero inoxidable AISI 304.  Ingeniería de procesos: enjuagadora interna y externa.  Excelente eficiencia de limpieza.  Fácil operación y mantenimiento mínimo.  Diseño compacto, Estructura robusta y duradera.  Flexible, seguro y ergonómico.  Fácil manejo de panel de control (PLC).  Tiene sensores y sistemas de control para garantizar un lavado eficiente.</p>	
<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>	
Tamaño de botellas (mm)	Ø270 x 490 x Ø56	
Tipo de lavado	Lineal, interna y externa	
Voltaje de aplicación	AC380V/220V	
Presión de aire (MPa)	0.1M3 0.17M3/min 0.7MPa/CM3	
Peso total (kg)	550 kg	
Dimensiones (LxWxH) (mm)	2200 x 1350 x 2850 mm	

Fuente: (Chinapak, 2022)

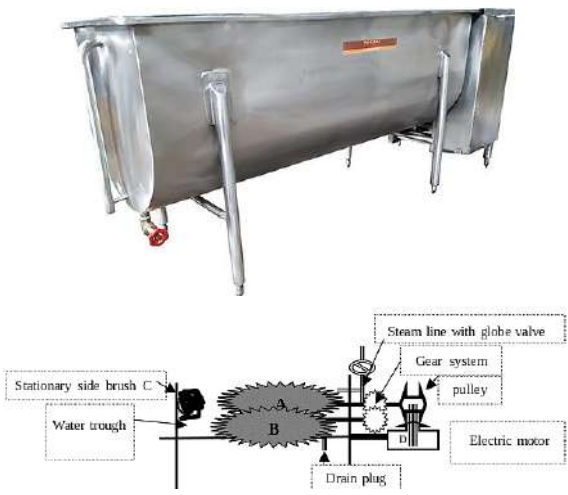
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.1.4.5. Competencia 5: Lavadora automática - Can Scrubber

Columbec del Ecuador S.A. es una empresa ecuatoriana constituida para cumplir una misión, que es la de ofrecer equipos, sistemas, máquinas y soluciones industriales adaptadas al Ecuador. Su objetivo principal es importar, distribuir y comercializar productos industriales, maquinaria, accesorios y repuestos, brindando el servicio y asistencia técnica necesarios.

Esta empresa ofrece un sistema de lavado de bidones de leche sencillo con el fin de garantizar la limpieza de estos recipientes y optimizar el tiempo de lavado de los ganaderos y productores de leche del país. Cuenta con cepillos de nylon, 2 giratorios y uno estático que ayudan al lavado interno y externo del bidón. Es utilizado para el lavado de los bidones de 40 litros, también posee un tanque de inmersión con capacidad de hasta 400 litros. A continuación, en la Tabla 3.7 se muestra las especificaciones técnicas de la máquina.

**Tabla 3-7:** Ficha técnica de la competencia 5.

<b>COMPETENCIA 5</b>		<b>Ficha: 5</b>														
<b>DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES</b>		<b>Tipo:</b> Lavado semiautomático de bidones de leche														
<b>COLUMBEC</b>		<b>Dirección:</b> Quito - Ecuador														
<b>EQUIPO</b>		<b>DATOS TÉCNICOS</b>														
		<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>  Material: Acero inoxidable AISI 304 Excelente eficiencia de limpieza. Construcción robusta y simple. Fácil operación y mantenimiento mínimo. Alto rendimiento. No corrosivo. Flexible, seguro y ergonómico. Cepillos de nylon.														
		<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Descripción</b></th> <th><b>Parámetros</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Capacidad</td> <td>450 litros</td> </tr> <tr> <td>Voltaje</td> <td>450 V</td> </tr> <tr> <td>Velocidad rotatoria</td> <td>40 rpm</td> </tr> <tr> <td>Motor</td> <td>1 HP (Con caja reductor)</td> </tr> <tr> <td>Numero de cepillos</td> <td>3 (2 giratorios y 1 estático)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de bidones a lavar</td> <td>Bidones de 30 Litros - 60 Litros</td> </tr> <tr> <td>Grado automático</td> <td>Semiautomático</td> </tr> </tbody> </table>	<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>	Capacidad	450 litros	Voltaje	450 V	Velocidad rotatoria	40 rpm	Motor	1 HP (Con caja reductor)	Numero de cepillos	3 (2 giratorios y 1 estático)	Tipo de bidones a lavar	Bidones de 30 Litros - 60 Litros
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>															
Capacidad	450 litros															
Voltaje	450 V															
Velocidad rotatoria	40 rpm															
Motor	1 HP (Con caja reductor)															
Numero de cepillos	3 (2 giratorios y 1 estático)															
Tipo de bidones a lavar	Bidones de 30 Litros - 60 Litros															
Grado automático	Semiautomático															

**Fuente:** (Bhupkar, 2023)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.1.5. *Despliegue de la función de calidad (QFD)*

Mediante el siguiente análisis, se logra obtener los requerimientos de los usuarios, previamente investigados, con el propósito de transformar todas estas necesidades en especificaciones técnicas. Estas especificaciones son definidas por el equipo de ingeniería y, de esta manera, nos

permite ofrecer soluciones adecuadas a los clientes interesados en adquirir la máquina. Las necesidades de los usuarios abarcan aspectos como el desempeño, costos, usabilidad y el diseño.

**Tabla 3-8:** Necesidades del cliente.

Desempeño	Estabilidad	B
	Eficiencia en operatividad	B
	Rapidez de lavado	E
	Seguridad de operación	E
Costo	Costo accesible del equipo	B
	Bajo costo de funcionamiento	B
	Bajo costo de mantenimiento	E
Usabilidad	Fácil operación y control	B
	Posibilidad de movilizar el equipo	B
	Facilidad de montaje y desmontaje	O
	Manuales de operación	B
Mantenimiento	Fácil reemplazo de componentes	B
	Accesibilidad a los componentes en el mercado	E
	Durabilidad de Componentes	B
Diseño	Diseño ergonómico	B
	Materiales resistentes	O
	Estético	E
	Diseño seguro	B
	Fuente de energía	B

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

**Nota:** La demanda corresponde a tres clasificaciones: B = Básico, O = Unidimensional y E = Estimulante.

### 3.1.5.1. Análisis de evaluación de requerimientos del cliente

A continuación, se realiza un análisis cualitativo de la relevancia de las diferentes especificaciones proporcionadas por los clientes. Para esto, se ha otorgado una puntuación que refleja la importancia relativa de cada requisito del usuario, utilizando una escala de 5 puntos definida de la siguiente manera: mediante el cual se ha asignado una calificación en base a la importancia relativa a cada requisito del usuario mediante una escala de 5 puntos que se ha definido de la siguiente manera: 1 - insignificante, 2 - de poca importancia, 3 - de importancia considerable, 4 - de gran importancia y 5 - de suma importancia.

**Tabla 3-9:** Resultados de las encuestas de los requerimientos de los usuarios.

	Referencia	Muy importante 5	Importante 4	Relativamente importante 3	Poco importante 2	Nada importante 1	Total, de encuestados	Promedio de importancia	Promedio aproximado
Pregunta 1	Estabilidad	5	2	2	1	0	10	4,1	4
Pregunta 2	Eficiencia en operatividad	4	3	1	1	1	10	3,8	4
Pregunta 3	Rapidez de lavado	3	4	1	1	1	10	3,7	4
Pregunta 4	Seguridad de operación	4	4	1	1	0	10	4,1	4
Pregunta 5	Costo accesible del equipo	6	3	1	0	0	10	4,5	5
Pregunta 6	Bajo costo de funcionamiento	4	2	1	2	1	10	3,6	4
Pregunta 7	Bajo costo de mantenimiento	3	3	2	1	1	10	3,6	4
Pregunta 8	Fácil operación y control	6	3	1	0	0	10	4,5	5
Pregunta 9	Posibilidad de movilizar el equipo	4	3	2	1	0	10	4	4
Pregunta 10	Fácil montaje y desmontaje	3	3	1	1	2	10	3,4	3
Pregunta 11	Manuales de operación	3	3	1	1	2	10	3,4	3
Pregunta 13	Fácil reemplazo de componentes	4	3	1	1	1	10	3,8	4
Pregunta 14	Accesibilidad de componentes en el mercado	4	4	1	1	0	10	4,1	4
Pregunta 15	Durabilidad de componentes	4	3	1	1	1	10	3,8	4
Pregunta 16	Diseño robusto	3	3	2	1	1	10	3,6	4
Pregunta 17	Materiales resistentes	7	1	1	1	0	10	4,4	4
Pregunta 18	Estética	4	2	1	2	1	10	3,6	4
Pregunta 19	Diseño seguro	5	3	2	0	0	10	4,3	4
Pregunta 20	Fuente de energía	4	4	2	0	0	10	4,2	4

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.1.5.2. Análisis de competitividad

Para realizar el análisis de competitividad dentro de la matriz QFD hacia equipos existentes en el mercado o similares las cuales se utiliza para el lavado de bidones de leche como se detalló anteriormente se establecen parámetros que deben ser evaluados por el usuario como se detalla en la siguiente matriz tomando en cuenta que los datos de nuestra máquina y las competencias son dados o calificados por los mismos, se los puede visualizar en la Tabla 3-10.

**Tabla 3-10:** Análisis de competitividad.

		G	A	B	C	D	E	F	H	I	
		Importancia	Propia Empresa	Competencia 1	Competencia 2	Objetivo	índice de Mejora	Factor de venta	Ponderación	Ponderación en %	
<b>Desempeño</b>	Estabilidad	B	4	1	3	4	2	2,00	1,5	12,00	4,9%
	Eficiencia en operatividad	B	4	1	4	5	2	2,00	1,5	12,00	4,9%
	Rapidez de lavado	O	4	1	4	4	2	2,00	1,2	9,60	3,9%
	Seguridad de operación	E	4	1	4	4	2	2,00	1,5	12,00	4,9%
<b>Costo</b>	Costo accesible del equipo	B	5	1	4	5	3	3,00	1,5	22,50	9,1%
	Bajo costo de funcionamiento	E	4	1	4	4	2	2,00	1,2	9,60	3,9%
	Bajo costo de mantenimiento	E	4	1	4	4	2	2,00	1,2	9,60	3,9%
<b>Usabilidad</b>	Fácil operación y control	B	5	1	5	4	3	3,00	1,5	22,50	9,1%
	Posibilidad de movilizar el equipo	B	4	1	4	3	3	3,00	1	12,00	4,9%
	Facilidad de montaje y desmontaje	O	3	1	3	3	2	2,00	1	6,00	2,4%
	Manuales de Operación	B	3	1	4	3	2	2,00	1	6,00	2,4%
<b>Mantenimiento</b>	Fácil reemplazo de componentes	B	4	1	4	4	2	2,00	1,2	9,60	3,9%
	Accesibilidad a los componentes en el mercado	E	4	1	3	3	2	2,00	1	8,00	3,2%
	Durabilidad de componentes	B	4	1	4	3	2	2,00	1,2	9,60	3,9%
<b>Diseño</b>	Diseño robusto	B	4	1	3	3	3	3,00	1,2	14,40	5,8%
	Materiales resistentes	O	4	1	4	4	3	3,00	1,5	18,00	7,3%
	Estéticamente atractivo	E	4	1	4	4	3	3,00	1,5	18,00	7,3%
	Diseño seguro	B	4	1	4	4	3	3,00	1,5	18,00	7,3%
	Fuente de energía	B	4	1	3	3	3	3,00	1,5	18,00	7,3%

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchí, Felix, 2023

Las ecuaciones correspondientes están dadas por:

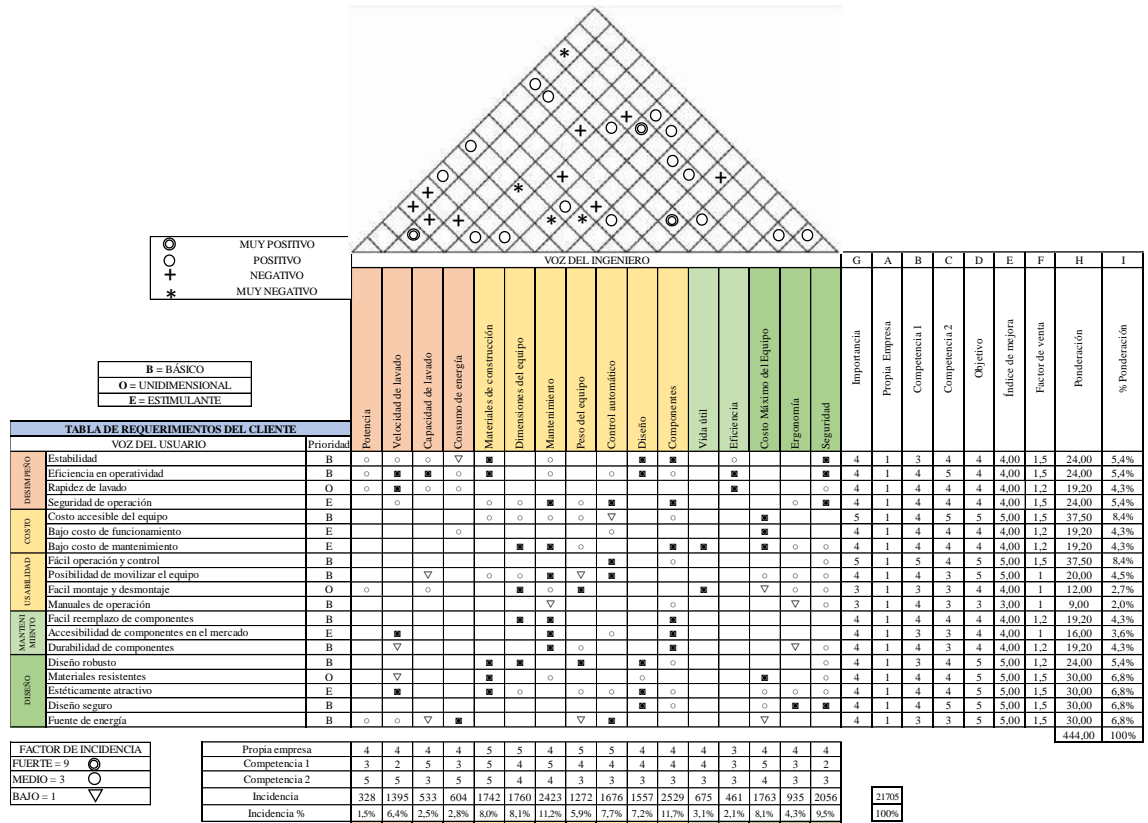
$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Índice de Mejora}}$$

La ponderación se determina con:

$$\text{Ponderación} = \text{índice de mejora} * \text{factor de venta} * \text{importancia}$$

Para la incidencia está dada por:

$$\text{Incidencia} = \Sigma * \text{ponderación}$$



**Ilustración 3-1:** Casa de calidad del sistema de lavado automático de bidones de leche.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchí, Felix, 2023

A continuación, se visualiza de mejor manera, las evaluaciones técnicas tanto de las competencias como de nuestro producto, el cual es una máquina lavadora de bidones de leche.

Especificación del producto	Evaluación Técnica	
	Competidor 1	Competidor 2
Propia Empresa	1 HP	2.5 KW
0.75 HP - 1 HP	35 rpm	40 rpm
35 rpm	45 rpm	45 rpm
50 bidón/hora	65 bidón/hora	70 bidón/hora
50 bidón/hora	65 bidón/hora	70 bidón/hora
2.25 KW/bidón	3.5 KW/bidón	4 KW/bidón
Acero inoxidable AISI 304 y A316	Acero inoxidable AISI 304 y A316	Acero inoxidable AISI 304 y A316
750 x 1650 x 900 mm	760 x 1500 x 970 mm	2200 x 1350 x 2850 mm
900 mm	970 mm	2850 mm
Fácil	Medio	Difícil
250 kg	270 kg	550 kg
Didáctico	Fácil de usar	Fácil de usar
Robusto	Robusto	Robusto
Livianos	Livianos	Pesados
Larga vida	Larga vida	Larga vida
Buena	Regular	Excelente
\$3.000	\$3.500	\$3.800
SI	SI	SI
Bueno	Regular	Bueno

**Tabla 3-11:** Evaluación técnica de los productos.

Especificación del producto	Evaluación Técnica		
	Propia Empresa	Competidor 1	
0,75 HP - 1 HP	1 HP	2,5 KW	Potencia
35 rpm	40 rpm	45 rpm	Velocidad de lavado
50 bidón/hora	65 bidón/hora	70 bidón/hora	Capacidad de lavado
2,25 KWh/día	3,5 KWh/día	4 KWh/día	Consumo de energía
Acero inoxidable AISI	Acero inoxidable AISI 304	Acero inoxidable AISI 304	Materiales de construcción
750 x 1650 x 900 mm	760 x 1500 x 970 mm	2200 x 1350 x 2850 mm	Dimensiones del equipo
Fácil	Medio	Difícil	Mantenimiento
250 kg	270 kg	550 kg	Peso del equipo
Didáctico	Fácil de usar	Fácil de usar	Control automático
Robusto	Robusto	Robusto	Diseño
Livianos	Livianos	Pesados	Componentes
Larga vida	Larga vida	Larga vida	Vida útil
Buena	Regular	Excelente	Eficiencia
\$3.000	\$3.500	\$3.800	Costo Máximo del Equipo
SI	Si	Si	Ergonomía
Bueno	Regular	Bueno	Seguridad

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.1.5.3. Conclusiones de la Matriz QFD

Una vez interpretados la voz del usuario, la voz del ingeniero y el análisis de competencias se llega a determinar los requerimientos técnicos de mayor importancia como se detalla a continuación:

- Velocidad de lavado
- Materiales de construcción
- Dimensiones del equipo
- Mantenimiento
- Peso del equipo
- Control automático
- Diseño
- Componentes
- Costo máximo del Equipo y Seguridad

### 3.1.6. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas del sistema de lavado de bidones se basan en las necesidades de los clientes, así también el diseño y selección de componentes por parte de los diseñadores, con la finalidad de obtener un producto eficiente basado en la relación costo - efectividad de producción de esta.

Por lo tanto, a continuación, en el análisis de la matriz QFD se detallará las especificaciones técnicas de nuestra máquina.

**Tabla 3-12:** Especificaciones técnicas del sistema de lavado de bidones de leche.

<b>Empresa Cliente:</b> Usuario/Cliente		<b>Producto:</b> Máquina para el lavado automático de bidones de leche		<b>Fecha Inicial:</b> 2023/05/25
<b>Diseñadores:</b> Felix Duchi – Cristina Remache				<b>Fecha Final:</b> -
<b>Especificaciones – Detalles Constructivos</b>				
<b>Detalles Constructivos</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Proposición</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Potencia y velocidad de lavado	Sin especificar	D	R	Motor de 1 HP con sistema de transmisión por cadena-piñones. Velocidad de lavado: 35 rpm.
Materiales	Sin especificar	C	R	Acero Inoxidable AISI 304
Capacidad de lavado	Sin especificar	D	R	40 a 50 bidones/hora
		C	R	Bidones de 40 litros
Mantenimiento y Vida útil	Sin especificar	D	D	Fácil mantenimiento (revisión 1 vez/día)
		D	R	Operación larga vida útil Fiabilidad 95 %
Energía	Sin especificar	C	R	Energía eléctrica Consumo energético: 2.25 KWh/día
Dimensiones Del Equipo	Sin especificar	C	R	Máquina Ancho: 750mm, Alto: 900m, Largo: 1650m Peso: 250 kg Numero de cepillos: 2 rotatorios y 1 estático (Nylon)
Control y Automatización	Sin especificar	C	R	Tablero eléctrico que consta de contactores y temporizadores para el funcionamiento.
Seguridad Y Ergonomía	Sin especificar	C	R	Ruido menor a 70 dB
		D	R	Acoplable y Portable en cuanto a todos los componentes
Abreviaturas: C: Cliente, P: Producción, F: Fabricación R/D R: Requerimiento, D: Diseño				

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



### 3.2. Diseño conceptual

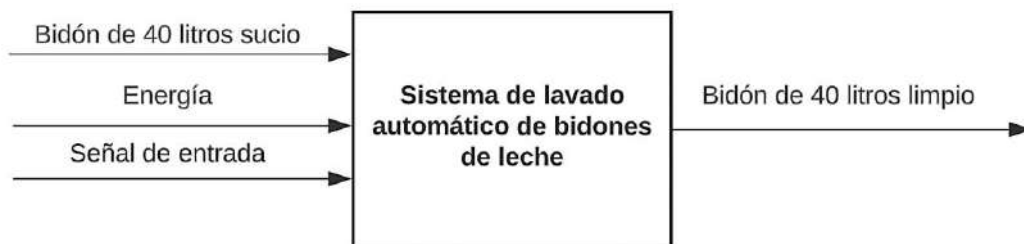
A través de las especificaciones técnicas se realizará el diseño conceptual, mediante el análisis funcional del sistema de lavado automático para generar alternativas dentro de una matriz morfológica para finalmente evaluar las posibles soluciones.

Al término del diseño conceptual es posible obtener una solución y equipamiento óptimo para el sistema de lavado.

#### 3.2.1. Análisis funcional

Para el análisis funcional se va a considerar diferentes niveles que reflejen los procesos presentes en nuestro sistema de lavado de bidones.

##### Nivel 0

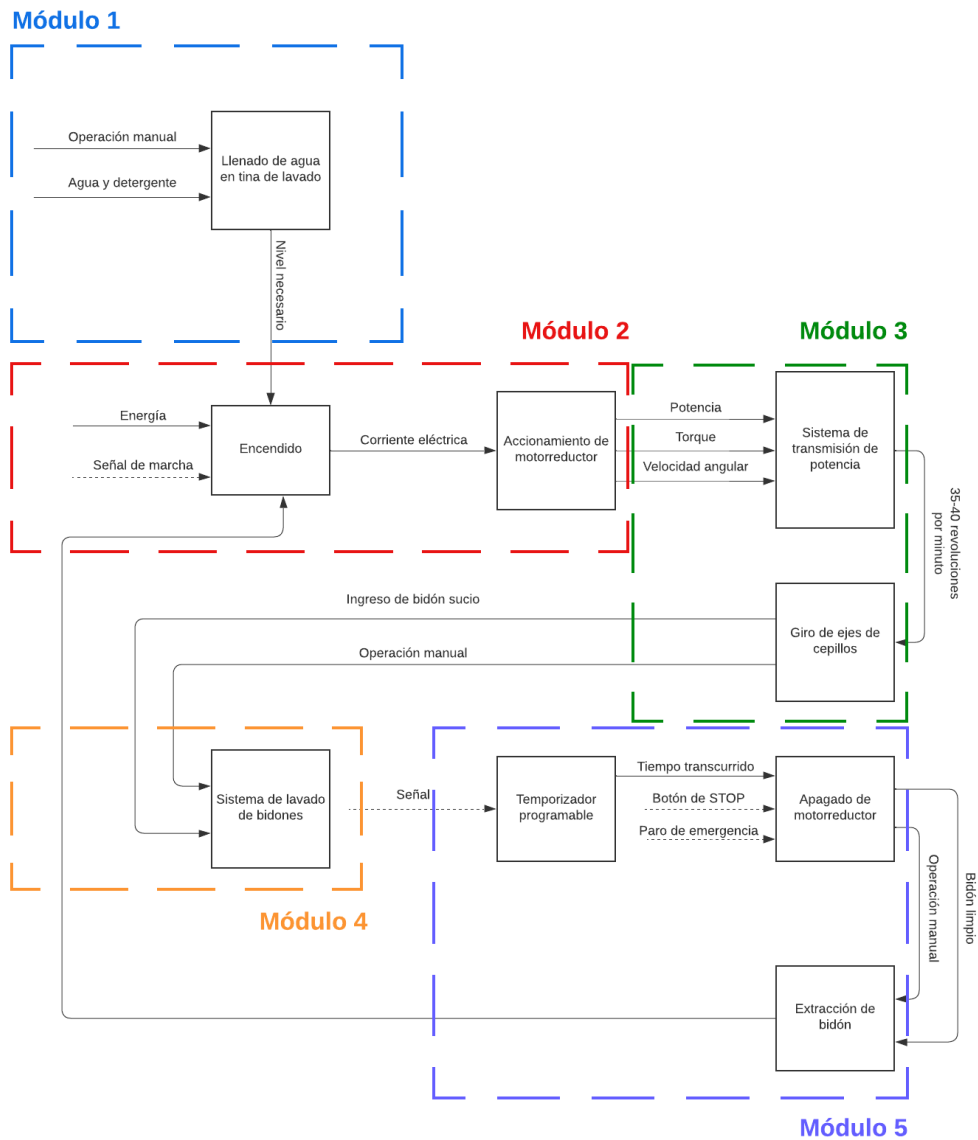


**Ilustración 3-2:** Análisis funcional-Nivel 0.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

A partir del desarrollo del Nivel 0 del análisis fundamental procedemos a separar los módulos presentes en la lavadora.

## Nivel 1



**Ilustración 3-3:** Análisis funcional-Nivel 1.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

En las figuras anteriores se detallan los niveles 0 y 1 del análisis funcional. En nivel 0 indica una estructura funcional general del objetivo del sistema de lavado automático el cual básicamente propone limpiar bidones sucios de 40 litros.

Por otra parte, el nivel 1 describe una estructura detallada a través de módulos de funcionamiento; cinco módulos. Estos indican las diferentes etapas del desempeño de la máquina de lavado, considerando cada una de ellas muy sustancial.

**Tabla 3-13:** Módulos de funcionalidad.






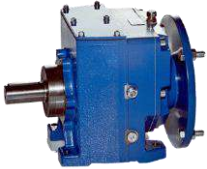















Modulo	Descripción
1	Suministro de agua.
2	Activación de sistema de potencia
3	Sistema de transmisión de potencia
4	Proceso de lavado de bidones
5	Finalización del proceso

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.2.2. Matriz morfológica

La matriz morfológica nos permite establecer las opciones para cada característica que va a ser analizada en el diseño.

**Tabla 3-14:** Matriz Morfológica.

Función	Matriz Morfológica		
	Monofásico	Trifásico	
Motor eléctrico	 	  	
Conjunto reductor	Motorreductor lineal	Motorreductor ortogonal	Reductor de poleas
	 	  	
Sistema de transmisión de potencia	Banda		Cadena
	 		  
Soporte de máquina	Patatas rectangulares		Patatas redondas
	 		  

<b>Cepillos industriales de limpieza</b>	Nylon	Alambre de acero	Algodón
			
<b>Chumaceras</b>	Banco	Pared	Ovalada
			
<b>Drenaje de agua sucia</b>	Válvula esférica	Válvula de globo	Tapón
			
<b>Fuente de energía</b>	Energía eléctrica	Generador eléctrico	Panel solar
			
<b>Suministración de agua</b>	Grifo	Cisterna-Bomba	
			
<b>Control del sistema de lavado</b>	Logo Siemens	Interruptor impermeable	Tablero eléctrico
			
<b>ALTERNATIVA 1</b>		<b>ALTERNATIVA 2</b>	<b>ALTERNATIVA 3</b>

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.2.2.1. Alternativas de solución

Mediante la Tabla 3-14 de la matriz morfológica se analizan tres posibles diseños del sistema de lavado automático para bidones, de los cuales se detallan sus principales características y componentes en la siguiente Tabla 3-15.

**Tabla 3-15:** Alternativas de solución.

<b>Módulo</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>Suministro de agua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El agua sería suministrada a través de un sistema de bombeo, para el que se utilizaría una bomba, un reservorio de agua y un conjunto de tuberías y accesorios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El agua sería suministrada a través de un sistema de bombeo, para el que se utilizaría una bomba, un reservorio de agua y un conjunto de tuberías y accesorios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El agua sería suministrada directamente desde el grifo de agua hasta la tina de la máquina de lavado.</li> </ul>
<b>Activación de sistema de potencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de potencia se activaría luego de pulsar un botón de marcha que enviaría una señal a un controlador lógico programable, produciendo así la activación del motor eléctrico.</li> <li>- Fuente: energía eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de potencia se activaría luego de pulsar un botón de marcha que accionaría directamente el motor eléctrico.</li> <li>- Fuente: energía eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de potencia se activaría a través de un tablero eléctrico que consta de contactores y temporizadores para el funcionamiento.</li> <li>- Fuente: energía eléctrica</li> </ul>
<b>Sistema de transmisión de potencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de lavado de bidones utilizaría un motor trifásico de 1 HP de potencia.</li> <li>- El motor trifásico se acoplaría a un reductor de velocidad ortogonal a 90°.</li> <li>- La transmisión de potencia utilizaría un sistema cadena-piñones para el giro de los cepillos industriales.</li> <li>- Para el apoyo del eje se utilizaría una chumacera de banco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de lavado de bidones utilizaría un motor trifásico de 1 HP de potencia.</li> <li>- El motor trifásico se acoplaría a un reductor de velocidad lineal.</li> <li>- La transmisión de potencia utilizaría un sistema banda-poleas para el giro de los cepillos industriales.</li> <li>- Para el apoyo del eje se utilizaría una chumacera de banco.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema de lavado de bidones utilizaría un motor monofásico de 1 HP de potencia.</li> <li>- El motor monofásico se acoplaría a un reductor de velocidad ortogonal a 90°.</li> <li>- La transmisión de potencia utilizaría un sistema cadena-piñones para el giro de los cepillos industriales.</li> <li>- Para el apoyo del eje se utilizaría una chumacera de banco.</li> </ul>

<b>Proceso de lavado de bidones</b>	- Se utilizarían cepillos industriales con base de Nylon y filamentos de polipropileno.	- Se utilizarían cepillos industriales con base de Nylon y filamentos de polipropileno.	- Se utilizarían cepillos industriales con base de Nylon y filamentos de polipropileno.
<b>Finalización del Proceso</b>	- Un controlador lógico programable desactivaría el sistema al término de un tiempo predeterminado en la programación.	- El sistema se desactivaría tras pulsar directamente el botón de paro.	- El sistema se desactivaría mediante un contactor, luego del intervalo de tiempo predeterminado en el temporizador.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

A continuación, se detallan principales ventajas y desventajas de las alternativas de solución en función de los elementos y componentes que conforma cada solución.

**Tabla 3-16:** Ventajas y desventajas de cada alternativa de solución.

<b>Alternativa</b>	<b>Componente</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Alternativa 1</b>	Sistema de bombeo	El suministro de agua hacia la máquina de lavado es instantáneo.	El sistema de bombeo es costoso por sus equipos.
	Logo-Siemens	Variabilidad de configuración de funcionamiento.	Requiere programación interna del proceso de funcionamiento.
	Motor eléctrico trifásico	Alta eficiencia energética.	Se requiere línea trifásica para la implementación de estos motores.
	Reductor de velocidad ortogonal	Se ajusta a sistemas en los que la carga requiere mayor esfuerzo. Montaje en espacios limitados.	Peso y tamaño relativamente mayores a otras configuraciones de reductores de velocidad.
	Cadena-piñones	Excelente transmisión de potencia.	Existencia de ruido y vibraciones durante el funcionamiento.
	Cepillos industriales de Nylon	No dañan el bidón de aluminio durante el lavado.	Requiere cambio de filamentos en los cepillos.
<b>Alternativa 2</b>	Sistema de bombeo	El suministro de agua hacia la máquina de lavado es instantáneo.	El sistema de bombeo es costoso por sus equipos.

	Interruptor impermeable	No requiere programación interna para el funcionamiento.	No se puede configurar un tiempo predeterminado de funcionamiento.
	Motor eléctrico trifásico	Alta eficiencia energética.	Se requiere línea trifásica para la implementación de estos motores.
	Banda-poleas	Funcionamiento suave, no presenta choques ni ruido.	Menor vida útil de correas debido a deslizamientos.
	Cepillos industriales de Nylon	No dañan el bidón de aluminio durante el lavado.	Requiere cambio de filamentos en los cepillos.
<b>Alternativa 3</b>	Grifo de agua	No requiere equipos externos, lo cual reduce considerablemente el costo de la máquina.	Proceso lento de suministro de agua hacia la máquina.
	Tablero eléctrico	Permiten un control preciso de las operaciones de la máquina, lo que facilita la programación de ciclos de lavado específicos	Costo considerable de instalación de tablero eléctrico y programación de sistema de control.
	Motor eléctrico monofásico	Apropiado para sistemas mecánicos de bajas potencias y sectores carentes de línea trifásica.	Mayor dificultad de arranque.
	Reductor de velocidad ortogonal	Se ajusta a sistemas en los que la carga requiere mayor esfuerzo. Montaje en espacios limitados.	Peso y tamaño relativamente mayores a otras configuraciones de reductores de velocidad.
	Cadena-piñones	Excelente transmisión de potencia.	Existencia de ruido y vibraciones durante el funcionamiento.
	Cepillos industriales de Nylon	No dañan el bidón de aluminio durante el lavado.	Requiere cambio de filamentos en los cepillos.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.2.3. Métodos de evaluación de soluciones

Se utilizarán las alternativas existentes dentro de un proceso de evaluación considerando los parámetros con mayor incidencia de la voz del ingeniero. Este proceso de evaluación se realiza a través del método ordinal de criterios ponderados.

### 3.2.3.1. Método ordinal corregido de criterios ponderados

Para el método ordinal corregido se utilizan dos elementos los cuales son: “alternativas y criterios”. Es un método de evaluación que utiliza indicativos numéricos en confrontación de criterios.

- 1 El criterio de la fila es más importante que el de la columna
- 0,5 El criterio de la fila tiene la misma importancia que el de la columna
- 0 El criterio de la fila es menos importante que el de la columna

Los criterios que se utilizan para la valoración de alternativas son determinadas en la voz del ingeniero. Entre los criterios con mayor relevancia se tiene:

- Peso del equipo
- Costo
- Componentes
- Relación de transmisión
- Velocidad de lavado

El orden de importancia de los criterios anteriores es:

Componentes > Relación de transmisión > Costo > Velocidad de lavado > Peso del equipo

La valoración entre las alternativas se indica en la Tabla 3-17, que se muestra a continuación.

**Tabla 3-17:** Evaluación del peso específico de cada criterio.

Criterio	Peso del equipo	Costo	Componentes	Relación de transmisión	Velocidad de lavado	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Peso del equipo</b>	1	0	0	0	0	1	0,067
<b>Costo</b>	1	1	0	0	0,5	2,5	0,167
<b>Componentes</b>	1	1	1	1	1	5	0,333
<b>Relación de transmisión</b>	1	1	0	1	1	4	0,267
<b>Velocidad de lavado</b>	1	0,5	0	0	1	2,5	0,167
					Suma	15	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



Se evalúan los pesos específicos para cada criterio de valoración considerando el grado de significación de la alternativa.

En la Tabla 3-18 la evaluación del Peso específico del criterio “Peso del equipo”

Grado de significación: Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2

**Tabla 3-18:** Evaluación de alternativas respecto al criterio Peso del equipo.

Peso del equipo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,250
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

En la Tabla 3-19 la evaluación del Peso específico del criterio “Costo”

Grado de significación: Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1

**Tabla 3-19:** Evaluación de alternativas respecto al criterio Costo.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma+1	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,167
Alternativa 2	1		0	2	0,333
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

En la Tabla 3-20 la evaluación del Peso específico del criterio “Componentes”

Grado de significación: Alternativa 3 > Alternativa 1 = Alternativa 2

**Tabla 3-20:** Evaluación de alternativas respecto al criterio Componentes.

Componentes	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma+1	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,250
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,250
Alternativa 3	1	1		3	0,500
			Suma	6	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

En la Tabla 3-21 la evaluación del Peso específico del criterio “Relación de transmisión”

Grado de significación: Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

**Tabla 3-21:** Evaluación de alternativas respecto al criterio Relación de transmisión.

Relación de transmisión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma+1	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,417
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,417
			Suma	6	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

En la Tabla 3-22 la evaluación del Peso específico del criterio “Velocidad de lavado”

Grado de significación: Alternativa 2 > Alternativa 1 = Alternativa 3

**Tabla 3-22:** Evaluación de alternativas respecto al criterio Velocidad de lavado.

Velocidad de lavado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Suma+1	Ponderación
Alternativa 1		0	0,5	1,5	0,250
Alternativa 2	1		1	3	0,500
Alternativa 3	0,5	0		1,5	0,250
			Suma	6	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

El resultado o alternativa de solución para el sistema de lavado automático se determina en la Tabla 3-23, en la que se considera como solución final la alternativa que posee mayor valoración en la columna Sumatoria  $\Sigma$ .

**Tabla 3-23:** Evaluación de alternativas.

Criterio	Peso del equipo	Costo	Componentes	Relación de transmisión	Velocidad de lavado	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1	0,017	0,028	0,083	0,111	0,042	0,281	3
Alternativa 2	0,017	0,056	0,083	0,044	0,083	0,283	2
Alternativa 3	0,033	0,083	0,167	0,111	0,042	0,436	1

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

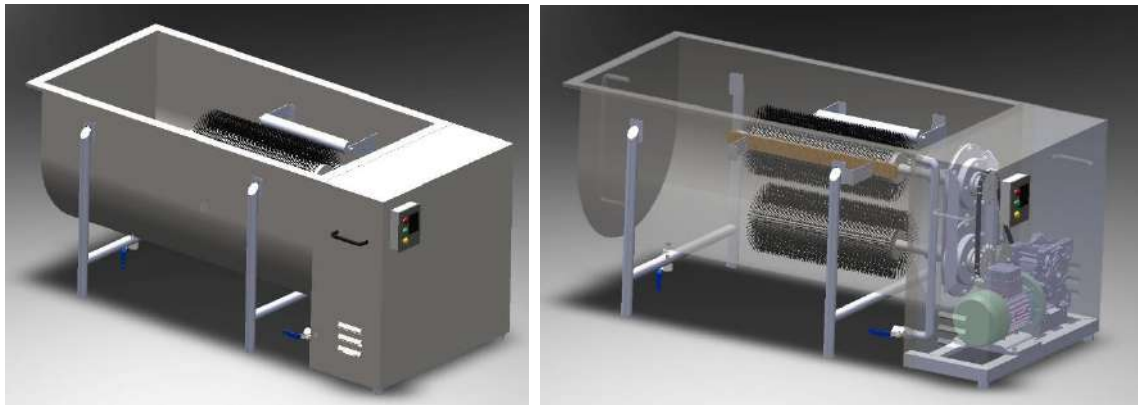
Con el método de los criterios ponderados se tiene como alternativa de solución la “Alternativa 3”. Esta alternativa utiliza la energía eléctrica como fuente energética. Además, se conforma de un motor monofásico, un reductor de velocidad ortogonal, un sistema de transmisión cadena-piñón, cepillos de Nylon, chumacera de banco, válvula esférica de bronce, un tablero eléctrico para el control automático y el suministro directo de agua desde el grifo hasta la máquina de lavado.

### 3.3. Diseño de materialización

Esta fase implica el diseño detallado de cada uno de los elementos que conforma el sistema de lavado, así también todos los cálculos necesarios para su correcto diseño y posteriormente su construcción. Se realiza los planos de la alternativa seleccionada y, además, se determina los métodos de fabricación más apropiados para la máquina. Es importante también una vez diseñado, verificar mediante software ANSYS con la finalidad de seleccionar los componentes más adecuados para el sistema de lavado, ya que es muy importante tomar en cuenta para su posterior construcción e implementación. Todas estas acciones garantizan el cumplimiento de los estándares de calidad del producto creado, así como aseguran que las características de las piezas sean adecuadas para su aplicación, siendo en este caso en la industria alimentaria.

#### 3.3.1. Generación del modelo 3D mediante software CAD

A continuación, se puede visualizar en la ilustración la generación de la alternativa seleccionada anteriormente, así también se generan los planos de construcción, mismas que se encuentran adjuntados en el Anexo M.



**Ilustración 3-4:** Diseño CAD del sistema de lavado.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 3.3.2. Procesos de manufactura

*Mecanizado de los ejes de los cepillos:* El proceso de manufactura inicia con las piezas mecánicas como son los ejes de los cepillos giratorios, este proceso se realiza mediante el mecanizado por torno. Para mecanizarlos, se tiene que tomar en cuenta todas las cargas que deben resistir en el funcionamiento.

*Fabricación de los cepillos:* Los cepillos deben ser de nylon y, además, deben cumplir con las propiedades deseadas, como resistencia al desgaste y flexibilidad. Se debe tomar en cuenta la

longitud de los filamentos, el diámetro del cepillo y el tipo de conexión al eje rotatorio. La base del cepillo se obtiene inyectando plástico en un molde específico. Y posteriormente las cerdas de nylon se insertan en orificios en el núcleo del cepillo y se fijan mediante técnicas de anclaje, siendo la inserción de grapas o el uso de adhesivos especializados para nylon.

*Corte y conformado del metal:* Para la parte estructural de la máquina se utiliza planchas de acero inoxidable 304 de 2 mm de espesor y puede fabricarse utilizando técnicas de corte, conformado, plegado y soldadura.

*Montaje del sistema de lavado:* Las diferentes partes fabricadas se ensamblan para formar la máquina completa. Esto incluye la instalación de los cepillos, motores, sistema de alimentación de agua y otros componentes electrónicos o de control.

### **3.4. Diseño mecánico**

En el siguiente apartado se procede a realizar el diseño de cada uno de los componentes que conforman la máquina de lavado automático de bidones de leche, para ello se realiza los cálculos necesarios con el fin de seleccionar correctamente los elementos. El proceso inicia con la selección de los cepillos industriales, ya con esto, se dimensionan los ejes. Una vez diseñado los ejes se realiza la selección de las chumaceras en donde se requiere.

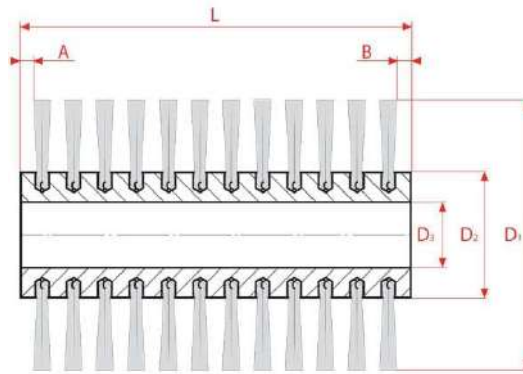
Posteriormente, se realiza el cálculo de los pernos con el fin de que la máquina sea desmontable al momento de hacer cualquier mantenimiento de manera fácil y segura. Finalmente se realiza el cálculo de la potencia que se requiere para seleccionar el motor y con ello realizar el cálculo del sistema de transmisión por cadena.

#### ***3.4.1. Selección de cepillos industriales***

Los cepillos cilíndricos pueden limpiar superficies eliminando polvos o cualquier otro contaminante, usando agua y detergentes según la aplicación. Existen cepillos que son aptos para la industria alimentaria, para su fabricación los cuerpos son de poliamida y otros materiales aptos para el contacto de alimentos. Se utilizan para la limpieza de tanques, contenedores, mesas de trabajo, superficies donde se manipulan alimentos, maquinarias y partes de maquinaria. Las cerdas o fibras más apropiadas para una máquina industrial son de nylon o poliamida ya que cuenta con propiedades resistentes al desgaste y recupera fácilmente la forma. (Cepillo Técnico, 2022)

Como se menciona anteriormente estos cepillos están compuestos por un cuerpo plástico estándar, y con la fibra escogida para la aplicación a realizar, insertada en mechones distribuido en paralelo o en forma helicoidal dependiendo de la aplicación que se le dé al cepillo, los filamentos son fijados al soporte mediante unas grapas metálicas en el fondo de los orificios realizados en la base, estas pueden ser de acero inoxidable si la aplicación lo requiere por trabajar en agua. (Tecocepillo, 2022)

A continuación, en la Ilustración 3-5 se muestra el esquema general de los cepillos seleccionados para el sistema de lavado de bidones de leche.



**Ilustración 3-5:** Esquema de cepillos cilíndricos modulares.

Fuente: (Tecocepillo, 2022)

Donde:

$D_1$	=	Diámetro exterior
$D_2$	=	Diámetro núcleo
$D_3$	=	Diámetro del eje
$D$	=	Diámetro filamentos
$L$	=	Longitud total
$A/B$	=	Distancia entre primer orificio y bordes núcleo.
$L - A - B$	=	Longitud útil del cepillado
PT/PL	=	Disposición de las fibras (a tresbolillo, paralela, helicoidal)
Material de soporte	=	Plástico madera, aluminio, etc.

Para el lavado de bidones, los cepillos son fabricados según las dimensiones de la máquina, para que pueda caber perfectamente y no haya problemas en el proceso, por lo tanto, en la Ilustración 3-6 se muestra los cepillos fabricados para esta aplicación con material base de nylon y sus filamentos son de polipropileno puesto a que son más livianos.



**Ilustración 3-6:** Rodillo cepillo cilíndrico de nylon.

Fuente: (Cepillo Técnico, 2022)

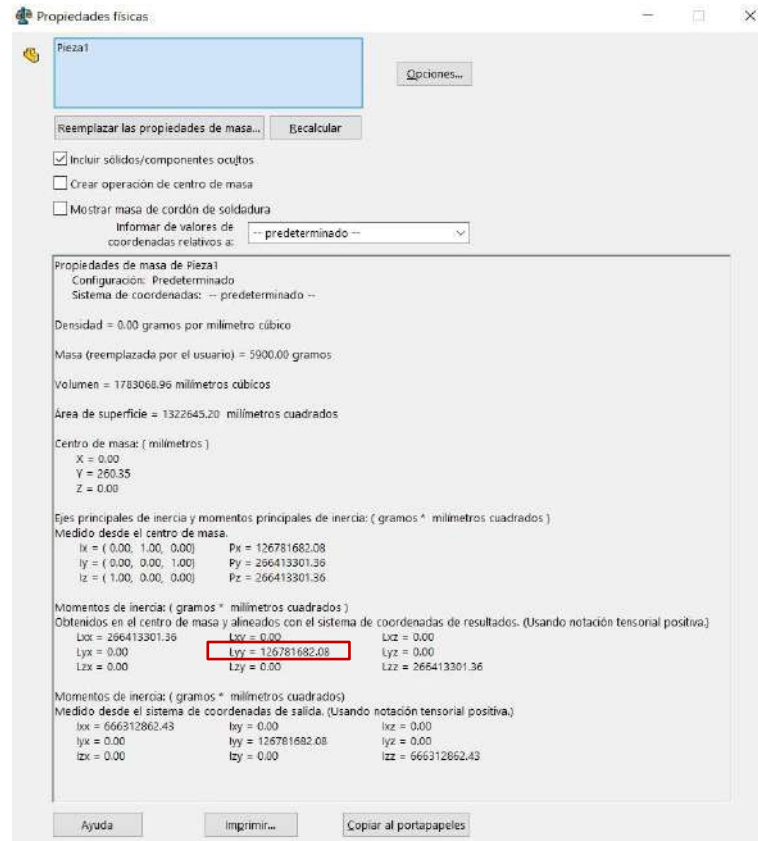
### ***3.4.2. Cálculo de la potencia del motor***

Para calcular la potencia que se requiere para el funcionamiento eficiente de la máquina, primeramente, se realiza un análisis de momentos de inercia de todos los elementos que giran con la ayuda del motor. Para su análisis, los elementos que intervienen en la maquina son los ejes, cepillos, piñones y el recipiente que va a ser lavado, siendo el bidón de leche.

A continuación, se detalla cada uno de estos elementos con su respectivo cálculo de momento de inercia.

#### ***3.4.2.1. Momento de inercia de masa del bidón***

El recipiente de leche es uno de los componentes más importantes, ya que este tiene que girar fácilmente sin ningún esfuerzo manual. Debido a su forma única se hace difícil calcular su momento de inercia, por lo que se procede a calcular sus propiedades físicas usando el software SolidWorks, en el cual se realiza su diseño con las medidas y materiales utilizados en el bidón, con el fin de determinar un valor real. En la Ilustración 3-7 se muestra se muestra las propiedades físicas de este componente.



**Ilustración 3-7:** Propiedades físicas del bidón de leche.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Por lo tanto. La inercia del bidón de leche es:

$$I_{x_{bidón}} = 126781682.08 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{x_{bidón}} = 0.126782 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### 3.4.2.2. Momento de inercia de masa de los ejes de lavado

El sistema de lavado automático de bidones de leche cuenta con dos cepillos rotativos y los ejes que los soportan son de distinta longitud, por lo que se calcula el momento de inercia de cada uno. Los ejes son de acero inoxidable AISI 304 ( $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$ ) y de 1 pulgada de diámetro ( $d = 0.0254 \text{ m}$ ).

La ecuación que se utiliza para este cálculo se muestra a continuación.

$$I_{x_{ejes}} = \frac{\pi \rho l d^4}{32} \tag{1.3}$$

Posteriormente, se calcula el momento de inercia del eje del cepillo superior de la máquina con una longitud de  $l = 0.9$  m. Reemplazando en la ecuación, se tiene:

$$I_{x_{eje\ sup}} = \frac{\pi(8000)(0.9)(0.0254)^4}{32}$$

$$I_{x_{eje\ sup}} = 2.942 * 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Así también, se realiza el cálculo para el eje del cepillo inferior que tiene una longitud de  $l = 1.12$  m. Reemplazando los datos, se tiene:

$$I_{x_{eje\ inf}} = \frac{\pi(8000)(1.12)(0.0254)^4}{32}$$

$$I_{x_{eje\ inf}} = 3.661 * 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

### 3.4.2.3. Momento de inercia de masa de los cepillos de lavado

Como se menciona anteriormente para su funcionamiento se necesita de dos cepillos, uno cilíndrico que es inferior y tendrá la función de lavar externamente, mientras que el cepillo superior es de cabeza esférica, este lavará el bidón en la parte interna, eliminando cada uno de los contaminantes. Los cepillos son de base de nylon industrial 6A ( $\rho = 1140 \text{ kg/m}^3$ ) y sus filamentos de polipropileno. De la misma manera como los ejes, se realiza el cálculo de cada uno de los cepillos considerando su material y sus dimensiones.

Para determinar el momento de inercia de estos componentes se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{x_{cepillos}} = \frac{\pi\rho l(d_e^2 - d_i^2)^2}{32} \quad (2.3)$$

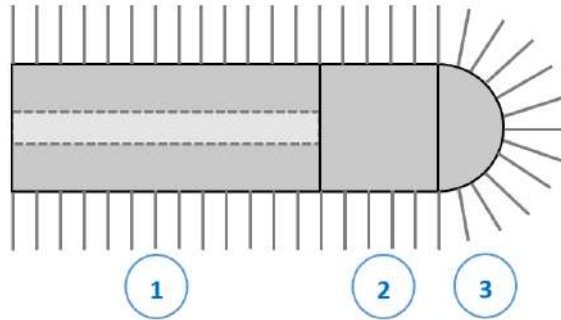
La base del cepillo cilíndrico tiene medidas de 640 mm de longitud, 65 mm de diámetro y espesor de 19.8 mm. Con los filamentos su diámetro aumenta a 200 mm. Con estos datos se reemplaza en la ecuación, teniendo lo siguiente.

$$I_{x_{cepillo\ cilíndrico}} = \frac{\pi(1140)(0.64)(0.2^2 - 0.0254^2)^2}{32}$$

$$I_{x_{cepillo\ cilíndrico}} = 0.111 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Posteriormente, se calcula el momento de inercia del cepillo de cabeza esférica, este cálculo se realiza por partes, como se muestra a continuación en la Ilustración, ya que no es un cepillo uniforme. La base de este cepillo tiene 540 mm de longitud, 70 mm de diámetro y espesor de 22.3 mm. Con los filamentos su diámetro aumenta a 350 mm.



**Ilustración 3-8:** Cepillo de cabeza esférica.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

El momento de inercia de la parte 1 se toma como un cilindro hueco que tiene una longitud de 440 mm, por lo que se tiene lo siguiente.

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 1}} = \frac{\pi(1140)(0.44)(0.35^2 - 0.0254^2)^2}{32}$$

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 1}} = 0.731\ kg \cdot m^2$$

A continuación, la parte 2 del cepillo es un cilindro macizo con una longitud de 65 mm. Por lo que se reemplaza los datos en la ecuación, como se muestra.

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 2}} = \frac{\pi(1140)(0.065)(0.35)^4}{32}$$

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 2}} = 0.109\ kg \cdot m^2$$

La tercera parte es una media esfera, por lo que el momento de inercia se calcula mediante la siguiente ecuación y reemplazando los datos se tiene.

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 3}} = \frac{\pi\rho d^5}{120} \tag{3.3}$$

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 3}} = \frac{\pi(1140)(0.35)^5}{120}$$

$$I_{x_{cepillo\ c.esférica\ 3}} = 0.157\ kg \cdot m^2$$

Por lo tanto, el momento de inercia total del cepillo con cabeza esférica es:

$$\begin{aligned}
 I_{x_{\text{cepillo c.esférica}}} &= I_{x_{\text{cepillo c.esférica 1}}} + I_{x_{\text{cepillo c.esférica 2}}} + I_{x_{\text{cepillo c.esférica 3}}} \\
 I_{x_{\text{cepillo c.esférica}}} &= (0.731 + 0.109 + 0.157) \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \\
 I_{x_{\text{cepillo c.esférica}}} &= 0.997 \text{ kg} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

#### 3.4.2.4. Momento de inercia de masa de los piñones

Finalmente, se calcula el momento de inercia de los piñones, tanto del que se conecta al motor como los que van en los ejes. Estos son de acero inoxidable forjado ( $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$ ) y de 55 mm y 71 mm de diámetro exterior respectivamente. Se utiliza la siguiente ecuación. Los piñones tienen una longitud de 22 mm y un diámetro interior de 1 pulgada (25.4 mm).

$$I_{x_{\text{piñones}}} = \frac{\pi \rho l (d_e^2 - d_i^2)^2}{32} \tag{5.3}$$

Reemplazando los datos se tiene el momento de inercia del piñón motriz.

$$\begin{aligned}
 I_{x_{\text{piñón motor}}} &= \frac{\pi(8000)(0.022)(0.055^2 - 0.0254^2)^2}{32} \\
 I_{x_{\text{piñón motor}}} &= 9.786 * 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

A continuación, se muestra el cálculo del momento de inercia de los piñones conectados a los ejes.

$$\begin{aligned}
 I_{x_{\text{piñón ejes}}} &= 2 \left[ \frac{\pi(8000)(0.022)(0.071^2 - 0.0254^2)^2}{32} \right] \\
 I_{x_{\text{piñón ejes}}} &= 6.678 * 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2
 \end{aligned}$$

Ahora bien, para calcular la inercia total del sistema se suma todas las calculadas considerando, los piñones, ejes, cepillos y el bidón que va a ser lavado. Por lo tanto, el momento de inercia de masa se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned}
 I_T &= I_{x_{\text{bidón}}} + I_{x_{\text{eje sup}}} + I_{x_{\text{eje inf}}} + I_{x_{\text{cepillo cilíndrico}}} + I_{x_{\text{cepillo c.esférica}}} + I_{x_{\text{piñón motor}}} \\
 &\quad + I_{x_{\text{piñón ejes}}}
 \end{aligned}$$

$$I_T = (0.127 + 2.942 * 10^{-4} + 3.661 * 10^{-4} + 0.111 + 0.997 + 9.786 * 10^{-5} + 6.678 * 10^{-4}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_T = 1.236 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2]$$

Conociendo que la velocidad a la que va a girar los cepillos se encuentra en un rango de 80 a 90 rpm en máquinas similares a la nuestra que se ofrecen en el mercado, se procede a calcular la aceleración angular mediante la siguiente ecuación.

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (6.3)$$

Donde:

$\omega$  = velocidad angular

t = tiempo de estabilización del sistema (1 seg)

Reemplazando los datos, se tiene la aceleración angular.

$$\alpha = \frac{90 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}}}{1 \text{ seg}}$$

$$\alpha = 9.425 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

Una vez calculada el momento de inercia y la aceleración angular, se procede a determinar el torque que la maquina necesita para realizar el proceso de lavado.

$$\tau = I_T * \alpha \quad (7.3)$$

$$\tau = 1.236 * 9.425$$

$$\tau = 11.649 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Posteriormente, se calcula la potencia de trabajo de la maquina utilizando la siguiente ecuación.

$$P = \tau * \omega \quad (8.3)$$

$$P = 11.649 * 9.425$$

$$P = 109.792 \text{ [W]}$$

$$P = 109.792 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ W}}$$

$$P = 0.147 \text{ [HP]}$$

Ahora bien, la potencia total que se requiere  $P_{TL}$  se determina con la ecuación, es importante mencionar que existe un factor de servicio  $[n_s]$  ya que se pierde un porcentaje de la potencia por la fricción que existe entre los elementos, dicho porcentaje es aproximadamente del 40%, por lo tanto, el factor será de 4.

$$\begin{aligned}
 P_{TL} &= P * n_s & (9.3) \\
 P_{TL} &= 0.197 * 4 \\
 P_{TL} &= 0.788 [HP]
 \end{aligned}$$

Considerando que en el mercado no existe motores de 0.788 hp, se procede a seleccionar un motor de la marca WEG monofásico de 1 hp con 1730 rpm, el cual va a requerir de un reductor de velocidad que tiene una relación de reducción de 15. Para calcular la velocidad de salida del reductor se utiliza la ecuación.

$$\begin{aligned}
 n_{reductor} &= \frac{n_{motor}}{i} & (10.3) \\
 n_{reductor} &= \frac{1730}{15} \\
 n &= 115.333 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Con este cálculo, se puede tomar una velocidad nominal de 110 rpm a la salida del reductor. La velocidad que requieren los cepillos es de 80 rpm y para ello, la mejor opción es un sistema de transmisión de potencia por medio de piñón – cadena, dicho análisis se realiza posteriormente.

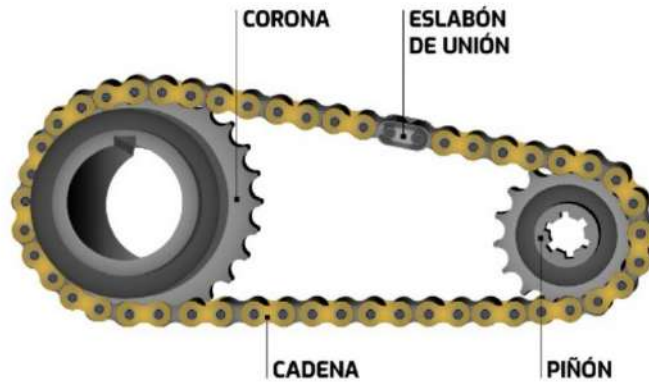
### **3.4.3. Cálculo del sistema de transmisión piñón – cadena**

En la maquina lavadora de bidones de leche se utiliza un sistema de transmisión de potencia mediante piñón – cadena, una de las características básicas e importantes de este sistema es que existe una relación constante ya que no existe deslizamiento ni arrastre, cuenta con una larga vida útil y gran capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente, en este caso, se quiere hacer girar dos cepillos de nylon a la misma velocidad para que lave el recipiente eficientemente. (Flores, 2018)

La cadena está formada por una serie de eslabones unidos con pernos, permitiendo así, tener flexibilidad y una transmisión de grandes fuerzas de tensión. Existen varios tipos de cadenas, pero el que se usará en esta aplicación es la cadena de rodillos, la cual permite tener una fricción muy baja con las catarinas. La cadena entra en las ruedas dentadas, mismas que son elegidas una vez

se tenga el número de cadena a utilizar, ya que como se conectan de manera directa deben cumplir con las medidas para que la cadena se engrane bien con los piñones y genere una transmisión adecuada. (Mott, 2006)

En la Ilustración 3-9 se muestra una transmisión típica de cadena – piñón.



**Ilustración 3-9:** Transmisión de cadena de rodillos.

Fuente: (Bernardi, 2020)

#### 3.4.3.1. Selección de cadena y ruedas dentadas

Como se menciona anteriormente, se requiere que los cepillos giren a una velocidad de 80 rpm. Para cumplir este requerimiento es importante elegir de manera correcta tanto la cadena como los piñones y para ello, se toma la información presentada en el libro de Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley y también se usa el catálogo Tsubaki “Cadenas de transmisión y piñones”.

El primer paso para la selección de cadenas es determinar el factor de servicio que se muestra en la Tabla 3-24, para un motor eléctrico usado en máquinas de carga constante se tiene un factor de  $c_1 = 1$ .

**Tabla 3-24:** Factor de servicio  $c_1$ .

Factor de servicio $C_1$ para cadenas	Motores de funcionamiento suave	Motores de funcionamiento medio impulsivo	Motores de funcionamiento impulsivo
	Motores eléctricos	Motores de combustión multi cilíndricos	Motores de combustión mono cilíndricos

Máquinas de carga constante			
Agitadores y mezcladores de líquidos y semilíquidos, alternadores y generadores, sopladores, extractores y ventiladores (centrífugos y de tamaño mediano), compresores centrífugos, elevadores y transportadores con carga uniforme, maquinaria de industria de alimentos, bombas centrífugas, máquinas de imprentas.	1	1,25	1,5
Máquinas de carga no constante			
Agitadores y mezcladores de soluciones solido-líquido. Sopladores, extractores y ventiladores de gran tamaño. Mezcladoras de cemento. Compresores de más de 3 cilindros. Grúas, transportes y elevadores con carga no uniforme. Bombas de dragado, máquinas de lavandería, maquinas, herramientas, molinos.	1,25	1,5	1,75
Máquinas de funcionamiento disperejo			
Alternadores y generadores de soldadoras. Compresores de uno o dos cilindros. Excavadoras, trituradoras, alimentadores vibratorios, sierras circulares y lineales, molinos de martillos y de mandíbula, maquinaria minera.	1,75	2	2,25

Fuente: (Tsubakimoto Chain Co, 2020)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Con este factor de servicio, se procede a calcular la potencia de diseño, considerando la potencia antes calculada para el motor eléctrico que es de 1 HP. Por lo tanto, se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_d = P * C_1 \quad (11.3)$$

$$P_d = 1(1)$$

$$P_d = 1 [HP]$$

Con este dato y las revoluciones de salida del motorreductor que es de 110 rpm se procede a buscar el número de cadena adecuado para la aplicación, usando la tabla que brinda el catálogo, el cual está ubicado en el Anexo A.

Por lo tanto, la cadena seleccionada que cumple con las características que se requiere es RS40 – 1 que cuenta con una hilera y un paso de ½ in [12.7 mm]. En el Anexo B se encuentran las dimensiones de la cadena número 40.

Posteriormente se debe elegir las catarinas para que se engranen correctamente con la cadena, el piñón motriz también es seleccionado mediante catálogo teniendo en cuenta la potencia de diseño y las revoluciones de 110 rpm. Se lo puede visualizar en el Anexo B.

Como en el catálogo no existe revoluciones de 110 rpm, se debe realizar una interpolación con el fin de elegir los números de dientes correctos para el piñón motriz, tal como se muestra en la Tabla 3-25.

**Tabla 3-25:** Interpolación de potencia para 12 dientes en piñón motriz.

100 rpm	0.71 KW
110 rpm	<b>0.771 KW</b>
200 rpm	1.32 KW

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Se logra la realización plena de la potencia de diseño, por lo tanto, el piñón motriz tiene  $N_1 = 12$  dientes, para una capacidad de 0.771 KW [1.0339 HP] a 110 rpm. Cabe recalcar que el catálogo nos brinda también el tipo de Lubricación, siendo este, el Tipo A [Lubricación manual]. Para el cálculo del número de dientes de la catarina impulsada se tiene la siguiente ecuación.

$$N_2 = i * N_1 \quad (12.3)$$

Para ello, se determina la relación de transmisión  $i$ , como se muestra.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{110}{80} = 1.375$$

Reemplazando datos, se tiene el número de dientes del segundo piñón.

$$N_2 = 1.375(12) = 16 \text{ dientes}$$

Con los valores ya calculados, es importante determinar la velocidad de salida esperada.

$$n_2 = n_1 * \frac{N_1}{N_2} \quad (13.3)$$

$$n_2 = 110 * \frac{12}{16} = 82.5 \text{ rpm}$$

Por lo tanto, los piñones seleccionados son correctos ya que cumplen con la revolución de salida que debe estar entre 80 y 90 rpm.

Posteriormente, se procede a calcular los diámetros de los piñones mediante las siguientes ecuaciones considerando un paso de  $\frac{1}{2}$  in [12.70 mm].

- Diámetro del piñón

$$d = \frac{p}{\text{Sen}\left(\frac{180}{N_1}\right)} \quad (14.3)$$

$$d = \frac{12.7}{\text{Sen}\left(\frac{180}{12}\right)}$$

$$d = 54.402 \text{ mm}$$

- Diámetro de la corona

$$D = \frac{p}{\text{Sen}\left(\frac{180}{N_2}\right)} \quad (15.3)$$

$$D = \frac{12.7}{\text{Sen}\left(\frac{180}{16}\right)}$$

$$D = 72.243 \text{ mm}$$

Una vez obtenidos los valores del diámetro en los cálculos y los números de dientes de la catarina conductora y conducida, se procede a elegir las catarinas adecuadas para la cadena, se muestra en el Anexo C.



**Ilustración 3-10:** Conjunto de piñones normalizados adquiridos

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



### 3.4.3.2. Cálculo de la longitud de la cadena

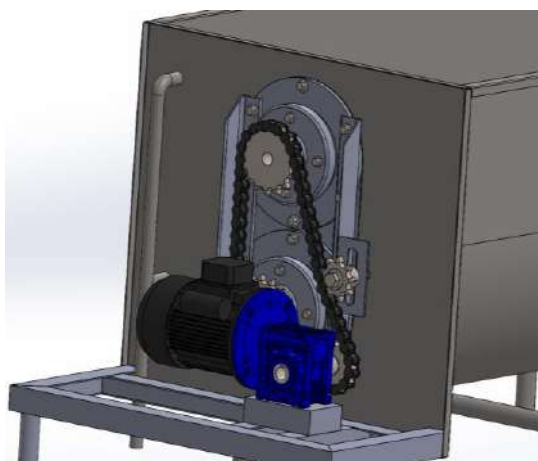
Para el cálculo de la longitud de la cadena existe una ecuación que ayuda a determinar la longitud total que se necesita para el sistema de transmisión. Sin embargo, al tratarse de una configuración especial para este sistema de lavado como se muestra en la Ilustración 3-11 se tiene una longitud aproximada tomada del diseño realizado en SolidWorks.



**Ilustración 3-11:** Configuración del sistema de transmisión de la máquina.

**Fuente:** (SS Engineers & Consultants, 2013)

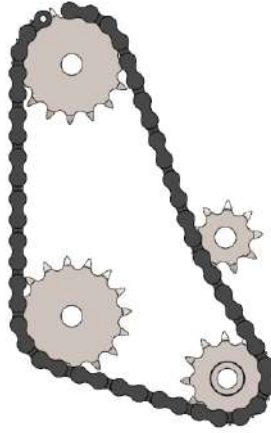
Para ello, se realizaron simulaciones del sistema de transmisión a través del software SolidWorks, estableciendo relaciones de posición entre la cadena y piñones en donde se encontró un paso de 25,4 mm para la cadena de numeración 40B.



**Ilustración 3-12:** Sistema de transmisión de potencia de la máquina.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

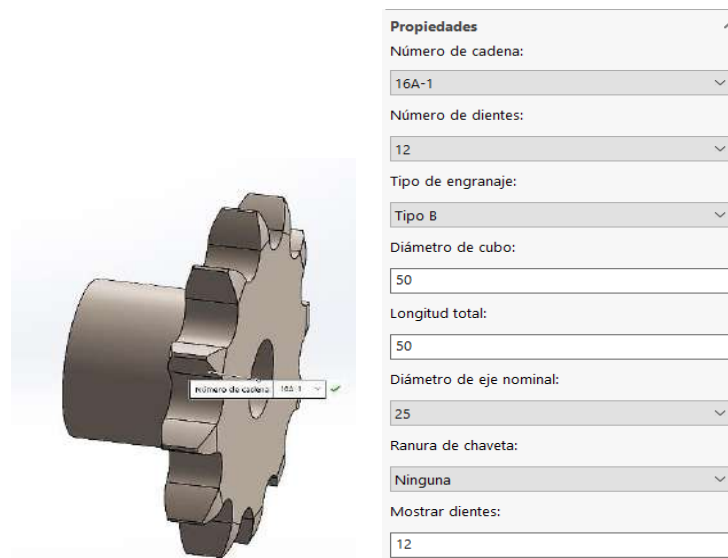
Para la reducción de velocidad se utilizó un reductor de velocidad con 110 rpm a la salida, sin embargo, la velocidad óptima en los ejes para el lavado de bidones es de 80 rpm. Para conseguir esta reducción es necesario desarrollar cálculos de diseño mecánico en el que se obtienen dimensiones y características para los piñones, tal como se detalla anteriormente.



**Ilustración 3-13:** Sistema de transmisión cadena - piñón.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Para el piñón conductor se obtiene un número de dientes de 12 y un diámetro nominal de 55 mm (Ilustración 3-14). Como se puede visualizar anteriormente el sistema cuenta con 2 piñones conducidos, los cepillos deben girar a la misma velocidad por lo que la relación de transmisión es de 1. Por lo tanto, el segundo piñón es de diámetro de 71 mm con 16 dientes (Ilustración 3-15).



**Ilustración 3-14:** Propiedades del piñón conductor de SolidWorks.

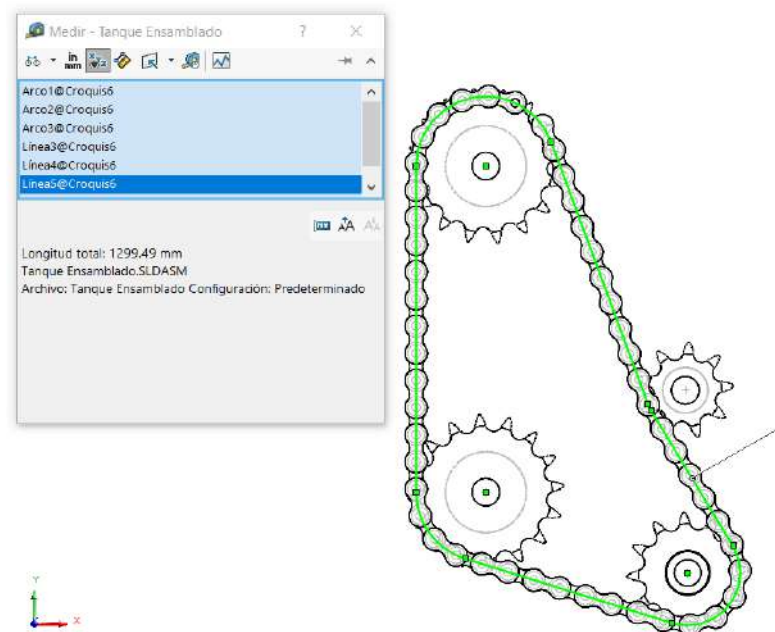
**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 3-15:** Propiedades del piñón conducido de SolidWorks.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Con la ubicación de los piñones se establece la trayectoria o ruta para la cadena, la cual utiliza como referencia los diámetros de paso y un plano medio entre las caras del piñón. La longitud se puede medir utilizando el croquis de la trayectoria. Esta longitud es de 1300 mm. Esto se puede visualizar en la Ilustración3-16.



**Ilustración 3-16:** Cálculo de la longitud de la cadena.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Ahora bien, es importante encontrar la fuerza que va a ejercer la cadena de rodillos en el eje, para ello, inicialmente, se calcula la velocidad lineal de la cadena con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{[Z][p][n]}{1000} \quad (16.3)$$

Donde:

$v$  = velocidad [m/s]

$Z$  = número de dientes del piñón

$p$  = paso de la cadena [mm]

$n$  = revoluciones por minuto de la catarina [rpm]

Para su cálculo se usa los datos de la catarina conductora, como se muestra.

$$v = \frac{[12][12.7 \text{ mm}][110 \text{ rpm}]}{1000}$$

$$v = 16.764 \text{ m/s}$$

Se tiene una velocidad de 16.76 m/s siendo un valor inferior al que se tiene en la Tabla 3-26 que indica las velocidades máximas en cadenas.

**Tabla 3-26:** Velocidades máximas de cadenas.

Velocidades máximas de las cadenas		
Paso [mm]	Velocidad de rotación [rpm]	Velocidad lineal [m/s]
9.525	10000	30
12.7	7000	28
15.875	5000	24
19.05	4000	24
25.4	2500	18
31.75	1600	16
38.1	1300	16
44.45	1000	14
50.8	700	11
63.5	500	10
76.2	400	9.5

Fuente: (Rodríguez, 2020)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Posteriormente, se calcula el esfuerzo útil  $[F_u]$  generado por la cadena, donde  $[P]$  representa la potencia transmitida y  $[v]$  es la velocidad lineal calculada previamente.

$$F_u = \frac{P}{v} \quad (17.3)$$

$$F_u = \frac{746 \text{ W}}{16.764 \text{ m/s}}$$

$$F_u = 44.5 \text{ N}$$

Otro parámetro que interviene en el esfuerzo de la cadena es la fuerza centrífuga  $[F_c]$  que se determina con la siguiente expresión. Donde  $M$  es la masa unitaria de la cadena  $[\text{kg/m}]$ .

$$F_c = M * v^2 \quad (18.3)$$

Del Anexo B se extrae los valores de masa y fuerza de rotura de la cadena seleccionada.

Masa aproximada  $[M] = 0.64 \text{ Kg/m}$

Fuerza de tensión  $[R] = 15.2 \text{ KN}$

Con estos datos se reemplaza en la expresión anterior, teniendo:

$$F_c = [0.64][16.764]^2$$

$$F_c = 179.86 \text{ N}$$

Posteriormente, se procede a calcular el esfuerzo total que soporta la cadena, este dato se utilizará posteriormente para el cálculo del eje que soporta a los cepillos de lavado.

$$F = F_u + F_c \quad (19.3)$$

$$F = [44.5 + 179.86] \text{ N}$$

$$F = 224.36 \text{ N}$$

#### **3.4.4. Cálculo de los ejes de los cepillos**

Para el análisis de los ejes de lavado es importante encontrar la fuerza de fricción que se ejerce sobre los cepillos y el bidón de leche. En la Ilustración 3-11 se muestra la disposición del recipiente con respecto a los cepillos.

$$\sum F_y = 0$$

$$-W_B + N = 0$$

$$N = 5.9 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$N = 57.879 \text{ N}$$

Ahora bien, para calcular la fuerza de fricción se tiene un coeficiente de fricción entre el aluminio [material del bidón] y el nylon, que según (Calahorrano, y Quinga, 2015) es de  $\mu = 0.3$ . Por lo tanto, esta fuerza se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} f_r &= \mu \cdot N & (20.3) \\ f_r &= 0.3 [57.879 \text{ N}] \\ f_r &= 17.364 \text{ N} \end{aligned}$$

Indica la fuerza de fricción interna y externa del bidón con los cepillos. Posteriormente, se determina el torque que generan estas fuerzas en los ejes 1 y 2 respectivamente.

$$\begin{aligned} T_{f_r} &= f_r \cdot r & (21.3) \\ T_{f_{r_1}} &= 17.364 \text{ N} [0.065 \text{ m}] \\ T_{f_{r_1}} &= 1.129 \text{ N} \cdot \text{m} \\ T_{f_2} &= 17.364 \text{ N} [0.07 \text{ m}] \\ T_{f_2} &= 1.215 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

#### 3.4.4.1. Análisis del eje de lavado 1

Ahora bien, para determinar el diámetro del primer eje se toma el cepillo cilíndrico, para ello es importante conocer el peso del cepillo de nylon, del bidón y de la rueda dentada.

$$\begin{aligned} m_{\text{piñón}} &= 0.37 \text{ kg} \rightarrow W_{\text{piñón}} = 0.37 \text{ kg} [9.81 \text{ m/s}^2] = 3.6297 \text{ N} \\ m_{\text{cepillo}} &= 2.268 \text{ kg} \rightarrow W_{\text{cepillo}} = 2.268 \text{ kg} [9.81 \text{ m/s}^2] = 22.249 \text{ N} \\ m_{\text{bidón}} &= 5.9 \text{ kg} \rightarrow W_{\text{bidón}} = 5.9 \text{ kg} [9.81 \text{ m/s}^2] = 57.879 \text{ N} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la fuerza total aplicada en el eje es el peso del cepillo más del bidón, así como se muestra.

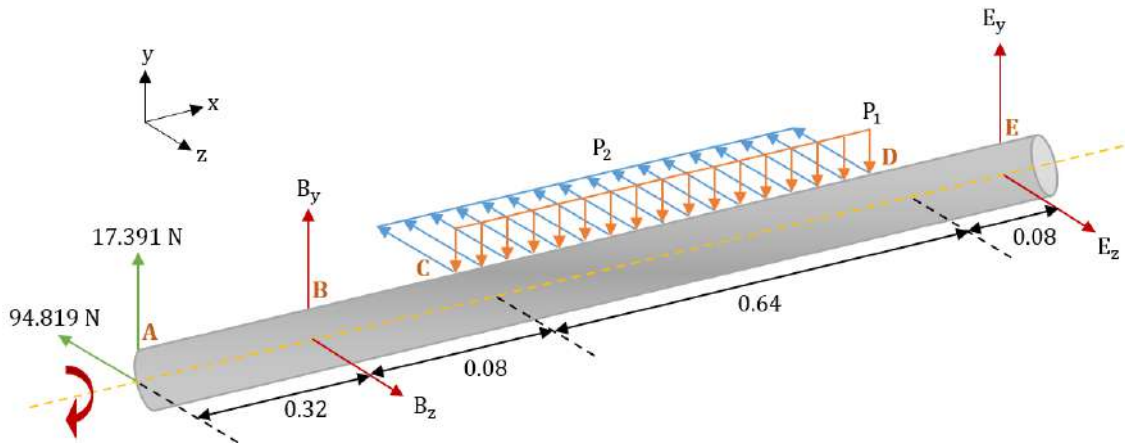
$$\begin{aligned} P &= W_{\text{cepillo}} + W_{\text{bidón}} & (22.3) \\ P &= [22.249 + 57.879] \text{ N} \\ P &= 80.128 \text{ N} \end{aligned}$$

Esta fuerza se distribuye en una longitud de 0.64 m del eje, así también, la fuerza de fricción se genera en todo el cepillo. Por lo tanto, estas fuerzas distribuidas son las siguientes:

$$P_1 = \frac{80.128 \text{ N}}{0.64 \text{ m}} = 125.2 \text{ N/m}$$

$$P_2 = \frac{17.364 \text{ N}}{0.64 \text{ m}} = 27.131 \text{ N/m}$$

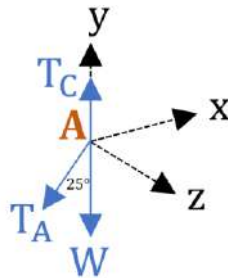
En la Ilustración 3-17 se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje del cepillo cilíndrico con todas las fuerzas aplicadas en el mismo.



**Ilustración 3-17:** Diagrama de cuerpo libre del eje 1.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Para llegar a las fuerzas que se ubican en el punto A se realiza un análisis previo, tal como se muestra. Donde  $T_C = T_A = 224.36 \text{ N}$  [fuerza que soporta la cadena].



**Ilustración 3-18:** Análisis de fuerzas en el punto A.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

$$\sum F_y = F_y$$

$$T_C - W - T_A \cdot \cos(25) = F_y$$

$$224.36 - 3.63 - 224.36 \cos(25) = F_y$$

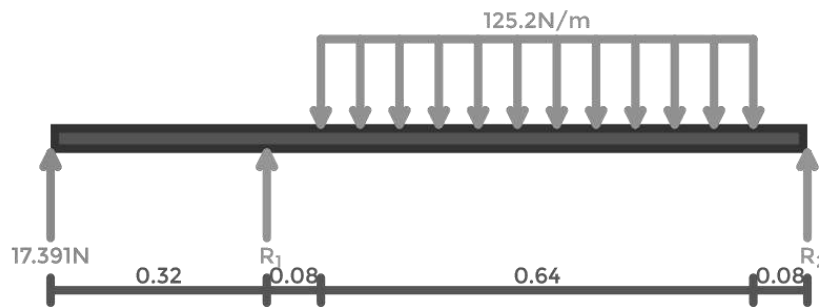
$$F_y = 17.391 \text{ N}$$

$$F_z = -T_A \cdot \sin(25)$$

$$F_z = -94.819 \text{ N}$$

Ahora bien, se procede a hacer un análisis en cada plano, con el fin de encontrar las reacciones en los apoyos, y los diagramas cortantes y momento flector ya que con esto se tiene el punto más crítico del eje para una determinación de diámetro correcto.

Se parte del plano x – y en el cual se ubica la fuerza  $F_y$  en el punto A y la fuerza distribuida de los cepillos y el bidón. Se muestra la Ilustración 3-19 y se realiza el cálculo de las reacciones en los apoyos que soportan el eje.



**Ilustración 3-19:** Diagrama de cuerpo libre en el plano x-y

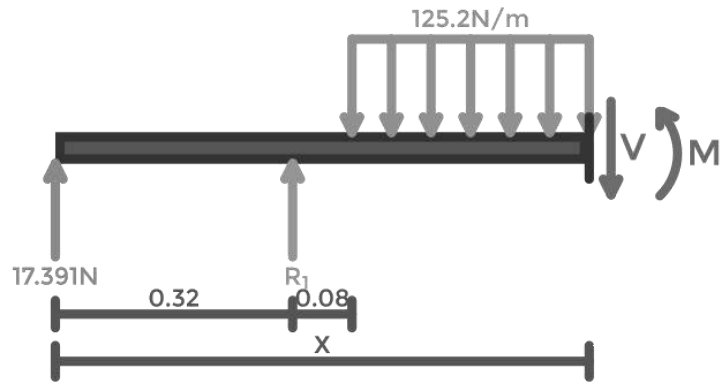
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

$$\begin{aligned} \sum M_E &= 0 \\ -17.391[1.12] - B_y[0.8] + 125.2[0.64][0.4] &= 0 \\ B_y &= 15.717 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \uparrow + \\ 17.391 + B_y - 125.2[0.64] + E_y &= 0 \\ E_y &= 47.02 \text{ N} \end{aligned}$$

A continuación, en la Ilustración 3-20 se muestra el análisis de cortante para la fuerza distribuida.





**Ilustración 3-20:** Análisis de cortante en la sección 3.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

$$\sum F_V = 0 \uparrow +$$

$$-V + 17.391 + 15.717 - 125.2[x - 0.4] = 0$$

Cuando  $V = 0$ ;  $x = 0.664$  m

$$\sum M = 0$$

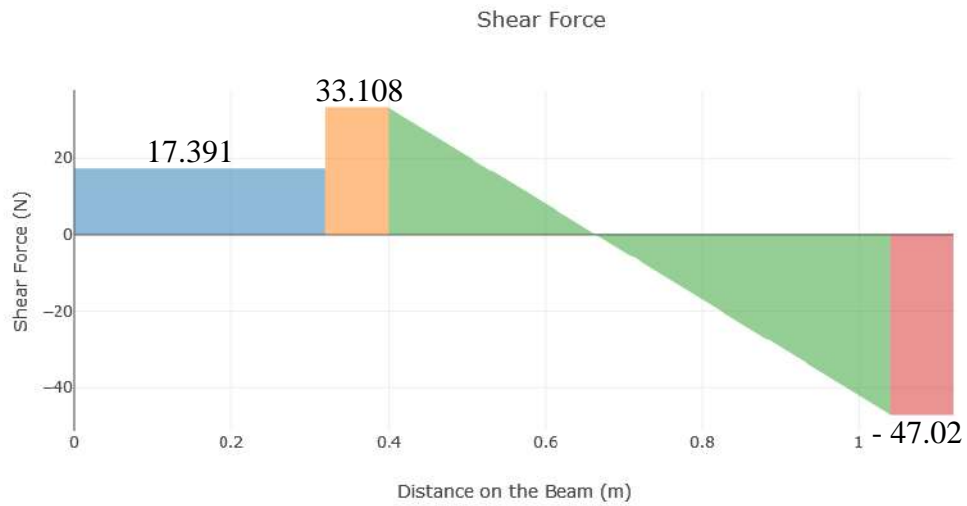
$$M - 17.391[x] - 15.717[x - 0.32] + 125.2[x - 0.4] \left[ \frac{x - 0.4}{2} \right] = 0$$

Reemplazando x, se tiene:

$$M - 17.391[0.664] - 15.717[0.664 - 0.32] + 125.2[0.664 - 0.4] \left[ \frac{0.664 - 0.4}{2} \right] = 0$$

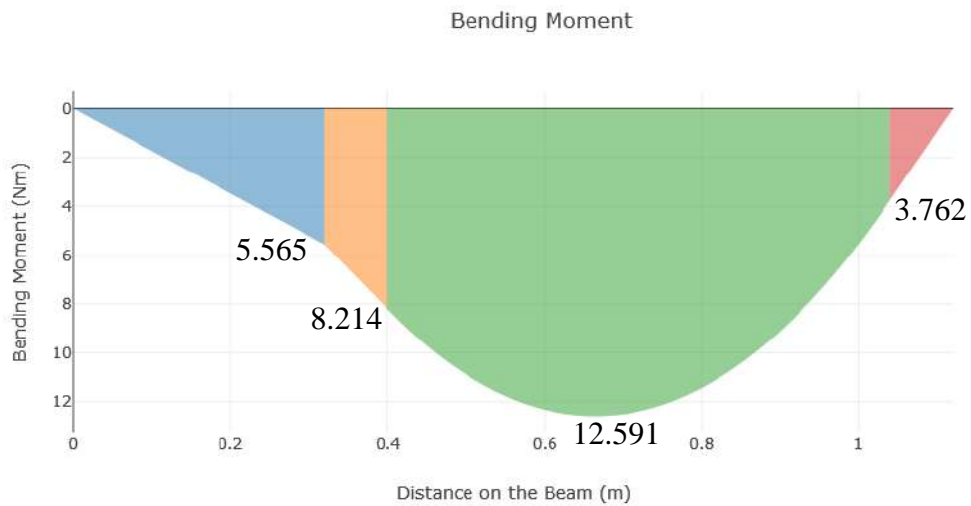
$$M = 12.591 \text{ N}$$

Ahora bien, teniendo estos datos, se tiene los diagramas de cortante (Ilustración 3-21) y momento flector (Ilustración 3-22).



**Ilustración 3-21:** Diagrama cortante en el plano x-y.

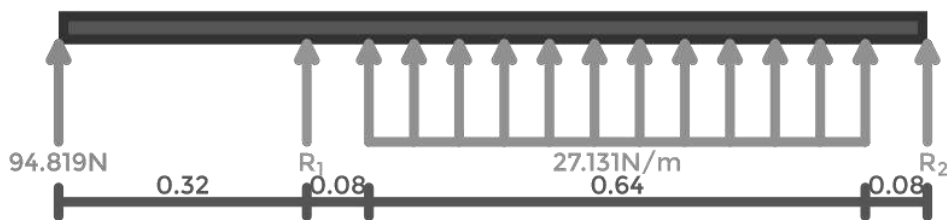
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 3-22:** Diagrama de momento flector en el plano x-y.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

El siguiente plano por analizar es el plano  $x - z$ . Se ubica la fuerza  $F_z$  en el punto A y la fuerza distribuida que corresponde a la fuerza de fricción existente entre el cepillo y el bidón. En la Ilustración 3-23 se muestra el diagrama de cuerpo libre y posteriormente se determina las reacciones en los apoyos.



**Ilustración 3-23:** Diagrama de cuerpo libre en el plano x-z.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

$$\sum M_E = 0$$

$$-17.391[1.12] - B_y[0.8] + 125.2[0.64][0.4] = 0$$

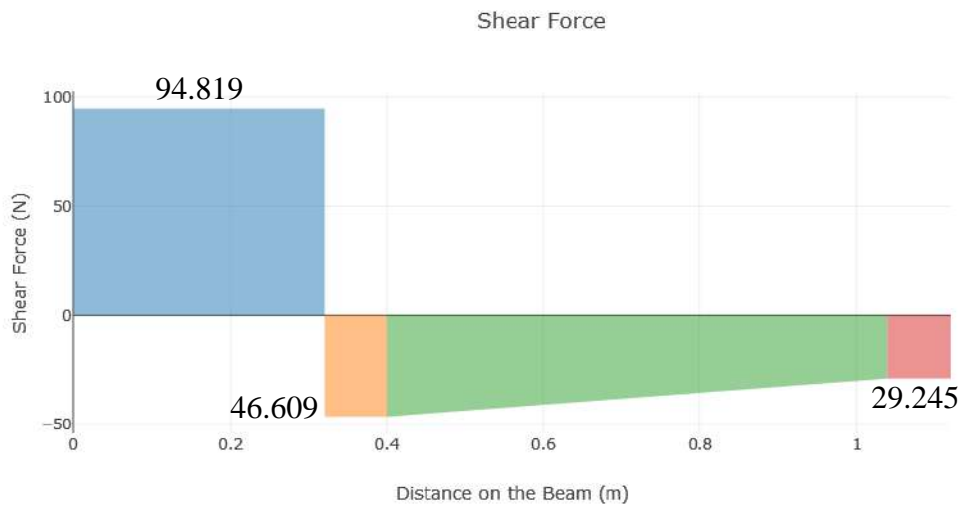
$$B_y = 15.717 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \uparrow +$$

$$17.391 + B_y - 125.2[0.64] + E_y = 0$$

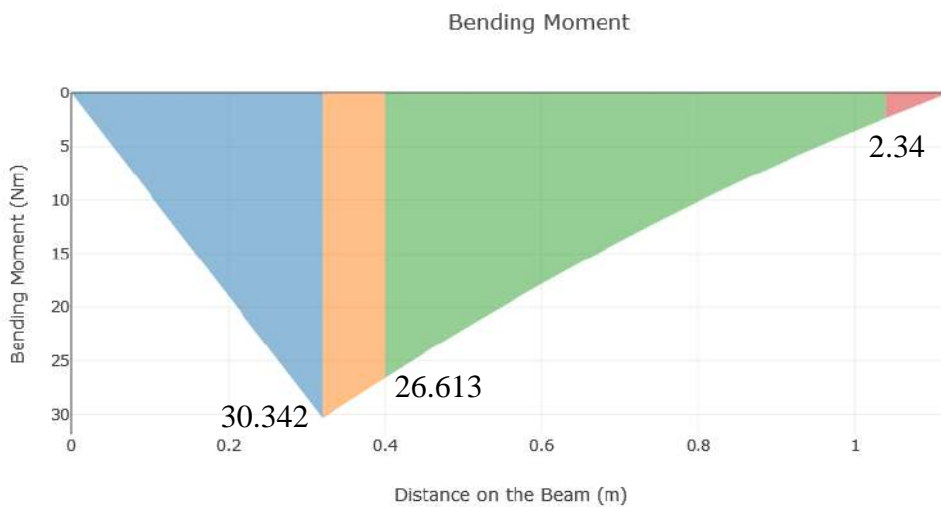
$$E_y = 47.02 \text{ N}$$

A continuación, se generan los diagramas de cortante (Ilustración 3-24) y momento flector (Ilustración 3-25) del plano x – z.



**Ilustración 3-24:** Diagrama cortante en el plano x—z.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 3-25:** Diagrama de momento flector en el plano x-z.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Es importante obtener los diagramas de cortante y momento flector ya que nos ayudan a determinar el punto más crítico en el eje. Y como se puede visualizar en el punto B el momento flector es alto, esto indica que existe una concentración del esfuerzo en ese punto. Al analizar ambos planos se tiene un momento flector resultante, mismo que se utiliza en las ecuaciones de cálculo para el diámetro del eje de lavado.

$$M_B = \sqrt{30.342^2 + 5.565^2}$$

$$M_B = 30.484 \text{ N}\cdot\text{m}$$

A continuación, se muestra el siguiente proceso. La potencia del motor es de 1 HP y los ejes de lavado deben girar a 80 rpm.

- Análisis de Potencia

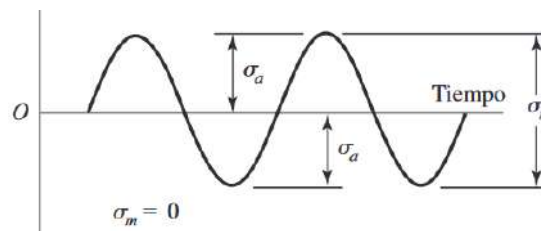
$$T = \frac{P}{n} \tag{23.3}$$

$$T = \frac{749 \text{ W}}{80 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{60}}$$

$$T = 89.047 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Los ejes son sometidos a distintas cargas, es por eso por lo que se tiene que verificar su resistencia a la fatiga. Por ejemplo, si se aplica cargas constantes en el eje como T [N· m], M [N· m] y F [N], se producen esfuerzos normales variables debido a que el momento flector M es giratorio relativo a un observador ubicado en un punto del eje rotativo. Por lo tanto, a continuación, el eje es analizado a flexión y torsión.

- Flexión



**Ilustración 3-26:** Diagrama de flexión (esfuerzo completamente invertido)

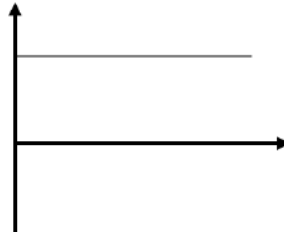
**Fuente:** (Budynas, y Nisbett, 2011)

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \tag{24.3}$$

$$\sigma_{m_B} = 0$$

$$\sigma_{a_B} = \frac{32[30.848]}{\pi d^3} = \frac{314.215}{d^3}$$

- Torsión



**Ilustración 3-27:** Diagrama de torsión constante.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (25.3)$$

$$\tau_{m_B} = \frac{16[89.047]}{\pi d^3} = \frac{453.513}{d^3}$$

$$\tau_{a_B} = 0$$

Para ser conservadores en el cálculo del eje, se estima valores de factor de concentración de esfuerzos de  $K_f = 1.6$  para flexión y  $K_{f_s} = 1.4$  para torsión.

Ahora bien, para el eje de los cepillos, al ser una aplicación de grado alimenticio se considera un material de acero inoxidable 304 ya que presenta muy buenas propiedades anticorrosivas. En la Tabla 3-27 se muestra las propiedades mecánicas de este material.

**Tabla 3-27:** Propiedades mecánicas del acero inoxidable 304.

Resistencia a la fluencia $S_y$	Resistencia última $S_{ut}$	Módulo de elasticidad
310 MPa	620 GPa	200 GPa

**Fuente:** (Mesa, y Toala, 2015)

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Posteriormente, se procede a calcular el límite de fatiga con la siguiente ecuación.

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_g \cdot S'_e \quad (26.3)$$

Cada uno de estos factores se puede determinar mediante las ecuaciones presentadas en la sección 2.2.5.1 pero también se puede tomar un factor global que es la multiplicación de todos los factores  $k$ , siendo  $k = 0.6$ . Y el límite de fatiga  $S'_e$  se tiene con la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} S'_e &= 0.5 \cdot S_{ut} \\ S'_e &= 0.5[620] \\ S'_e &= 310 \text{ MPa} \end{aligned} \tag{27.3}$$

Reemplazando se tiene:

$$\begin{aligned} S_e &= 0.6[310] \\ S_e &= 186 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Posteriormente, se obtiene los esfuerzos medio y amplitud equivalente, haciendo uso de las ecuaciones de la Tabla 2-10, así como se muestra a continuación.

$$\begin{aligned} \sigma_{a_{eq}} &= \sqrt{\left[1.6 * \frac{314.215}{d^3}\right]^2} = \frac{502.744}{d^3} \\ \sigma_{m_{eq}} &= \sqrt{3 \left[\frac{453.513}{d^3}\right]^2} = \frac{785.508}{d^3} \end{aligned}$$

Finalmente, una vez que se tenga todos los datos, aplicamos una teoría de falla, siendo la Teoría de Soderberg y se calcula el diámetro definitivo del eje con un factor de seguridad de 2.

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{a_{eq}}}{S_e} + \frac{\sigma_{m_{eq}}}{S_y} &= \frac{1}{\eta} \\ \frac{502.744}{186 \times 10^6 \cdot d^3} + \frac{785.508}{310 \times 10^6 \cdot d^3} &= \frac{1}{2} \\ d &= 0.02188 \text{ m} \approx 0.861 \text{ in} \end{aligned} \tag{28.3}$$

Se tiene un diámetro de 0.861 in [21.879 mm], por lo tanto, se elige un eje de 1 in de diámetro, mismo que será resistente a las cargas aplicadas en el mismo que son el peso de los cepillos y del bidón. En el Anexo E se encuentra las propiedades del eje de acero inoxidable 304.

### 3.4.5. Selección de rodamientos

Los ejes de lavado deben girar continuamente sin ningún problema, para ello en los extremos de estos se coloca rodamientos que ayudan a transmitir de mejor manera el movimiento, y además reducen la fricción entre los elementos móviles. Para la selección de los rodamientos y sus soportes se hace uso del catálogo de New Technology Network (NTN).

Ahora bien, para seleccionar los rodamientos se debe tener en cuenta unos parámetros importantes, como es el diámetro del eje calculado anteriormente, siendo en este caso de 1 in (25 mm). Por otro lado, se debe elegir rodamientos que mejor se acoplen al eje. El rodamiento de bolas es el más frecuente, debido a su fricción reducida y su diseño mejorado para minimizar el ruido y la vibración. Esto posibilita velocidades de rotación elevadas, tiene una buena capacidad para soportar tanto cargas radiales como axiales, facilidad en el montaje y un menor mantenimiento. En la Ilustración 3-28 se muestra los tipos de rodamientos de bolas existentes en el mercado. (SKF, 2022)



**Ilustración 3-28:** Rodamientos rígidos de bolas.

Fuente: (NTN Europa, 2017)

Los ejes de lavado tienen una velocidad de rotación de 80 rpm, por otro lado, la vida nominal  $L_{10h}$  del rodamiento se toma en base a las recomendaciones del catálogo, tratándose en este caso de máquinas con una jornada laboral de 8 horas, pero que no son utilizadas en su totalidad  $L_{10h} = 12000$  horas. En el Anexo E1 se tiene la vida útil para diferentes tipos de máquinas. Por otro lado, es importante conocer el factor de servicio, que es tomado según las diferentes aplicaciones, esto se muestra en el anexo E1, para un requerimiento de rotación normal para un rodamiento rígido de bolas este factor es de  $f_o = 1$ .

Por lo tanto, para seleccionar un rodamiento rígido de bolas se debe calcular la capacidad dinámica requerida con la siguiente expresión.

$$C' = \frac{f_h}{f_n} * P \quad (29.3)$$

El factor de vida  $f_h$  para un rodamiento rígido de bolas se determina con la ecuación que se muestra a continuación.

$$f_h = \left(\frac{L_{10h}}{500}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (30.3)$$

$$f_h = \left(\frac{12000}{500}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$f_h = 2.884$$

Por otro lado, el factor de velocidad  $f_n$  para este tipo de rodamientos se determina mediante la siguiente expresión.

$$f_n = \left(\frac{33.3}{n}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (31.3)$$

$$f_n = \left(\frac{33.3}{80}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$f_n = 0.747$$

Ahora bien, la carga P es la carga radial dinámica equivalente, la cual se calcula según como lo indique el catálogo. Para ello, se necesita saber la carga axial que en este caso es despreciable [ $F_a = 0$ ] y la carga radial, que se determina por la siguiente expresión.

$$F_r = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad (32.3)$$

$$F_r = \sqrt{15.717^2 + 141.428^2}$$

$$F_r = 142.299 \text{ N}$$

Teniendo esta carga, se calcula la carga P con la ecuación que se muestra a continuación.

$$P = XF_r + YF_a \quad (33.3)$$

Los factores X e Y son calculados mediante una tabla que presenta el catálogo que se muestra en el Anexo F. Pero al considerar una carga axial de 0, se tiene que:



$$\begin{cases} X = 1 \\ Y = 0 \end{cases}$$

Por lo tanto, la carga P es directamente igual a 142.299 N.

Reemplazando en la ecuación de capacidad dinámica requerida, se tiene:

$$C' = \frac{2.884}{0.747} * 142.299$$

$$C' = 549.385 \text{ N} = 0.549 \text{ KN}$$

Ahora bien, se toma este dato como referencia y se procede a seleccionar el rodamiento adecuado. Siendo un rodamiento rígido de bolas 6705 que tiene las siguientes características principales que se presentan en la Tabla 3-28.

**Tabla 3-28:** Características del rodamiento seleccionado 6705.

<b>Características del rodamiento 6705</b>		
Descripción	Dimensiones principales y capacidades básicas	Unidades
Diámetro del eje [d]	25	mm
Diámetro mayor [D]	32	mm
Ancho [B]	4	mm
Capacidad dinámica [C <sub>r</sub> ]	1.10	kN
Capacidad estática [C <sub>or</sub> ]	0.840	kN
Factor [f <sub>o</sub> ]	15.8	

Fuente: (NTN Corporation, 2004)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Ahora bien, la capacidad requerida es de 0.549 kN que es menor a la capacidad disponible del rodamiento seleccionado, por lo tanto, se puede asegurar que este rodamiento durara más de las 12000 horas requeridas, cumpliendo con el chequeo a carga dinámica.

$$C' < C_r$$

$$0.549 < 1.10 \rightarrow OK$$

Por otro lado, se realiza la verificación de carga estática, usando la ecuación que brinda el catálogo que se visualiza en el Anexo G.

$$f_o * P_{or} < C_{or}$$

Para determinar la carga radial estática equivalente, se usa la siguiente expresión.

$$P_{or} = 0.6F_r + 0.5F_a$$
$$P_{or} = 0.6[142.299 \text{ N}]$$
$$P_{or} = 85.379 \text{ N} = 0.085 \text{ kN}$$

El catálogo indica que si  $P_{or} < F_r$ , se toma  $P_{or} = F_r$ , por lo tanto, se realiza la verificación por carga estática.

$$1 * 0.085 < 0.840$$
$$0.085 < 0.840 \rightarrow OK$$

Concluyendo que el rodamiento rígido de bolas 6705 es el adecuado para esta aplicación, como se menciona anteriormente este tipo de rodamientos son colocadas en uno de los extremos de los ejes de los cepillos, dentro de los porta-ejes.

#### **3.4.6. Selección de chumacera**

Las chumaceras constan de un rodamiento de bolas alojado en diversos tipos de soportes, los cuales pueden ser sujetados a la estructura de la máquina mediante pernos. El anillo interno tiene la facilidad de ser instalado sobre los ejes de manera sencilla, utilizando tornillos de sujeción. En la Ilustración 3-29 se muestra el tipo de chumacera a utilizar para esta aplicación. (NTN Corporation, 2004)



**Ilustración 3-29:** Chumacera tipo puente.

**Fuente:** (NTN México S.A., 2020)

El cepillo inferior cilíndrico es soportado en ambos extremos, y en uno de ellos se coloca una chumacera. Además, este componente debe ser de acero inoxidable ya que se requiere que tenga

alta resistencia a la corrosión debido a que se va a encontrar en el fondo del tanque luego de agua. Para la selección se va a utilizar el catálogo de New Technology Network (NTN). Ahora bien, se debe considerar la medida del diámetro del eje de lavado para escoger la chumacera adecuada. El diámetro es de 1 in [25 mm], por lo tanto, se va a utilizar una chumacera F-UCPM205/LP03 que se visualiza en el Anexo H y a continuación en la Tabla 3-29 se tiene las características de la chumacera seleccionada.

**Tabla 3-29:** Características de la chumacera seleccionada F-UCPM205/LP03.

<b>Características de la chumacera F-UCPM205/LP03</b>		
Descripción	Dimensiones principales y capacidades básicas	Unidades
Diámetro del eje [ $d$ ]	25	mm
Tamaño del perno	M10	
Número del rodamiento	F-UC205D1/LP03	
Capacidad dinámica [ $C_r$ ]	10.8	kN
Capacidad estática [ $C_{or}$ ]	7.85	kN
Peso de la chumacera	0.7	kg

Fuente: (NTN Corporation, 2009)

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.4.7. Diseño de la estructura del tanque

Para el diseño del tanque se considera varios factores, como el peso de los cepillos y del bidón mientras este está en el proceso de lavado, así también la capacidad de agua que debe tener el tanque. Las dimensiones principales son de 1650 mm [64.961 in] de largo, 700 mm [27.559 in] de alto y 750 mm [29.528 in] de ancho.

#### 3.4.7.1. Espesor de la pared del tanque

Para el diseño y construcción del sistema de lavado automático de bidones de leche se utiliza un acero inoxidable AISI 304 ya que este material es usado principalmente en la industria alimentaria. En el Anexo D se encuentra las características de este material. Además, en la parte inferior de la maquina se tiene una abertura para la válvula de globo de bronce que ayudará al drenaje del agua.

Ahora bien, sabiendo el material que se va a utilizar, se procede a calcular el espesor de la plancha con la que se va a construir el tanque, para ello, utilizamos la siguiente ecuación.

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha(H)(0.036)(G)}{S}} \quad (34.3)$$

Donde:

$\alpha$  = Valor resultante de intersección con H/L

G = Gravedad específica del líquido

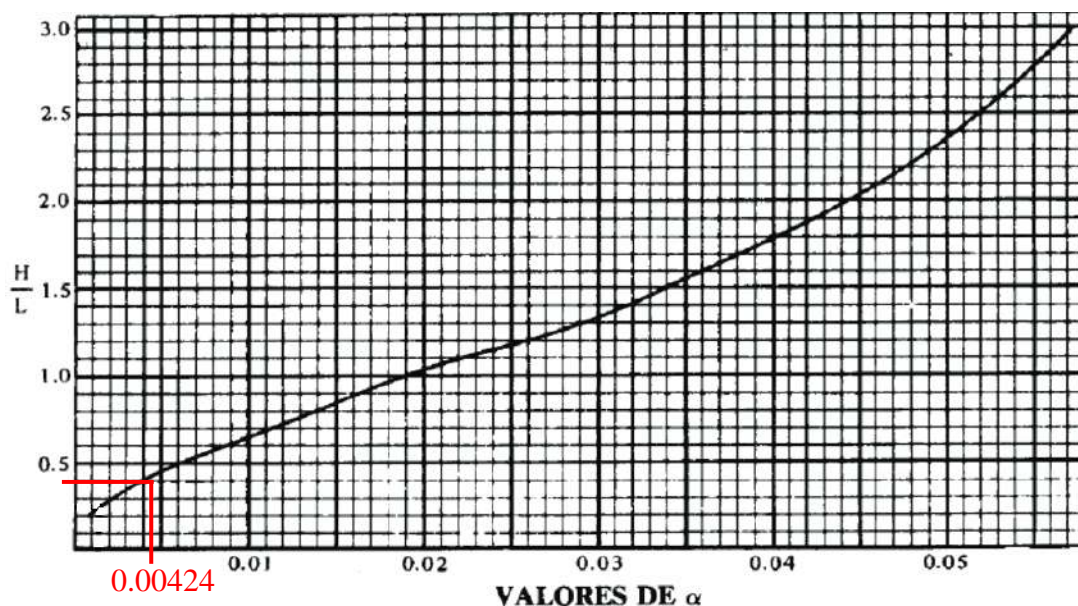
L = Longitud del tanque [in]

S = Esfuerzo de la plancha [lb/in<sup>2</sup>]

La relación de la longitud con la altura del tanque es la siguiente:

$$\frac{H}{L} = \frac{700}{1650} = 0.424$$

Con este valor, en el diagrama para tanques procedemos a buscar  $\alpha$ , mismo que se muestra en la Ilustración 3-30.



**Ilustración 3-30:** Valores de  $\alpha$  para fórmula de tanques.

Fuente: (Pullaguari, 2015)

Aproximadamente se tiene un valor de 0.0047. Por otro lado, para la gravedad específica se toma el valor de 1 y el esfuerzo S se toma del anexo I que es de 25500 Psi. Ya teniendo todos los datos, se procede a calcular el espesor de la plancha a utilizar reemplazando en la ecuación anterior.

$$t = 2.45[64.961] \sqrt{\frac{0.00424[36.614][0.036][1]}{25500}}$$

$$t = 0.0745 \text{ in}$$

Ahora bien, se tiene un espesor de 0.0745 in [1.892 mm], por lo tanto, se elige una plancha de 2 mm de espesor, el cual cumplirá con las propiedades mecánicas que se requiere para esta aplicación.

### 3.4.8. Diseño de la estructura de soporte

Para dimensionar la bancada se toma en cuenta una altura de trabajo apropiada, con el propósito de brindar seguridad al operador. Esto se hace con el fin de que los individuos puedan mantener una posición cómoda y erguida, disminuyendo la fatiga y el peligro de sufrir lesiones derivadas de una postura inadecuada. José Luis Melo presenta una Guía para la Evaluación Ergonómica de un puesto de Trabajo y en ella recomienda un rango de 90 a 105 cm de altura. (Melo, 2009)

Ahora bien, teniendo en consideración lo anterior se establece una altura de 93 cm para la máquina, se requiere entonces una estructura de soporte de 80.5 cm de alto.

Para diseñar la viga de la estructura es importante considerar el peso de cada uno de los elementos que se está soportando. En la Tabla 3-30 se muestra detalladamente estos datos.

**Tabla 3-30:** Pesos de los componentes que soporta la estructura.

N°	Componente	Peso [kg]	Total [kg]
1	Cepillo cilíndrico	2.268	2.268
1	Cepillo cabeza esférica	3.629	3.629
1	Cepillo recto	0.680	0.680
1	Rodillo	0.454	0.454
2	Soportes para rodillo y cepillo recto	1.361	2.722
2	Ejes	2.68	5.36
2	Porta-ejes	0.227	0.454
1	Tanque	30	30
2	Rodamientos	0.1	0.2
1	Chumacera	0.7	0.7
1	Motorreductor	17.5	17.5
		TOTAL	46.467

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Ahora bien, con este dato, se calcula el peso total soportado por la bancada utilizando la siguiente expresión.

$$\text{Peso soportado} = 46.467 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Peso soportado} = 455.841 \text{ N}$$

Posteriormente se determina el esfuerzo y momento máximo de la viga que se va a analizar. Estas ecuaciones se toman del formulario “*Beam Design Formulas with shear and momento diagrams*” que se muestran en el Anexo I. A continuación, se realiza el cálculo del momento máximo.

$$M = \frac{w}{12}(6lx - l^2 - 6x^2) \quad (35.3)$$

Donde:

M = Momento máximo

F = Fuerza que actúa sobre los apoyos  $\left[ \frac{455.841 \text{ N}}{4} = 113.96 \text{ N} \right]$

L = Longitud de la viga [0.9 m]

x = Distancia en el punto máximo [0.45 m]

Reemplazando en la ecuación se tiene lo siguiente:

$$M = \frac{113.96}{12} [6(0.9)(0.45) - (0.9)^2 - 6(0.45)^2]$$

$$M = 3.846 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Posteriormente, con el momento máximo se procede a calcular el esfuerzo de flexión de la viga, para ello, se tiene las siguientes ecuaciones.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{s} = \frac{S_y}{n} \quad (36.3)$$

Siendo s el módulo de la sección de la viga,  $S_y$  la resistencia a la fluencia del material de acero inoxidable [ $S_y = 310 \text{ MPa}$ ] y n el factor de seguridad, que para ser conservadores se toma un valor de 3. Ahora bien, se reemplaza todos los datos calculados en la ecuación anterior con el fin de determinar el módulo de la sección s.

$$\frac{M}{s} = \frac{S_y}{n}$$

$$\frac{3.846}{s} = \frac{310 * 10^6}{3}$$

$$s = 2.722 * 10^{-6} m^3$$

Ahora bien, se tiene un módulo de sección calculado de  $2.722 \text{ cm}^3$ , por lo tanto, del catálogo de DIPAC de elementos de acero se selecciona un tubo cuadrado de  $40 \times 40 \times 1.5 \text{ mm}$  que tiene un módulo de sección de  $2.74 \text{ cm}^3$ . Esto se puede visualizar en el Anexo J. Posteriormente, se determina el esfuerzo que soporta la estructura, como se muestra a continuación.

$$\sigma = \frac{3.546}{2.74 * 10^{-6}}$$

$$\sigma = 285.54 Pa$$

Por otro lado, también es importante calcular la deflexión máxima de la viga con el fin de verificar su resistencia. La siguiente ecuación se encuentra en el Anexo I.

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{wl^4}{384EI} \quad (37.3)$$

Sabiendo que el material es de acero inoxidable, el módulo de elasticidad es de  $E = 200 \text{ GPa}$  y el momento de Inercia se toma del tubo seleccionado del catálogo, siendo  $I = 5.48 \text{ cm}^4$ . Reemplazando estos datos, se tiene:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{113.96[0.9]^4}{384[200 * 10^9][5.48 * 10^{-8}]}$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = 3.776 * 10^{-2} mm$$

Todos los resultados antes obtenidos deben ser verificados mediante un software para elementos finitos que es ANSYS, esto se hace posteriormente en el siguiente capítulo.

### **3.4.9. Soldadura para acero inoxidable**

Al tratarse de un material de grado alimenticio, acero inoxidable AISI 304 una de las mejores alternativas de soldadura es la TIG (Tungsten Inert Gas) ya que proporciona alta calidad de soldadura con excelente penetración y fusión, siendo características sumamente importantes en aplicaciones de la industria alimentaria donde se requiere higiene y durabilidad. Además, este tipo de soldadura es ideal para trabajar con planchas delgadas hasta  $6 \text{ mm}$  de espesor

aproximadamente, ya que el calor de aporte es muy bajo y reduce el riesgo de que se generen deformaciones. Otra de las cosas que cabe mencionar, es que el proceso TIG utiliza un gas inerte que protege la zona de soldadura, minimizando la contaminación y formación de óxidos. (Rodríguez, 2022)

### 3.5. Diseño del sistema de control

En el diseño del sistema de control eléctrico se seleccionan cada uno de los componentes necesarios que conforman el tablero eléctrico, estos elementos involucran elementos de mando y de fuerza.

El motor que utiliza el sistema de lavado es el componente de mayor consumo de energía, requiere de una red monofásica de voltaje nominal  $110 V_{ac}$ . A partir de estas características se calculan los consumos energéticos.

#### 3.5.1. Cálculo de consumo eléctrico

La máquina de lavado consta de un actuador monofásico (M1) de 1 Hp de potencia encargado de girar los ejes de los cepillos industriales para el lavado de bidones, este motor es activado luego de pulsar un botón de marcha (P1) que en simultaneidad con un temporizador (T1), es activado durante 1 minuto 30 segundos. Una luz piloto verde (H1) se enciende para indicar que el proceso está en operación.

Transcurrido el tiempo programado en el temporizador, el contactor desactiva la bobina impidiendo así el paso de corriente con el fin de detener el giro del motor. Una luz piloto de color rojo (H2) señala que la parada del proceso. Por otra parte, una tercera luz piloto que indica *peligro* (H3) se enciende cuando por el relé térmico (que protege el motor) atraviesa una corriente mayor al consumo, en el mismo instante se detiene toda la operación.

El cálculo de la corriente para motores instalados en una red monofásica [ $110 V_{ac}$ ] se encuentra a través de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{HP \cdot 746}{V \cdot \eta \cdot f_p} \quad (38.3)$$



En donde:

$HP$	Potencia de motor
$V$	Tensión nominal de alimentación
$\eta$	Eficiencia del motor
$f_p$	Factor de potencia
$I$	Corriente nominal

Se calcula la corriente nominal utilizando una tensión nominal de 110 V, potencia de 1 HP del motor y el valor de la eficiencia que generalmente es igual a 0,8 y el factor de potencia entre los valores típicos es de 0,9.

$$I_n = \frac{1 [hp] \cdot 746}{110Vac \cdot 0,8 \cdot 0,9}$$
$$I_n = 9,42 A$$

Se multiplica por un factor de servicio  $f_s$  del motor equivalente a 1,25 lo que finalmente indica la corriente máxima que puede soportar el motor.

$$I_s = I_n \cdot f_s \quad (39.3)$$
$$I_s = 9,42A \cdot 1,25$$
$$I_s = 11,78 A$$

### 3.5.2. Selección de calibre del conductor

Para la selección de un cable conductor adecuado para el sistema de control, se utiliza la corriente máxima de consumo y la intensidad admisible de los conductores. La temperatura de trabajo y el tipo de recubrimiento o aislamiento también son características importantes para determinar el calibre del cable.

La corriente máxima de consumo del motor es de 11,78 A y la temperatura ambiente de operación según la placa de este actuador equivale a 40°C. Además, se requiere aislamiento de policloruro de vinilo PVC o termoplástico TW. Estas características indican la selección de un calibre **AWG N° 14** que se encuentran en el catálogo de “*Electro Cables*”, mismo que se muestra en el Anexo I. Por lo tanto, la capacidad de corriente del calibre AWG 14 es de 15 A, suficiente para cubrir con la corriente de demanda calculada anteriormente.

Con el cálculo del consumo eléctrico y el calibre apropiado para el circuito se seleccionan los componentes y elementos que conforman parte del tablero eléctrico los cuales se clasifican en dos importantes grupos que son: el circuito de potencia y el circuito de control.

### **3.5.3. Circuito de potencia**

El circuito de potencia conforma una parte del sistema eléctrico el cual se encarga de manejar importantes cantidades de energía eléctrica. La finalidad de este circuito es generar potencia necesaria para el desempeño de la máquina de lavado, particularmente la potencia que se necesita transmitir para girar los ejes de los cepillos industriales.

El esquema de potencia para el sistema de lavado automático de bidones comienza por incluir un motor monofásico con arranque directo, en los cálculos anteriores se observa el consumo de este actuador mecánico con el que es posible seleccionar posteriormente el contactor, disyuntor y relé térmico.

El arranque directo de un motor es un método muy común por la simpleza de la conexión; se conecta directamente a la fuente de alimentación de corriente alterna; implicando simplemente abrir o cerrar un interruptor que habilite o impida el paso de corriente hacia el motor eléctrico. Sin embargo, el diseño de la máquina de lavado debe operar de forma automática por lo que se añade un contactor; para controlar el accionamiento del motor y un relé térmico que protege el actuador contra sobrecargas y sobrecalentamientos.

#### **3.5.3.1. Selección del contactor**

Para la corriente máxima de consumo de 11,78 A se selecciona un contactor que tenga esta capacidad o más, además de determinar la tensión con la que se activa el contactor que en este caso corresponde a 110Vac. Existen diferentes marcas y modelos disponibles en el mercado, para este sistema eléctrico se utiliza un contactor MC1D-1811 de la marca XILED.



**Ilustración 3-31:** Contactor.

Fuente: (XILED, 2022)

Las características principales de este contactor son la alimentación a 110Vac, la intensidad de corriente de 18 A y la frecuencia de 60 Hz.

### 3.5.3.2. Selección del relé térmico

La protección del motor monofásico es la función primordial de un relé térmico, cuando una sobrecarga atraviesa este dispositivo electrónico inmediatamente desactiva todo el proceso de operación. La corriente de consumo es el parámetro de selección de un relé térmico; por lo tanto, se selecciona un relé que tenga la capacidad de resistir 11,78 A.

El relé térmico LR2-D1316 de la marca RELKOM posee una regulación en la intensidad de corriente desde 9 a 13 amperios, ideal para motores monofásicos hasta de 2 HP.



**Ilustración 3-32:** Relé térmico.

Fuente: (XILED, 2022)

### 3.5.3.3. Selección del breaker

El disyuntor o breaker para el montaje en el riel se selecciona de acuerdo con la línea o red eléctrica en la que la máquina de lavado se pretende instalar, la corriente monofásica que se caracteriza por utilizar únicamente una fase y un neutro requiere de un disyuntor de dos polos.

En la marca RELKOM, el breaker de modelo LWBX-63 6KA 2p-16 tiene una capacidad de corriente máxima de 16 amperios con dos polaridades en la entrada y salida respectivamente.



**Ilustración 3-33:** Breaker.

Fuente: (XILED, 2022)

#### **3.5.4. Circuito de mando**

El circuito de mando contiene varios elementos que permiten controlar el circuito de potencia, principalmente dentro de este esquema se incluyen los pulsadores, temporizador e indicadores que advierten al operador el tipo de operación que la máquina o sistema de lavado está atravesando.

El temporizador cumple con el objetivo principal de activar y desactivar el proceso al término del 1 minuto y 30 segundos luego de dar la orden a través de un pulsador de marcha. Se selecciona el temporizador que satisfaga este requerimiento.

##### **3.5.4.1. Selección del breaker**

El circuito de mando opera bajo tensiones de 110 Vac, por lo que se selecciona un disyuntor bajo estas condiciones. La intensidad de corriente también es otra magnitud para considerar en este circuito, el calibre seleccionado en función a la corriente máxima de operación puede soportar tensiones hasta de 15 A, por lo que se puede utilizar un disyuntor similar al utilizado en el circuito de potencia. Un breaker de modelo LWBX-63 6KA 2p-16.

##### **3.5.4.2. Selección del temporizador**

Para controlar el encendido y apagado de un actuador mecánico, como en el caso específico de un motor monofásico, se utiliza un enfoque efectivo que involucra la elección y configuración de un reloj timer ON/OFF. Este dispositivo es esencial para automatizar los ciclos de operación, permitiendo un control preciso sobre la duración de los intervalos de funcionamiento. Para garantizar una conexión segura y versátil, se opta por un reloj timer capaz de operar con una alimentación estándar de 110 V<sub>ac</sub>. Esto asegura una compatibilidad amplia con fuentes de energía

comunes. Además, la característica ajustable de la configuración en minutos y segundos brinda una flexibilidad excepcional al adaptarse a una variedad de necesidades y aplicaciones. Gracias a esta versatilidad, los usuarios pueden establecer con precisión los momentos de encendido y apagado del motor, lo que resulta fundamental en el proceso de lavado de bidones, de una manera automática. Se selecciona un temporizador analógico con retardo a desenergización.



**Ilustración 3-34:** Temporizador.

Fuente: (XILED, 2022)

#### 3.5.4.3. Selección de pulsadores

Para la selección de pulsadores se considera el tipo de operación del actuador mecánico, para este caso específico el motor se enciende luego de presionar un pulsador de marcha para luego detenerse tras el tiempo preconfigurado en el temporizador o bien, luego de pulsar el botón de apagado o paro de emergencia.

El circuito de mando para el sistema de lavado de bidones requiere de un pulsador normalmente abierto para el encendido, un pulsador normalmente cerrado para el apagado del sistema y adicionalmente un pulsador de paro de emergencia que detiene todo el proceso. Esta selección de pulsadores no solo se adapta a la operación específica del motor, sino que también se ajusta a los requisitos de seguridad del sistema, al permitir tanto una detención planificada como una detención instantánea en caso de emergencia.

Se seleccionan estos tres componentes en los modelos correspondientes:

- Pulsador de marcha verde con marco metálico.



**Ilustración 3-35:** Pulsador de marcha – verde.

Fuente: (XILED, 2022)

- Pulsador de apagado rojo con marco metálico



**Ilustración 3-36:** Pulsador de apagado – rojo.

Fuente: (XILED, 2022)

- Pulsador de emergencia rojo hongo giro con marco metálico



**Ilustración 3-37:** Pulsador de emergencia – rojo.

Fuente: (XILED, 2022)

#### 3.5.4.4. Selección de luces piloto

La estratégica disposición de las luces piloto en el tablero eléctrico desempeña un papel fundamental al dotar al operador de una referencia visual que refleja la naturaleza de la tarea que la máquina está llevando a cabo en un momento específico. Cada fase operativa se traduce de manera clara y precisa a través de la iluminación característica de estas luces, meticulosamente dispuestas para una visibilidad óptima.

En este escenario en particular, se ha implementado una configuración compuesta por tres luces piloto, cada una con un significado distintivo. La luz verde, señala el encendido del sistema. La luz roja, con su tonalidad intensa y reconocible, anuncia el proceso de apagado. Por último, la luz

amarilla, adquiere el rol de alertar en casos de emergencia o para llamar la atención sobre situaciones de advertencia.

Esta disposición meticulosa y el uso de colores distintivos no solo agilizan la comprensión instantánea de la situación operativa, sino que también contribuyen en gran medida a la seguridad y la eficiencia del proceso, al permitir que el operador decida de manera informada y actúe de adecuadamente según el estado visualmente indicado por las luces piloto. Se seleccionan estas luces piloto de acuerdo con la alimentación requerida, los modelos mostrados a continuación tienen un rango de fuente desde 12 hasta 450 Vac.



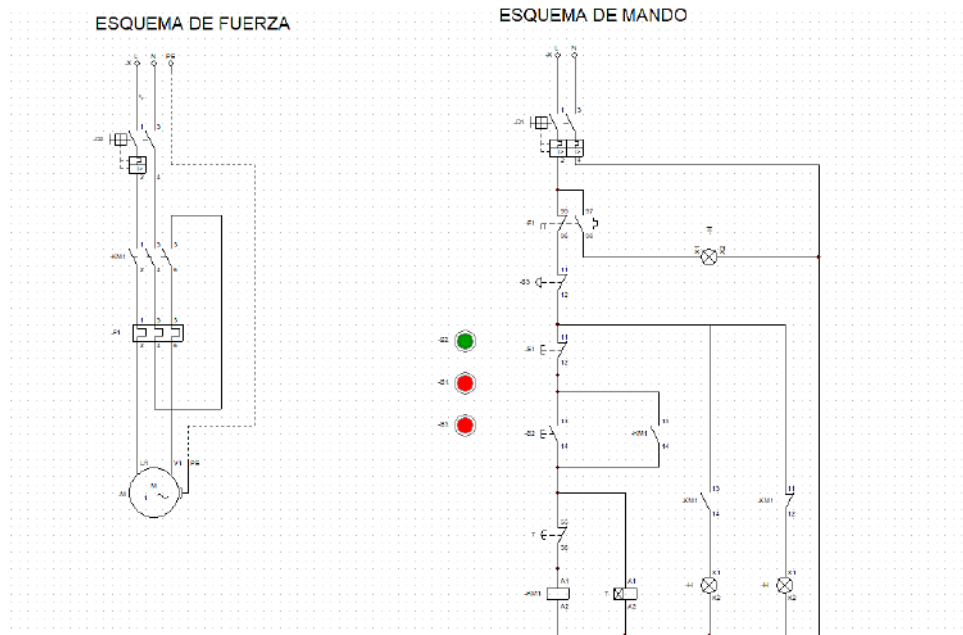
**Ilustración 3-38:** Luces pilotos.

Fuente: (XILED, 2022)

### **3.6. Representación gráfica del sistema eléctrico**

Cada uno de los componentes es hábilmente retratado mediante el uso del software Cade Simu, una herramienta que ofrece una interpretación visual de las conexiones que vinculan a cada uno de estos componentes previamente elegidos. Estas conexiones, fundamentales para el funcionamiento conjunto y armonioso del sistema, son presentadas en una forma ordenada y claramente comprensible, dividida en dos categorías distintas: esquema de fuerza y esquema de mando.

La capacidad de este software va más allá de la simple representación estática. No solo se limita a ofrecer una visualización de los componentes y sus interconexiones, sino que también brinda la capacidad de llevar a cabo simulaciones de diversas situaciones y escenarios. Esto se logra a través de la interacción con elementos de mando, como pulsadores e incluso simular el funcionamiento del relé térmico. Al proporcionar esta funcionalidad de simulación, el software proporciona herramientas para prever y comprender el comportamiento del sistema en diferentes condiciones y operaciones.



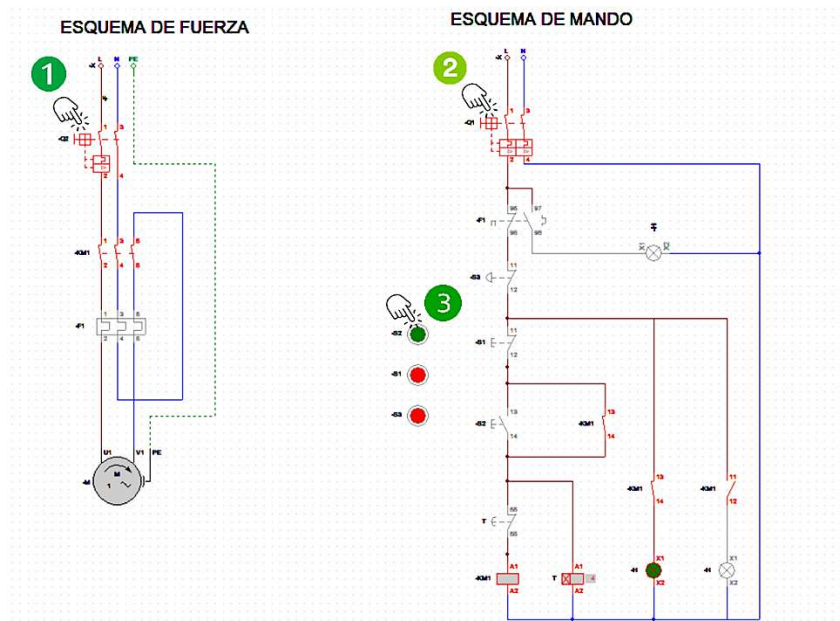
**Ilustración 3-39:** Representación gráfica del sistema eléctrico en Cade Simu.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Para encender el sistema se deben activar los disyuntores tanto del sistema de fuerza como el de mando, posteriormente sistema de lavado arranca luego de pulsar el botón verde de marcha, esta acción se refleja en el giro del motor monofásico, inicio de temporización en el timer y la iluminación de la luz piloto verde como se muestra de manera gráfica en la simulación. Se usa el siguiente orden de activación:

1. Activación de breaker de fuerza
2. Activación de breaker de mando
3. Pulsación de botón de marcha

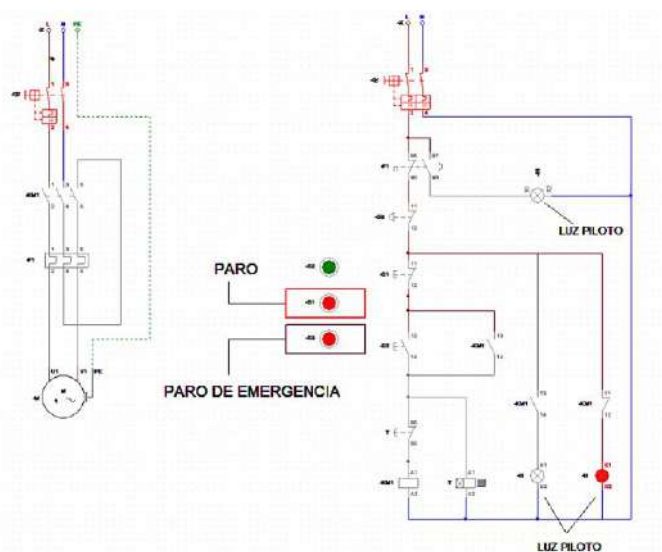




**Ilustración 3-40:** Orden de activación del sistema eléctrico.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

El proceso culmina a través de tres modalidades distintas. En la primera, la operación se detiene en consonancia con el tiempo preestablecido en el temporizador. En la segunda modalidad, la intervención se efectúa al presionar el pulsador rojo de detención, lo que permite interrumpir el funcionamiento antes de que el tiempo previamente configurado concluya. Por último, la tercera alternativa se encuentra en el pulsador de emergencia, diseñado para operar de manera similar, aunque con la distinción de su construcción robusta, capaz de resistir considerables fuerzas ejercidas por el operador en situaciones de emergencia.

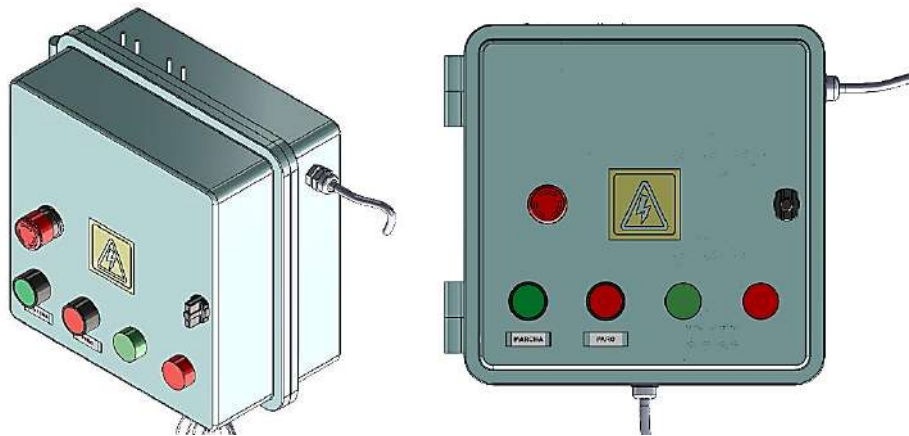


**Ilustración 3-41:** Modalidades del proceso.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Con un entendimiento claro del funcionamiento de cada componente, se logra una distribución ordenada y eficiente de los elementos eléctricos dentro del gabinete o tablero eléctrico. Las dimensiones del gabinete eléctrico están adaptadas a la ubicación de instalación, asegurando una integración armoniosa en el entorno. Es importante destacar que el tablero eléctrico se montará en la cubierta del sistema de transmisión, lo que impone la restricción de un ancho máximo de 300 mm para su instalación. En ese sentido, el gabinete eléctrico tiene las siguientes características:

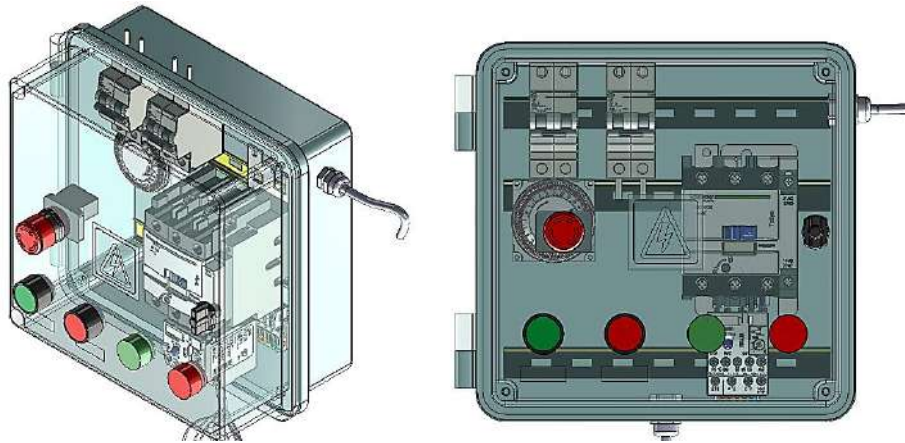
- Alto: 280 mm
- Ancho: 280 mm
- Profundidad: 160 mm



**Ilustración 3-42:** Gabinete eléctrico - vista externa.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Cada uno de los elementos presentes en el tablero eléctrico desempeña el papel de una representación idealizada de un circuito real, detallando tanto los esquemas de control como los de potencia. Estos componentes proporcionan una visualización clara y esquemática de la interconexión funcional de los circuitos, abarcando tanto los aspectos de mando que dirigen las operaciones, como los de fuerza que gestionan la potencia requerida en el sistema.



**Ilustración 3-43.** Gabinete eléctrico - vista interna.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.7. Construcción de la máquina

Posterior al diseño mecánico de cada uno de los elementos se procede a construir cada uno, sin embargo, no todos los componentes son de construcción, ya que algunos ya son estandarizados y deben ser seleccionados por catálogos como son: la cadena, las catarinas, chumacera, etc. A continuación, se presenta detalladamente, el proceso de construcción y montaje de sistema de lavado automático de bidones de leche.

#### 3.7.1. Construcción mecánica

Los elementos que van a ser construidos son los siguientes:

- Cepillos
- Ejes de lavado
- Tanque de almacenamiento de agua
- Guarda para el sistema de transmisión
- Estructura de soporte

##### 3.7.1.1. Fabricación de los cepillos

Para la fabricación de los cepillos se elige el nylon como material base ya que es durable, resistente al desgaste y tiene la capacidad para retener los filamentos. Para el sistema de lavado se necesita de 3 cepillos: dos giratorios; uno cilíndrico y uno con cabeza esférica, estos tienen la función de limpiar el bidón interna y externamente, y un tercer cepillo que es estático. Para ello, se prepara el núcleo según las especificaciones que requiere cada cepillo en cuanto a su diámetro interior y exterior para poder acoplar los ejes de acero, luego de ello, se realiza los orificios para

la fijación de los filamentos. Posteriormente los filamentos son de polipropileno y se fijan mediante pequeñas grapas metálicas inoxidable que se encuentran en el fondo de cada orificio. En la Ilustración 3-44 se muestra el proceso de fabricación de los cepillos.



**Ilustración 3-44:** Fabricación de cepillos de nylon.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.7.1.2. *Fabricación de los ejes de lavado*

La función de los ejes es transmitir el movimiento a los cepillos de lavado. Como se menciona anteriormente, estos son fabricados de acero inoxidable AISI 304. Los ejes son mecanizados mediante torno hasta alcanzar el diámetro previamente determinado. Los chaveteros se crean utilizando una fresadora y las chavetas se fabrican mediante cortes realizados con una amoladora, después se ajustan a las dimensiones correctas mediante rectificado. En la Ilustración 3-45 se muestra los ejes mecanizados.



**Ilustración 3-45:** Ejes de lavado.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.7.1.3. *Fabricación del tanque de suministro de agua*

El tanque del sistema de lavado siempre debe estar con agua con el detergente correcto para la limpieza de los bidones, además aquí se sostiene los ejes, los cepillos y además todo el sistema de transmisión. Por lo tanto, debe ser de un material muy resistente por lo que para su construcción se utiliza planchas de acero inoxidable AISI 304 de 2 mm de espesor. Para su fabricación se tiene

dos planchas, las cuales son cortadas, plegadas y soldadas dos placas en los costados del tanque. En la Ilustración 3-46 se muestra el proceso de fabricación del tanque.



**Ilustración 3-46:** Fabricación del tanque de suministro de agua.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 3.7.1.4. *Fabricación de la guarda o cubierta del sistema de transmisión*

La cubierta protege del agua, polvo y otras suciedades al sistema de transmisión compuesto por motor – piñón – cadena para que no corran riesgo a dañarse y también previene de posibles accidentes al usuario. Como se menciona en el apartado 3.4.9 su función no requiere de grandes esfuerzos, por lo que se elige un acero inoxidable AISI 304 con 1 mm de espesor. Para su fabricación se requiere de una pequeña lamina de acero, la cual es cortada y plegada a 90° con el fin de formar la cubierta soldando cada una de las partes. Posteriormente se realiza los orificios para que pase el eje y se conecte los piñones y los pernos de sujeción.



**Ilustración 3-47:** Doblado de la cubierta del sistema de transmisión.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 3.7.1.5. *Fabricación de la estructura de soporte*

Para la estructura que soporta todo el sistema de lavado se utiliza perfiles cuadrados de 40 x 40 x 1.5 mm [1 ½” y 1.5 mm]. Estos son cortados a las dimensiones que se requieren y posteriormente

soldados. Para conectar este soporte a la estructura del tanque se sueldan una placa en cada extremo. En la Ilustración 3-48 se muestra de mejor manera esta conexión.



**Ilustración 3-48:** Estructura de soporte.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### **3.7.2. Ensamblaje de la máquina**

Una vez terminado la construcción de cada uno de los elementos de la máquina, se procede a adquirir los elementos normalizados faltantes, como piñones, cadenas, rodamientos y chumaceras. Con el fin de tener todos los componentes listos para realizar el montaje del sistema de lavado automático de bidones siguiendo el orden que se detalla a continuación.

1. Se inicia con el montaje del tanque a la estructura de soporte mediante el método de soldadura TIG, siendo la ideal para materiales de grado alimenticio como es el acero inoxidable ASI 304. Al colocar el tanque a la estructura de soporte es importante asegurar que este nivelado y bien apoyado, ya que, con esto, se proporciona la base principal para el ensamble correcto de los demás componentes.
2. Posteriormente se procede a instalar los cepillos en los soportes designados siendo estos los porta ejes que previamente fueron soldados en el tanque. Estos componentes deben estar alineados correctamente. Para facilitar el movimiento de los ejes de lavado se colocan los rodamientos en la parte interna de estos porta ejes. En la Ilustración 3-49 se muestra la instalación de los cepillos de lavado.

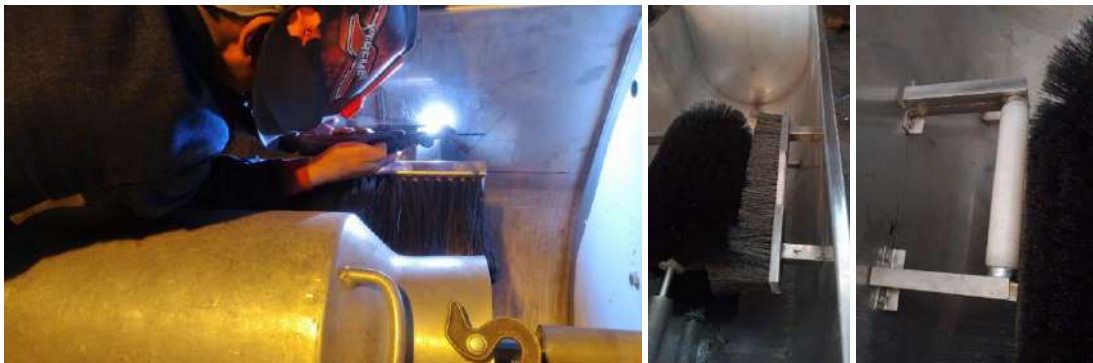




**Ilustración 3-49:** Montaje de los cepillos de lavado.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

3. A continuación, se realiza el montaje del cepillo recto y el rodillo de nylon en las paredes laterales del tanque. El cepillo recto es el que ayuda en la limpieza exterior del bidón, mientras que el rodillo tiene la función de ayudar e impulsar en el movimiento giratorio del recipiente. Estos componentes son soldados y empernados a las paredes del tanque, respectivamente, así como se muestra en la Ilustración 3-50.



**Ilustración 3-50:** Montaje del cepillo recto y el rodillo en las paredes laterales del tanque.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

4. El cepillo cilíndrico inferior del sistema de lavado debe apoyarse a una chumacera por el otro extremo mediante un tornillo de fijación. Este componente es empernado de forma segura a un ángulo soldado a las paredes del tanque, así como se muestra en la Ilustración 3-51.



**Ilustración 3-51:** Montaje del sistema de transmisión.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

5. Una vez concluida el montaje mecánico de la máquina, se procede a adquirir los elementos eléctricos descritos en el apartado 3.5. Posteriormente, se arma el tablero eléctrico y se realiza las conexiones con el motor. Cabe recalcar que todos los componentes del sistema de transmisión junto con la parte eléctrica deben estar bien aislados cuidando que no ingrese suciedades, polvo o incluso el agua. Esto con el fin de evitar problemas eléctricos o que se queme el motor.
6. Finalmente se tiene la maquina lista para realizar las pruebas de funcionamiento. En la Ilustración 3-53 se tiene el sistema de lavado de bidones de leche.



**Ilustración 3-52:** Sistema de lavado de bidones de lecho terminado en su totalidad.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Es fundamental elaborar una ficha técnica exhaustiva del sistema de lavado automático de bidones, en la cual se destaquen las características más relevantes. Esta ficha permitirá presentar con detalle el producto a los clientes interesados, brindándoles la oportunidad de comprender plenamente la propuesta antes de realizar su adquisición. A continuación, en la Tabla 3-31 se muestra el Datasheet de la máquina.



**Tabla 3-31:** Ficha técnica de la maquina lavadora de bidones de leche.

<b>PRODUCTO FINAL</b>		<b>Datasheet</b>
DATOS TÉCNICOS – PARTES PRINCIPALES		<b>Tipo:</b> Lavado automático de bidones de leche
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.		<b>Dirección:</b> Riobamba - Ecuador
<b>EQUIPO</b>		<b>DATOS TÉCNICOS</b>
 		<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>
		<p>Nombre del producto: Lavadora automática de bidones de leche</p> <p>Número/modelo: LB - 70023</p> <p>Material: Acero inoxidable AISI 304 B Mate</p> <p>Acabado superficial liso.</p> <p>Excelente eficiencia de limpieza.</p> <p>Alta productividad de limpieza.</p> <p>Construcción simple</p> <p>Fácil operación y mantenimiento mínimo.</p> <p>Válvula de desagüe</p> <p>Flexible, seguro y ergonómico.</p> <p>No corrosivo.</p> <p>Cepillos de nylon (2 giratorios y 1 recto).</p>
		<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>
		<p>La Lavadora Automática de Bidones de Leche LB -70023 es una máquina diseñada para limpiar eficientemente los bidones de leche utilizados en la industria láctea. Ofrece una solución automatizada y de alta capacidad para garantizar la higiene y la calidad de los envases.</p>
<b>CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Parámetros</b>	
Dimensiones	180 x 90 x 85 cm (largo x alto x ancho)	
Peso	177 kg	
Capacidad de productividad de limpieza	30 – 40 bidones por hora	
Capacidad tanque de almacenamiento de agua	700 litros	
Energía	110 V – 60 Hz	
Potencia	1 HP	
Consumo de energía	2.25 kWh/día	
Temperatura de operación	5°C - 40°C	
Humedad de operación	20% - 80%	
Velocidad máxima de rotación	80 RPM	

## **FUNCIONES Y CARACTERISTICAS ESPECIALES**

### **Seguridad**

- Sistema de apagado automático en caso de emergencia.
- Luces piloto para alertar en casos de emergencia o para llamar la atención sobre situaciones de advertencia.

### **Compatibilidad**

- Compatible con bidones estándar de 40 litros.

### **Aplicaciones**

- Ideal para la industria láctea, plantas de procesamiento de leche, empresas de envasado y centros de acopio de leche.

### **Certificaciones y cumplimiento**

- Cumple con las normativas de seguridad y calidad industriales como ASME y API.

### **Garantía**

- Garantía limitada de 2 años para piezas y mano de obra.

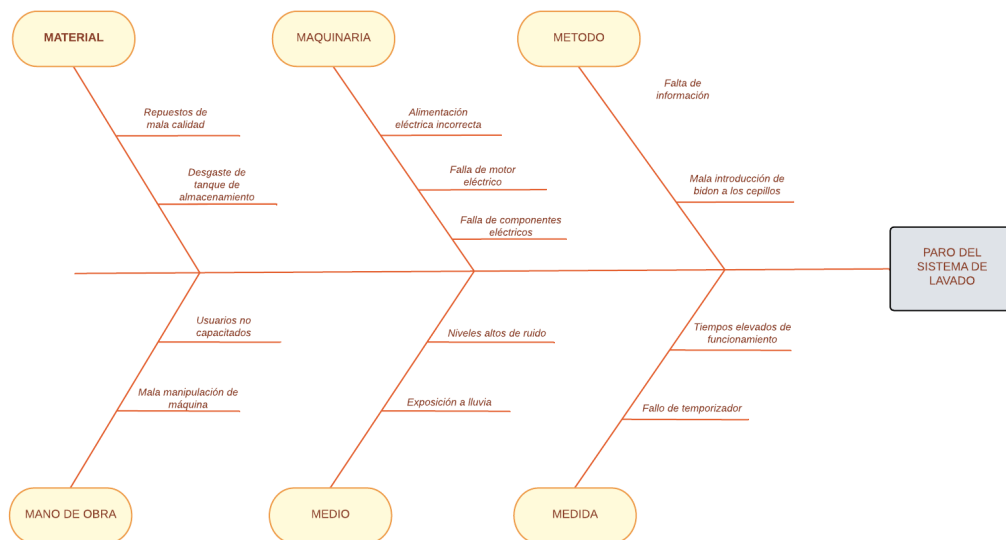
**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### **3.7.3. *Mantenimiento preventivo de la maquina***

Para garantizar el desempeño de la máquina de lavado se desarrolla un instructivo de mantenimiento preventivo, en el que se describen las principales zonas de atención paulatinamente. El planteamiento de mantenimiento utiliza los módulos existentes como referencia; descritos en el análisis funcional para ejecutar acciones preventivas. Los módulos de trabajo o funcionalidad son:

1. Suministro de agua
2. Activación de sistema de potencia
3. Sistema de transmisión de potencia
4. Proceso de lavado de bidones
5. Finalización de proceso

Cada una de estas etapas por las que se atraviesa compone internamente de elementos mecánicos y eléctricos que pueden sufrir daños o desgaste con respecto al tiempo de funcionamiento y operación del sistema de lavado. A continuación, se describe las principales causas que pueden provocar la parada o el mal funcionamiento de la máquina; utilizando el diagrama de Ishikawa causas y efectos.



**Ilustración 3-53:** Diagrama Ishikawa para el mal funcionamiento de la máquina.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.7.3.1. Acciones de mantenimiento preventivo

Las medidas preventivas aseguran la durabilidad operativa de la maquinaria, así como la mitigación de los potenciales gastos asociados con las intervenciones correctivas. Basándose en estos fundamentos, se diseñan y ejecutan actividades de mantenimiento preventivo, las cuales constituyen intervenciones proactivas de menor demanda, dirigidas de manera directa hacia el equipo, aun cuando este se encuentre en condiciones óptimas.

#### Acciones preventivas en suministro de agua

Durante la etapa de llenado o suministro de agua al tanque de lavado, considerar las siguientes actividades.

- Verificación de la válvula de desagüe, esto involucra mantener cerrada la válvula.
- Revisión del aspecto del tanque de almacenamiento, se hace referencia a la limpieza del tanque, no se suministra agua mientras este requerimiento no sea visible.
- Uso manguera desde el grifo de agua para el suministro en el tanque de lavado. Si se usa otro método de suministro de agua, verificar que no exista mayor esfuerzo de contacto entre la superficie de la máquina y el dispensador.
- Inspección de fugas, dentro de esta actividad se revisa cuidadosamente la existencia de fugas o averías en las que se provoque el desperdicio del fluido.

### **Acciones preventivas en activación de sistema de potencia**

El sistema de potencia se conforma del actuador mecánico y demás componentes eléctricos con las que el operador tiene contacto frecuentemente, las prácticas preventivas orientadas a proteger el motor eléctrico son las siguientes:

- Inspección eléctrica, realizar una revisión de la línea de alimentación hacia el motor, comprobar la tensión de  $110 V_{ac}$  de manera regular antes de iniciar el proceso.
- Inspecciones regulares, esta actividad involucra inspecciones visuales y auditivas sobre el motor para llevar a la identificación de desgaste interno o sobrecalentamiento. Esta práctica se desarrolla durante cada proceso operativo.
- Limpieza y ventilación, identificar polvo en el motor o sus entornos que puedan ocasionar la obstrucción en la ventilación del motor.
- Alineación, esta práctica se orienta al balanceo de los ejes entre motor y reductor de velocidad, actividad que se desarrolla semanalmente para evitar vibraciones y desgaste.
- Registro de mantenimiento, si en ocasiones se ejecutan acciones correctivas importantes sobre el actuador, llevar a cabo el registro con hora, fecha y año de mantenimiento.

### **Acciones preventivas en sistema de transmisión de potencia**

Mantener un sistema de transmisión de cadena en buen estado es crucial para asegurar su eficiencia y extender su vida útil. Se describen a continuación las principales acciones preventivas.

- Aplicación regular de lubricante, asegurar la aplicación periódica de lubricante a la cadena. Esto contribuirá a disminuir la fricción y el desgaste entre los eslabones de la cadena, prolongando su durabilidad.
- Limpieza, es fundamental mantener la cadena libre de suciedad, polvo y otros residuos. La acumulación de estas partículas puede acelerar el deterioro y obstaculizar una lubricación efectiva.
- Inspección visual, llevar a cabo inspecciones regulares para detectar cualquier señal de desgaste, daño en los eslabones o posibles puntos de tensión.
- Inspección de tensión, se debe asegurar que la cadena mantenga una tensión dentro de un rango moderado. Una cadena demasiado floja podría salirse de la transmisión, mientras que una tensión excesiva podría incrementar el desgaste y la carga en los componentes.

- Alineación, verificar que la cadena esté correctamente alineada con los piñones, un índice de esta ocurrencia es el ruido que se genera.
- Prevención de la corrosión, verificar la exposición de la cadena a los ambientes húmedos o corrosivos que afecten a la vida útil.

### **Acciones preventivas en proceso de lavado de bidones**

El proceso de lavado de los recipientes de leche involucra el cuidado y mantenimiento de los componentes que están en contacto con los bidones, estos elementos son los cepillos industriales, el mantenimiento preventivo se describe a continuación:

- Verificación de giro, se observa el giro de los cepillos industriales de manera que no existan vibraciones o ruidos durante el lavado.
- Precaución de sobrecarga, esta acción se realiza en todos los procesos de lavado considerando que están diseñados para lavar bidones de aluminio de 40 litros de leche, no se debe forzar en ninguna instancia con bidones de otras características.
- Cuidado de los filamentos, no desprender los filamentos de los cepillos y desarrollar una revisión frecuente de la condición momentánea.
- Verificación de holgura, garantizar que los bidones de leche no presenten mayores esfuerzos para el ingreso hacia los cepillos.
- Utilización de detergente, introducir detergente al agua para mejorar la remoción de bacterias y disminuir tiempo de lavado.

### **Acciones preventivas en finalización de proceso**

Cuando la etapa de lavado finalice, es importante considerar algunas prácticas de prevención enfocadas en el cuidado de todo el sistema de lavado.

- Inspección de componentes, asegurar después de cada operación que los componentes del sistema de lavado permanezcan en excelente estado.
- Desactivación de tablero eléctrico, al finalizar el proceso de lavado de bidones, retirar alimentación del tablero eléctrico.

Las acciones preventivas señaladas anteriormente llevan a cuidar el sistema de lavado además de prolongar la vida útil de los componentes mecánicos, es necesario otras recomendaciones como

limpieza de tanque de almacenamiento de agua, limpieza de gabinete eléctrico y comprobaciones de intensidades de corriente de forma periódica que pueden ampliar las acciones correctivas.

En la Tabla 3-32 se muestra un resumen de las actividades de mantenimiento preventivo para el cuidado de la máquina de lavado.

**Tabla 3-32:** Acciones de mantenimiento preventivo.

<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>						
<b>Acción</b>	<b>Diario</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>Trimestral</b>	<b>Semestral</b>	<b>Anual</b>
Lavar tanque de almacenamiento de agua	✓					
Limpiar caja de sistema de transmisión de potencia		✓				
Limpiar gabinete eléctrico			✓			
Verificar fugas de agua en tanque de almacenamiento	✓					
Lubricar cadena de transmisión y rodamientos		✓				
Verificar tensión de cadena de transmisión				✓		
Inspeccionar estado de filamentos de los cepillos		✓				
Verificar alineación de ejes de motor y reductor de velocidad					✓	
Inspeccionar calentamiento de motor eléctrico	✓					

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### **3.8. Evaluación de costos**

Para la evaluación de los costos de lavadora automática de bidones de leche se considera todos los componentes necesarios para su construcción, ensamblaje e implementación de este sistema. Esto incluye tanto los costos directos como los costos indirectos asociados a cada módulo de la máquina, así como los elementos generales requeridos para su funcionamiento. Además, se deben tener en cuenta los gastos relacionados con el estudio y la ejecución del proyecto.

#### **3.8.1. Costos directos**

Son costos que se relacionan a la materia prima y elementos que conforman directamente en la máquina de lavado, se incluyen rubros de parte eléctrica y mecánica. Partiendo de este punto se

tienen: costos de elementos normalizados, costos de material y, costos de fabricación y mano de obra.

### 3.8.1.1. Costo de elementos normalizados

Los elementos normalizados como rodamientos, chumaceras, piñones y cadenas fueron adquiridos en RODAMIENTOS Y RETENEDORES VILLACRÉS - RIOBAMBA. Mientras que los elementos de sujeción como pernos, tuercas y arandelas de presión se los adquirieron en DISTRIBUIDORA EL PERNO - RIOBAMBA. Los costos de estos elementos normalizados se detallan en la Tabla 3-33.

**Tabla 3-33:** Costo de elementos normalizados.

<b>COSTO DE ELEMENTOS NORMALIZADOS</b>				
<b>Elemento</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Chumacera NTN 1"	u	1	9,6	9,6
Rodamiento NTN 1"	u	4	7,77	31,08
Motor monofásico 1 HP	u	1	160	160
Reductor de velocidad i15	u	1	75	75
Piñón ZSG 40B12	u	2	8	16
Piñón ZSG 40B16	u	1	10	10
Cadena 40B 1300mm	u	1	14,25	14,25
Retenedores	u	4	3	12
Válvula esférica de bronce 1"	u	1	5,5	5,5
Perno y tuerca de acero inoxidable M8x16	u	8	0,25	2
Arandela de presión d10	u	8	0,1	0,8
Perno y tuerca de acero inoxidable M6x10	u	10	0,25	2,5
Codo a 90° inoxidable 1"	u	1	4,95	4,95
Contactador MC1D-1811	u	1	12,94	12,94
Relé térmico LR2-D1316	u	1	10,27	10,27
Breaker LWBX-63 6KA 2p-16	u	2	5,97	11,94
Temporizador ON/OFF analógico	u	1	8,2	8,2
Pulsadores ON/OFF	u	2	2,12	4,24
pulsador de emergencia	u	1	2,64	2,64
Luces piloto	u	3	1,26	3,78
Borneras	u	1	1,58	1,58
Cable AWG 14 (3metros)	u	1	1,2	1,2
Riel eléctrico RIEL35	u	2	2,28	4,56
Gabinete eléctrico	u	1	28,2	28,2
			<b>TOTAL</b>	<b>343,68</b>

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.8.1.2. Costo de materiales

Los elementos construidos son materiales como cuerpo de máquina de lavado, estructura de soporte, tapas de tina de lavado y placas de sujeción, estos fueron fabricados en ALFA INOX, ubicado en la ciudad de Riobamba. Los cepillos industriales fueron fabricados por la empresa Sanlejiza en la ciudad de Guayaquil. Los costos de materiales se detallan en la Tabla 3-34.

**Tabla 3-34:** Costo de materiales.

<b>COSTO DE MATERIALES</b>				
<b>Material</b>	<b>Unidades</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Total [USD]</b>
Plancha de acero inoxidable (2440x1220x2mm)	u	2	238,4	476,8
Tubo cuadrado AISI 304 (1-1/2"x1,5mm)	u	1	71,78	71,78
Tubo redondo AISI 304 (2" 200x4mm)	u	2	4,15	8,3
Tubo redondo AISI 304 (1" 1000x1mm)	u	1	7,2	7,2
Placa de acero A36 (600x300x8mm)	u	1	24,5	24,5
Tubo cuadrado AISI 304 (1" 700x1mm)	u	1	5,2	5,2
Rodillos de Nylon (80x20mm)	u	2	4,85	9,7
Cepillo plano de Nylon	u	1	70	70
Cepillo cilíndrico de Nylon	u	1	420	420
Cepillo cabeza esférica de Nylon	u	1	210	210
			<b>TOTAL</b>	<b>1303,48</b>

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.8.1.3. Costo de fabricación y mano de obra

Estos costos se relacionan con el tipo de proceso ejecutado para desarrollar la infraestructura de la máquina de lavado, además de reconocer el costo de mano de obra necesario para el montaje y puesta en marcha del sistema. A continuación, estos costos se muestran en la Tabla 3-35.

**Tabla 3-35:** Costo de fabricación y mano de obra.

<b>Costo de fabricación y mano de obra</b>			
<b>Proceso</b>	<b>Duración (Hrs.)</b>	<b>Costo/Hora</b>	<b>Costo Total</b>
Corte láser	2	3,2	6,4
Doble de metal	3	2,8	8,4
Soldadura	4	3	12
Taladrado	1	1,2	1,2
Pulido	2	3	6
Ensamblaje y mano de obra	18	3	54
			<b>TOTAL</b>
			<b>88</b>

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



### 3.8.2. Costos indirectos

Los costos indirectos se describen como gastos económicos que no afectan el material principal de la máquina de lavado, pero son indispensables para la fabricación. Se destaca la investigación, diseño, análisis, transporte e imprevistos que puede generar el proceso de construcción. A continuación, estos costos se muestran en la tabla 3-36.

**Tabla 3-36:** Costos indirectos de fabricación.

<b>Costos indirectos de fabricación</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Ingeniería de diseño	120
Transporte de materiales	80
Imprevistos	120
<b>TOTAL</b>	<b>320</b>

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 3.8.3. Costo total

A partir de los costos de elementos normalizados, materiales y costos indirectos de fabricación, se desarrolla un resumen del costo total de la máquina de lavado automático en la Tabla 3-37.

**Tabla 3-37:** Costo total de la máquina.

<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Total [USD]</b>
Costo de elementos normalizados	343,68
Costo de materiales	1303,48
Costo de fabricación y mano de obra	88
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1735,16</b>
Costos indirectos de fabricación	320
<b>TOTAL</b>	<b>2055,16</b>

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través del análisis funcional se determinó la alternativa más adecuada para el sistema de lavado automático de bidones de leche, que principalmente consta de: tina de lavado inoxidable, tubos inoxidables, motor monofásico de 1 HP, sistema de transmisión cadena-piñón, cepillos industriales de nylon, ejes de acero inoxidable y tablero eléctrico. Cada uno de estos componentes cumplen su función principal para desarrollar el lavado de bidones de leche en un lapso corto.

El análisis de resultados hace un enfoque a los datos, mediciones y observaciones del desempeño mecánico y eléctrico del sistema de lavado de bidones, en este capítulo se detallan los procedimientos de pruebas estructurales y funcionamiento operativo. Además, observaciones durante la utilización de la máquina por parte de los proveedores de leche.

#### 4.1. Análisis estructural

Se empleó el software ANSYS para llevar a cabo el análisis estructural y la validación de los resultados de esfuerzos en este capítulo. La plataforma se utilizó para desarrollar modelos estructurales de la máquina en tres fases distintas de simulación.

En la primera fase, se simula el comportamiento de los elementos de soporte que sustentan la máquina, examinando tanto la tensión axial como la flexión. La segunda etapa se enfoca en el análisis del tanque de almacenamiento de agua, evaluando las presiones ejercidas por el fluido sobre sus paredes mediante criterios específicos.

En la última fase de simulación, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los ejes de los cepillos. Estos ejes son validados utilizando los principios fundamentales del diseño de ejes. El resultado obtenido incluye factores de seguridad que garantizan la vida útil y el rendimiento confiable de los ejes a lo largo del tiempo.

##### 4.1.1. Validación de los ejes de los cepillos

En cuanto al análisis de ejes principales de los cepillos industriales, se utilizó los fundamentos del diseño a fatiga de elementos mecánicos, encontrando valores de análisis de tensiones, desplazamientos y factor de seguridad.

El sistema de lavado consta de dos cepillos industriales con ejes de acero inoxidable, estos ejes se analizan por separado considerando el análisis estático correspondiente.

#### 4.1.1.1. Validación de eje de cepillo cilíndrico

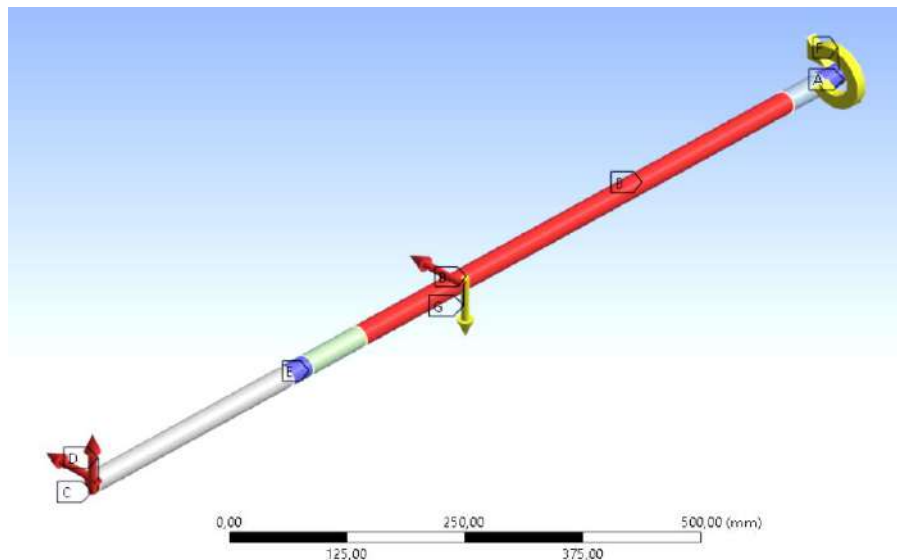
Se colocan las condiciones de apoyo del eje al igual que las fuerzas que interactúan en los diferentes sentidos. Estas fuerzas son provocadas por las cargas como peso de bidón, peso de cepillo industrial y la carga propia del material del eje.

**Tabla 4-1:** Análisis de elementos finitos para eje de cepillo cilíndrico.

Resultados de elementos finitos para eje de cepillos			
Descripción	Clase de análisis	Resultado mínimo	Resultado máximo
Tensiones	Von Mises	0,001191 MPa	18,031 MPa
Desplazamientos	Desplazamiento resultante	0 mm	0,22
Factor de seguridad	Automático	2,27	
Propiedades del material			
Nombre comercial	Acero inoxidable AISI 304		
Límite elástico	207 MPa		
Límite a tracción	586 MPa		

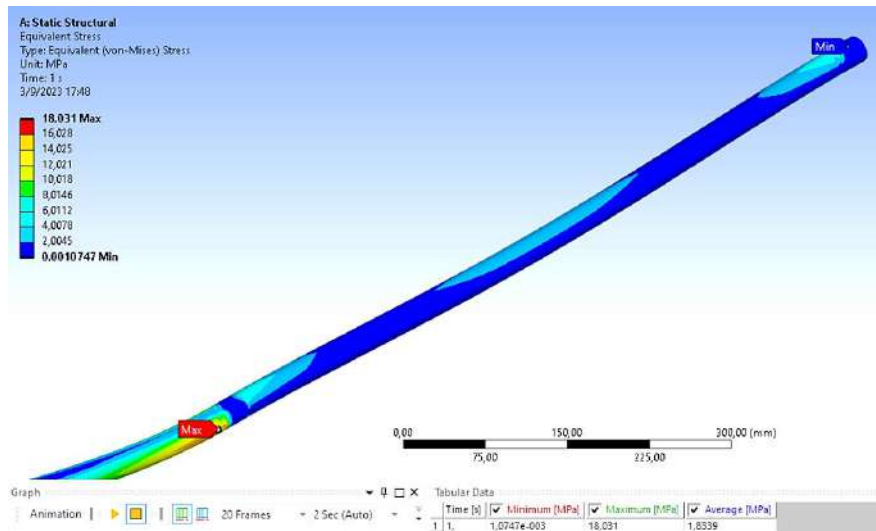
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Las tensiones máximas en el eje son de 18,031 MPa y el límite elástico del material es de 207 MPa, esto indica que el eje puede soportar esfuerzos que actúan a lo largo de su eje longitudinal. Del mismo modo, desplazamientos de 0.22 mm y un factor de seguridad de 2,27 garantizan la integridad del elemento en cuanto a resistencia mecánica.



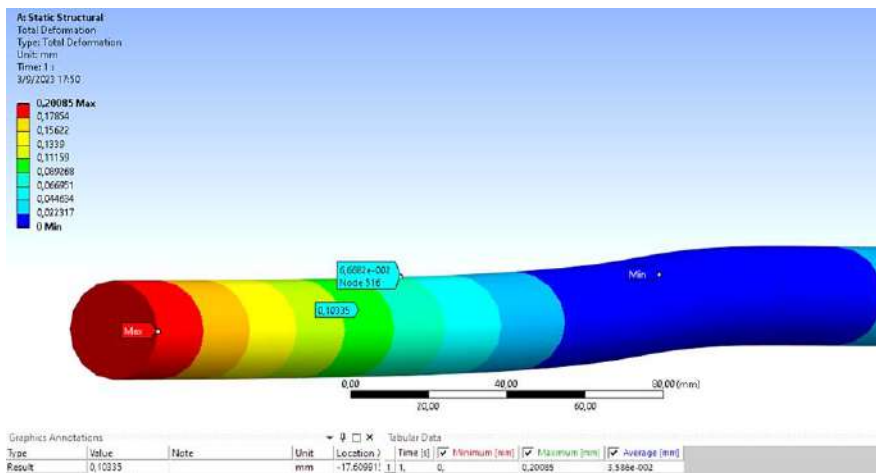
**Ilustración 4-1:** Análisis estático de eje de cepillo.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



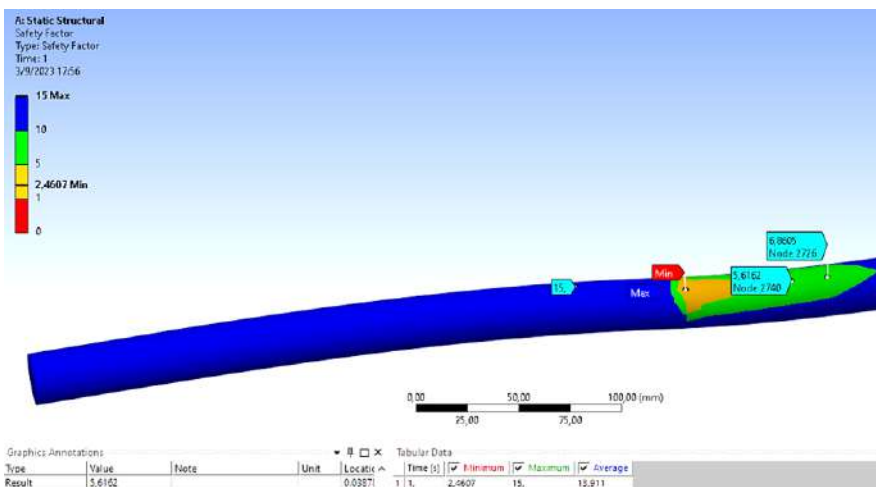
**Ilustración 4-2:** Análisis de tensiones de los ejes.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-3:** Análisis de desplazamiento de eje.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-4:** Factor de seguridad del eje.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 4.1.1.2. Validación de eje de cepillo cabeza semiesférica

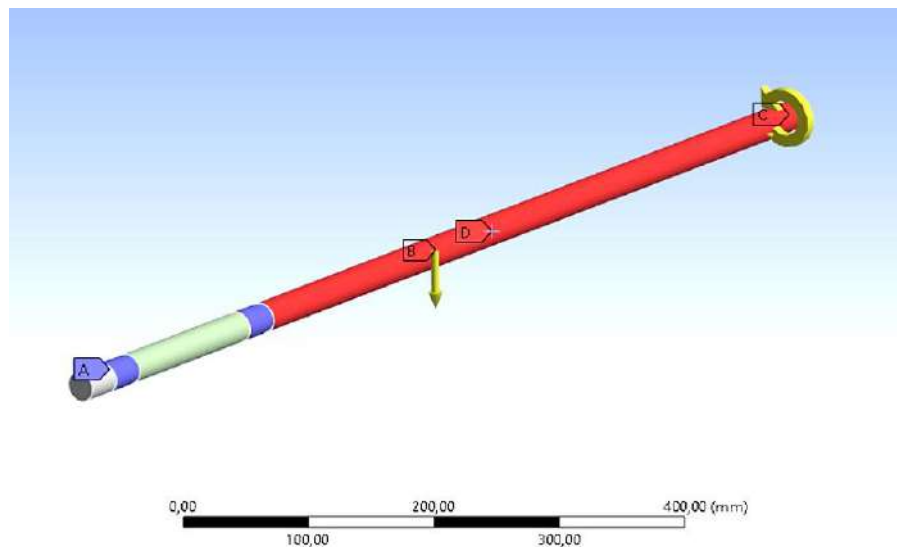
En este cepillo se colocan las cargas que soporta el eje en su dirección longitudinal, como son carga del bidón de 40 litros, carga de cepillo industrial, peso propio de acero inoxidable; materia prima del eje.

**Tabla 4-2:** Análisis de elementos finitos para eje de cepillo cabeza semiesférica.

Resultados de elementos finitos para eje de cepillos			
Descripción	Clase de análisis	Resultado mínimo	Resultado máximo
Tensiones	Von Misses	0,0000218 MPa	95,485 MPa
Desplazamientos	Desplazamiento resultante	0 mm	1,19 mm
Factor de seguridad	Automático	2,167	
Propiedades del material			
Nombre comercial	Acero inoxidable AISI 304		
Límite elástico	207 MPa		
Límite a tracción	586 MPa		

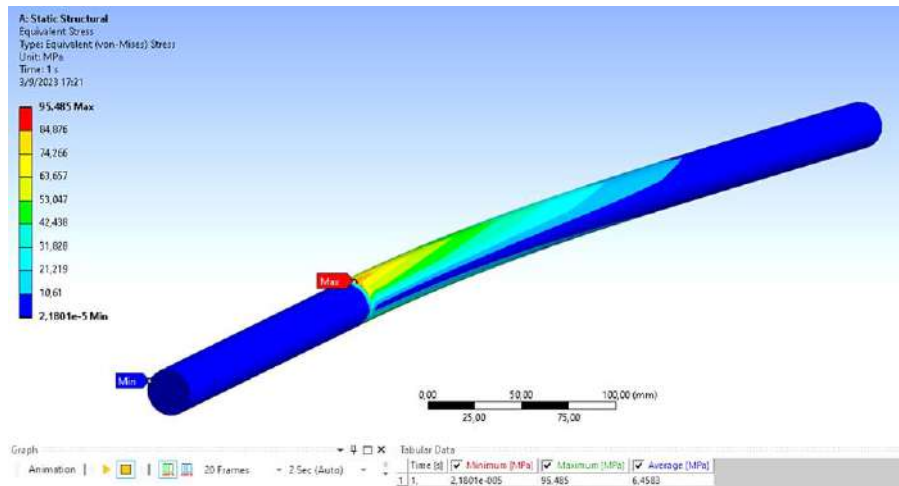
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Las tensiones máximas en el eje son de 95,485 MPa y el límite elástico del material es de 207 MPa, esto indica que el eje puede resistir estos esfuerzos que actúan a lo largo de su eje longitudinal. Asimismo, los desplazamientos de 1,19 mm y un factor de seguridad de 2,167 garantizan la integridad del elemento en cuanto a resistencia mecánica.



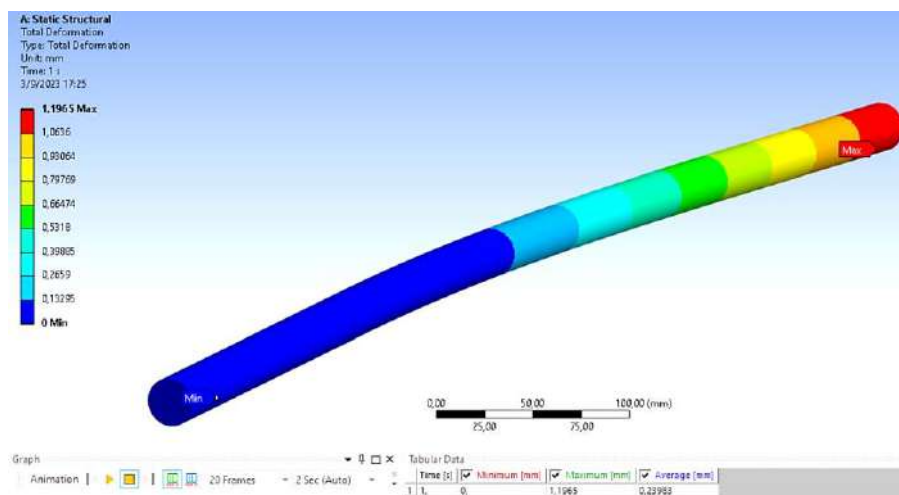
**Ilustración 4-5:** Análisis estático de eje de cepillo.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



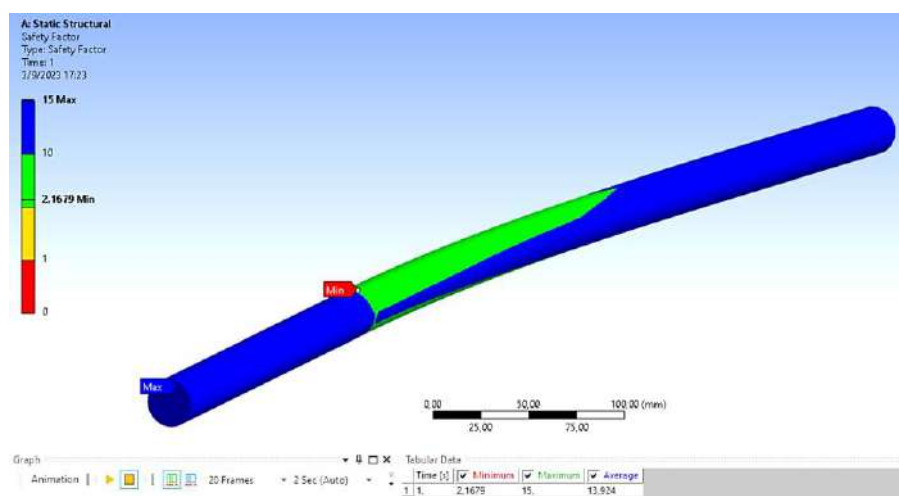
**Ilustración 4-6:** Análisis de tensiones de los ejes.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-7:** Análisis de desplazamiento de eje.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-8:** Factor de seguridad del eje.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### 4.1.2. Validación del tanque de almacenamiento

Otro de los componentes que es importante analizar es el tanque de almacenamiento de agua, ya que para el proceso siempre tiene que estar lleno para garantizar el lavado de los bidones. Por ende, hay que verificar la resistencia que tiene el mismo. Gracias al método FEA que ofrece el software ANSYS se puede realizar un análisis minucioso de cada uno de los elementos más críticos de la máquina. A continuación, se detalla los puntos analizados en este componente.

- Calidad de malla

Uno de los pasos principales en este tipo de análisis es verificar la calidad de mallado que tiene el tanque, para ello, se da clic en *Mesh > Generate mesh* y se procede a interpretar los resultados. Para su estudio se toma el evaluador de malla *Element Quality* obteniendo los valores que se muestran en la Ilustración 4-9.

Details of "Mesh"	
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,26605
<input type="checkbox"/> Max	0,99947
<input type="checkbox"/> Average	0,8797
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,22979
Inflation	
Batch Connections	

**Ilustración 4-9:** Datos mínimos y máximos de la calidad del mallado.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Ahora bien, como se puede visualizar la calidad de malla del tanque es buena ya que se realiza una comparación mediante una tabla que muestra los valores máximos que debe alcanzar un mallado de alta calidad, a continuación, se presenta en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Referencia de datos según los evaluadores de falla.

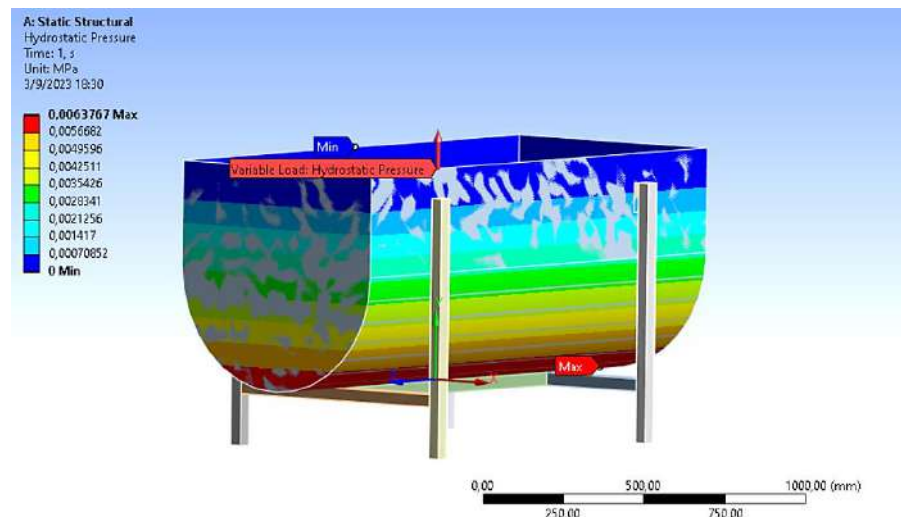
	Minimum	Maximum	Average	Standard Deviation	Correct
Element Quality	-4.58E-4	0.999	0.7570	0.2025	1
Aspect Ratio	1	94.942	2.3903	2.1655	1
Jacobian Ratio	1	38.141	1.0829	0.3531	1
Warping Factor	0	0.42	1.1475	0.01389	0
Parallel Deviation	0	135.56	2.4901	7.66	0
Maximum Corner Angle	62.228°	178.71°	94.101°	9.4292°	90 - cuadrilateral
Skewness	1.30E-10	0.999	4.82E-2	0.11	0 – 0.25

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Por lo tanto, la calidad de malla del tanque se tiene un valor de 0.8797, el mismo sobrepasa el valor referencial que ofrece el evaluador de malla Element Quality que es de 0.7570. Por otro lado, la desviación estándar es un parámetro importante para el análisis de calidad de malla, debe ser un numero ya muy cercano a cero siendo en este caso de 0.22979. Por lo tanto, se concluye que el mallado es aceptable y de excelente calidad.

#### - Cargas y condiciones de apoyo

Inicialmente se colocan las cargas que soporta la estructura metálica de acero inoxidable como lo son, peso propio de tanque de almacenamiento y presión hidrostática de agua sobre las paredes del tanque de lavado, esta simulación se realiza considerando que el fluido utiliza todo el volumen disponible, es decir un análisis a tanque lleno.



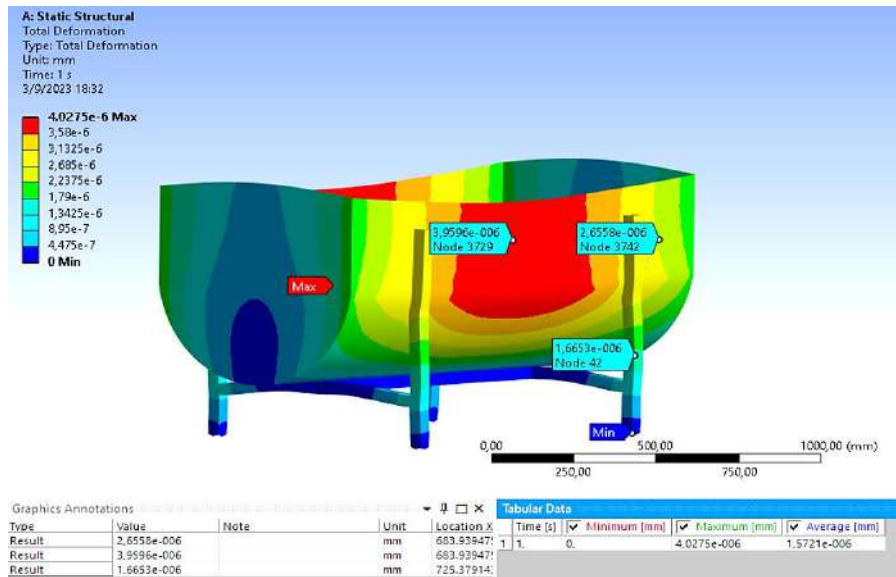
**Ilustración 4-10:** Cargas y condiciones de apoyo.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

#### - Deformación total

Una vez colocado los soportes en la estructura y la Presión Hidrostática que genera el agua en el tanque se procede a resolver el análisis dando clic en *Solve* para poder obtener todos los resultados, entre ellos la deformación total máxima, el esfuerzo máximo y el factor de seguridad del elemento analizado. En la Ilustración 4-11 se muestra la deformación máxima del tanque, misma que se produce por la presión del agua, se tiene un valor de  $4.0275 \times 10^{-6}$  mm siendo una deformación mínima ya que el material tiene un espesor de 2 mm siendo muy resistente a las cargas presentes.



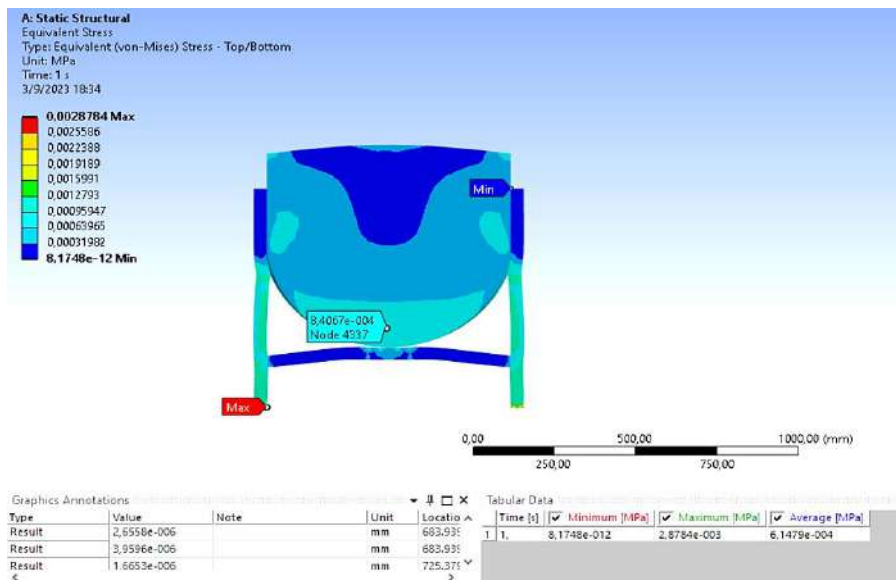


**Ilustración 4-11:** Deformación máxima del tanque.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

- Esfuerzo equivalente de Von Mises

Ahora bien, en la Ilustración 4-12 se muestra el esfuerzo equivalente de Von Mises que se produce en el tanque. Siendo un valor de  $287.84 \times 10^{-3}$  MPa.



**Ilustración 4-12:** Esfuerzo máximo producido en el tanque.

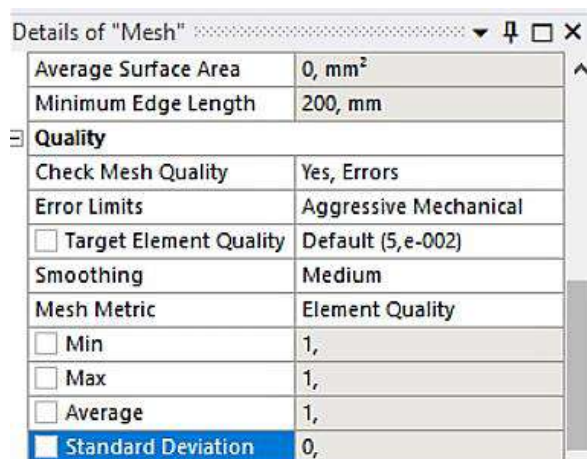
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 4.1.3. Validación de la estructura metálica

Por otro lado, otro de los componentes que es importante analizar es la estructura de soporte, ya que aquí va a caer todo el peso del tanque y los componentes como los cepillos, piñones, cadenas, motor, entre otros elementos. Por ende, hay que verificar la resistencia que tiene el mismo. Con el software ANSYS se puede realizar un análisis amplio de cada uno de los elementos mostrando los puntos más críticos de la estructura. A continuación, se detalla los puntos analizados en este componente.

#### - Calidad de malla

En todos los elementos la calidad de malla es un parámetro muy importante que se tiene que analizar. Se da clic en *Mesh > Generate mesh* y se procede a interpretar los resultados. Para su estudio se toma el evaluador de malla *Element Quality* obteniendo los valores que se muestran en la Ilustración 4-13.



Details of "Mesh"	
Average Surface Area	0, mm <sup>2</sup>
Minimum Edge Length	200, mm
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	1,
<input type="checkbox"/> Max	1,
<input type="checkbox"/> Average	1,
<input checked="" type="checkbox"/> Standard Deviation	0,

**Ilustración 4-13:** Calidad de malla de la estructura.

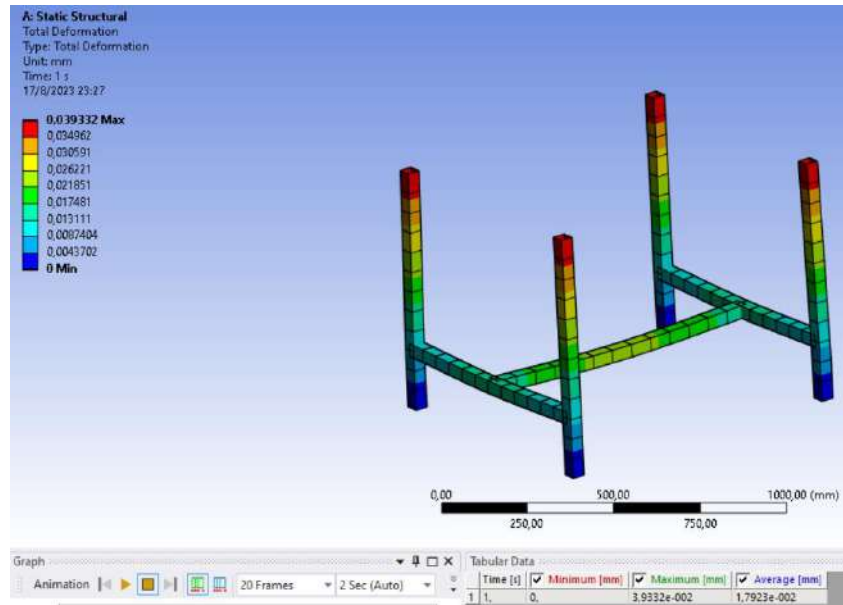
Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Como se puede visualizar la calidad de malla de la estructura es correcta y excelente, ya que tiene un valor de 1 y una desviación estándar de cero, cumpliendo con los valores referentes que ofrece la Tabla 4-3. Concluyendo que el mallado es aceptable y de excelente calidad.

#### - Deformación total

Una vez colocado los soportes en la base de la estructura y la fuerza aplicada en cada una columna se procede a resolver el análisis dando clic en *Solve* para poder obtener todos los resultados, entre ellos la deformación total máxima, fuerzas axiales, diagramas de momento flector y las reacciones que se producen en los apoyos. En la Ilustración 4-14 se muestra la deformación máxima que

tiene un valor de 0.039332 mm siendo una deformación mínima ya que el perfil es de (1 ½” y 1.5 mm) siendo muy resistente a las cargas presentes aplicadas.

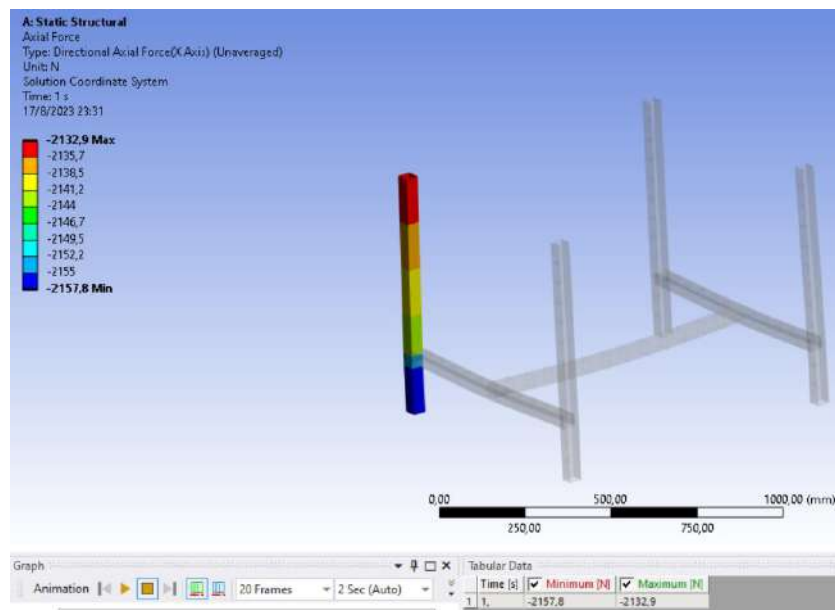


**Ilustración 4-14:** Deformación total de la estructura de soporte.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

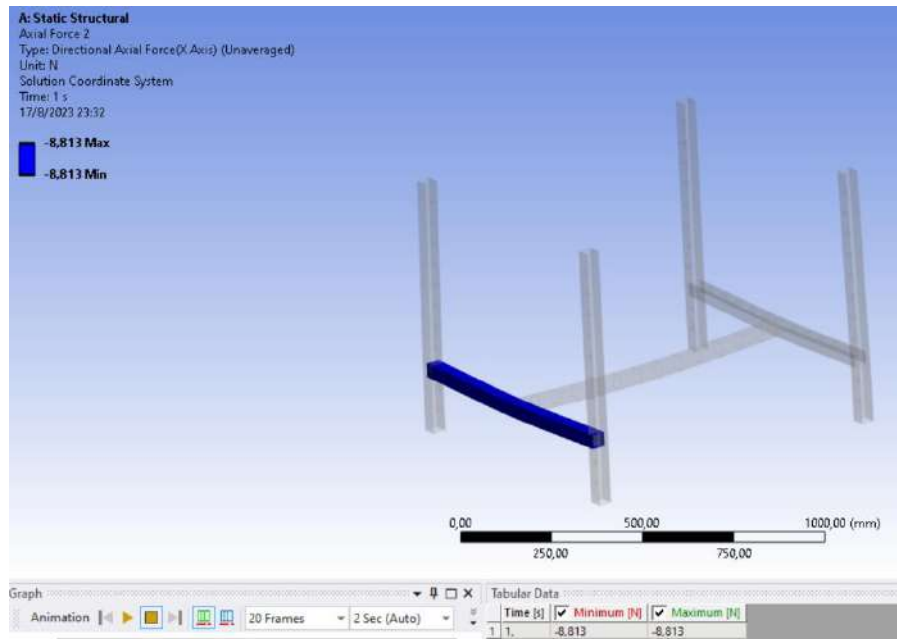
- Fuerzas axiales en perfiles tubo 1 ½” x 1.5 mm

A continuación, se presentan las fuerzas axiales de cada uno de los elementos de la estructura de soporte, como la columna [2132.9 N] y las vigas [8.813 N y 0.83786 N respectivamente].



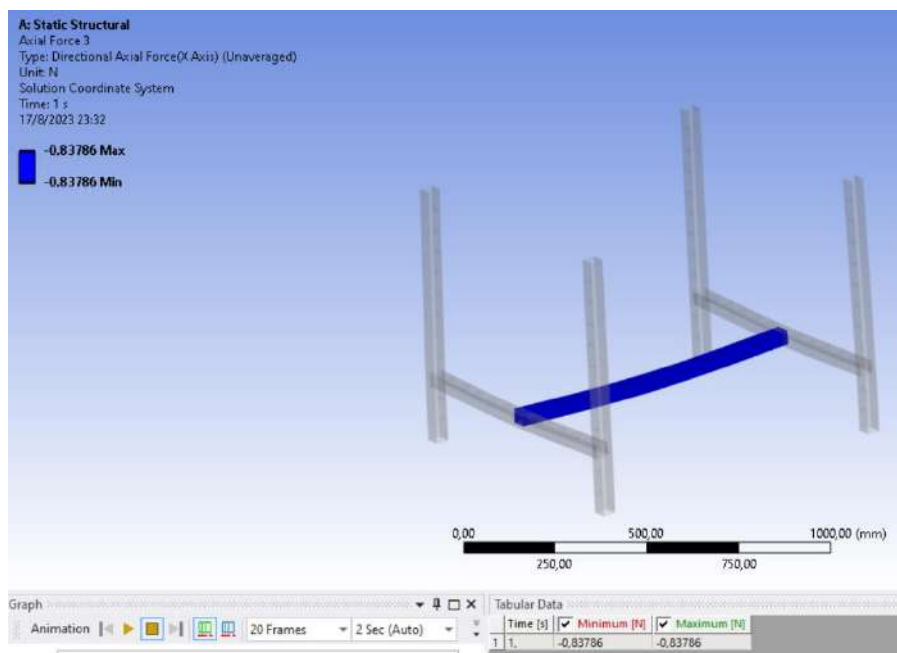
**Ilustración 4-15:** Fuerza axial de la columna.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-16:** Fuerza axial de la viga lateral.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

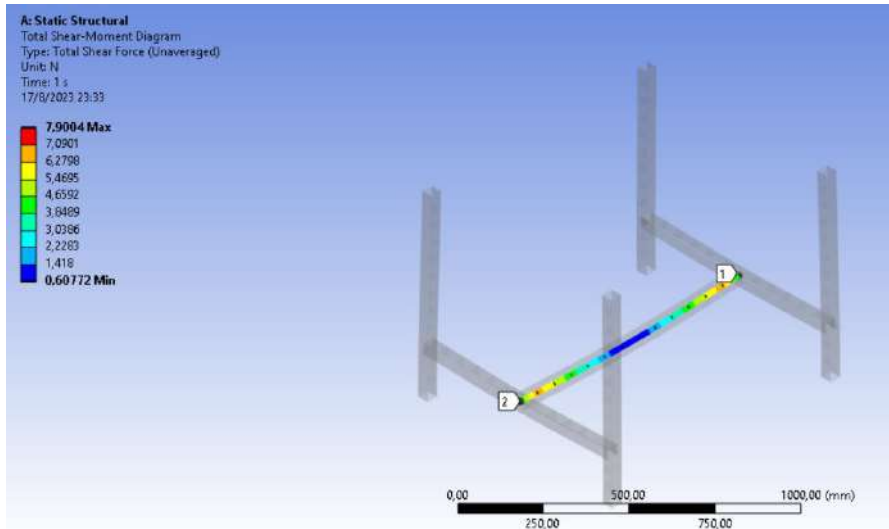


**Ilustración 4-17:** Fuerza axial de la viga central.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

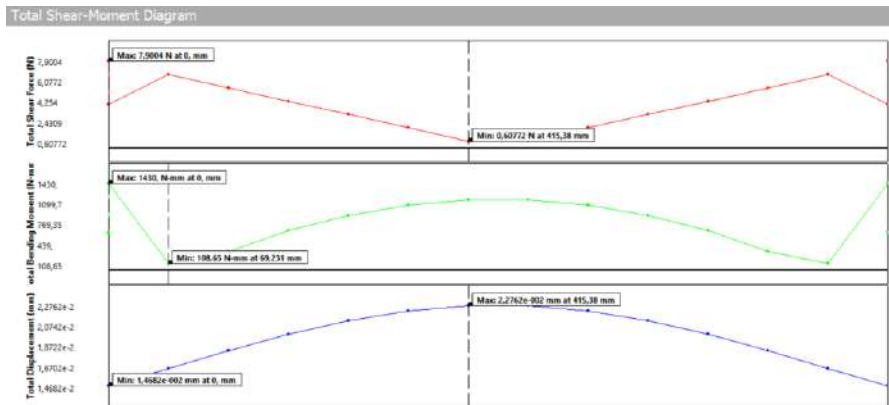
- Diagrama de momentos flectores

Por otro lado, las vigas de la estructura son analizadas para determinar los diagramas de momento flector que se generan en cada una, en las siguientes Ilustraciones se muestra el análisis de la viga central y la viga lateral.



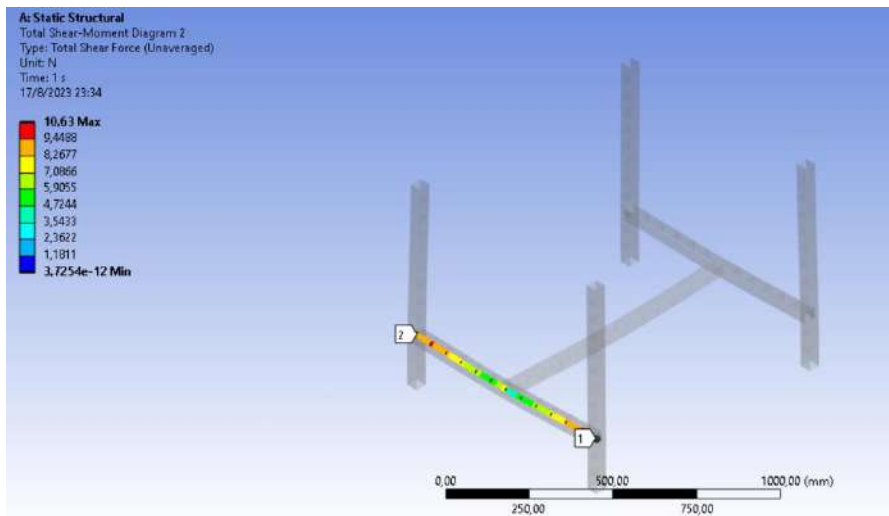
**Ilustración 4-18:** Path de la viga central.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



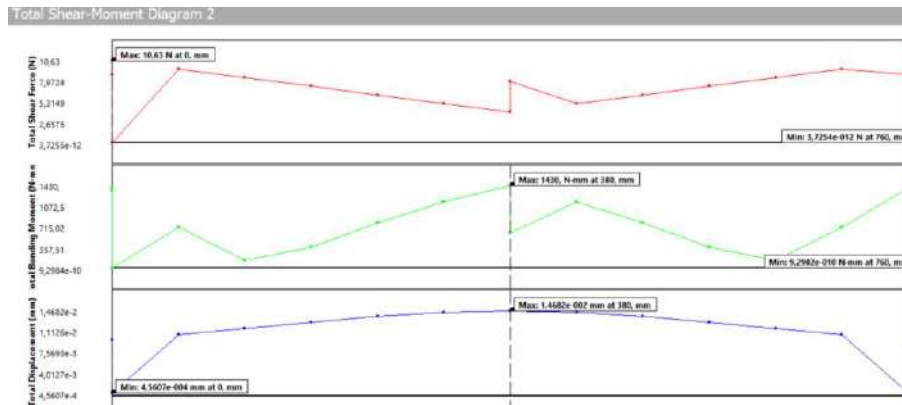
**Ilustración 4-19:** Diagramas de cortante y momento flector de la viga central.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-20:** Path de la viga lateral.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

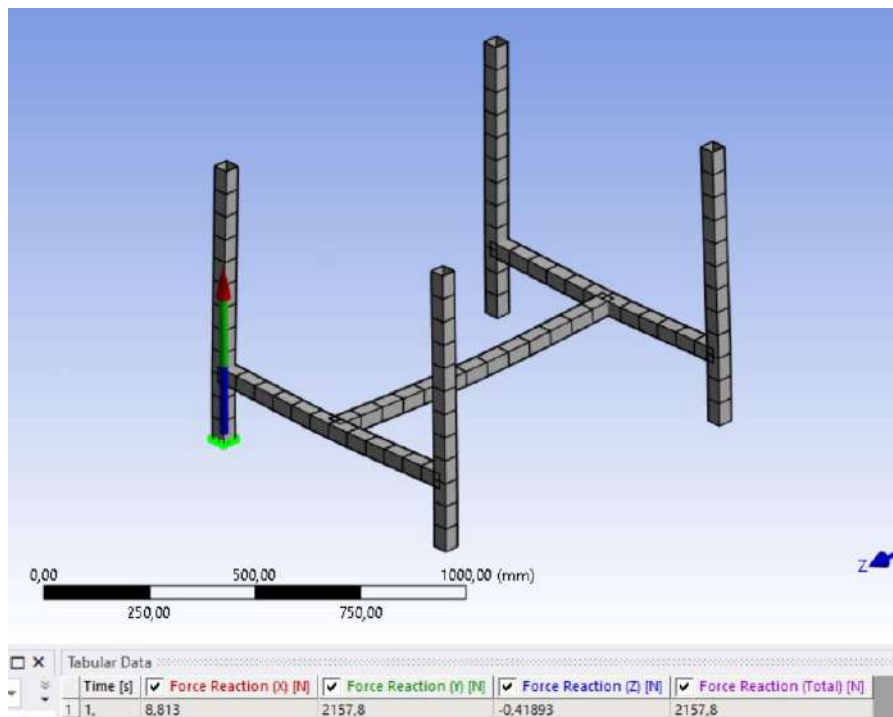


**Ilustración 4-21:** Diagramas de cortante y momento flector de la viga lateral.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

- Fuerzas de reacción

Posteriormente se procede a calcular las fuerzas de reacción que se generan en los apoyos de la estructura de soporte, el valor total de fuerzas de reacción es de 2157.8 N, en la Ilustración 4.22 se muestra este análisis.

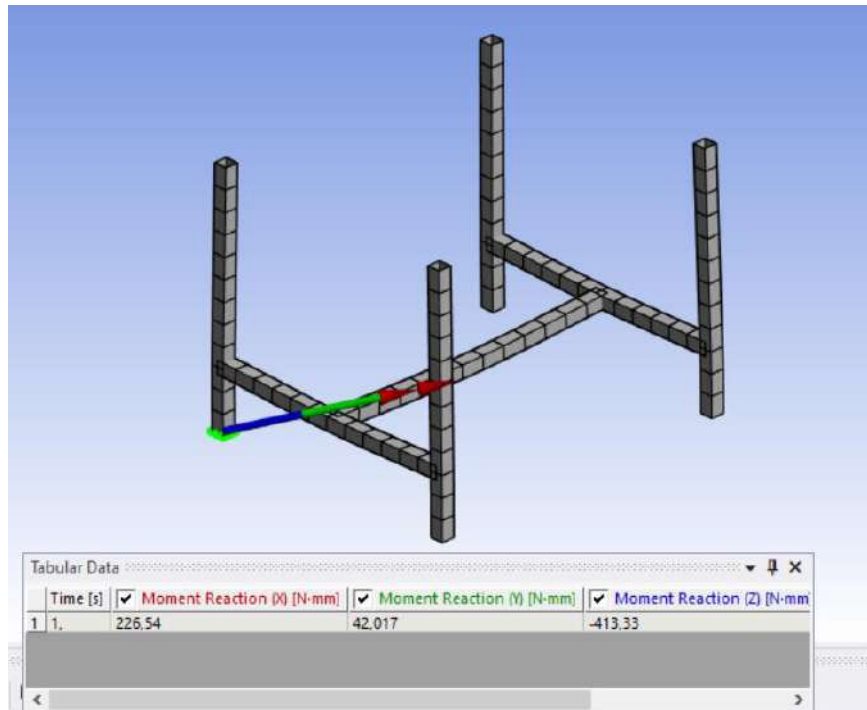


**Ilustración 4-22:** Fuerza de reacción en los apoyos.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

- Momentos en los apoyos

Finalmente, se calcula los momentos generados en los apoyos, siendo un valor de 226.54 Nmm para el eje “X”, 42.017 Nmm para el eje “Y” y -413.33 Nmm en el eje “Z”, esto se muestra en la Ilustración 4-23.



**Ilustración 4-23:** Momento generado en los apoyos de la estructura.

Realizado por: Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

## 4.2. Resultados operativos

El diseño del sistema de lavado seleccionado en el análisis funcional da como resultado una máquina muy compacta, brindando así al usuario la confiabilidad durante el proceso de lavado. Esta máquina consta de un tanque de lavado de acero inoxidable AISI 304 2B mate, estructura metálica con tubos cuadrados de 1 ½” x 1,5 mm, placa de sujeción para piñones y ejes, sistema de transmisión de cadena, motor monofásico, cepillos industriales de nylon, rodamientos y panel eléctrico para el control.

Para pruebas de funcionamiento, se instaló el sistema de lavado automático en el centro de acopio “El REFUGIO” ubicada en la comunidad de San Rafael perteneciente al cantón Guano. Los proveedores y socios del centro de acopio utilizaron la máquina con el acompañamiento técnico del tesista, facilitando las instrucciones de uso y precauciones tanto eléctricas como mecánicas.

Durante la etapa inicial de instalación, se pudo identificar la existencia de una pendiente en el área designada para la máquina. Reconociendo la importancia crucial de mantener una alineación precisa durante todo el funcionamiento, se tomó la decisión de abordar este desafío de manera proactiva. En consecuencia, se optó por la instalación estratégica de bases de nivelación. Este enfoque no solo permitió superar de manera efectiva la pendiente detectada, sino que también garantizó una alineación óptima a lo largo de la operación continua de la máquina.

Varios bidones de leche tenían un porcentaje diferente de suciedad, por lo que el tiempo de 1 minuto y 30 segundos preconfigurados inicialmente no fueron suficientes para los casos pertinentes, ante este inconveniente se configuró nuevamente el temporizador, dejando con un tiempo de lavado completo de 2 minutos para todos los casos. Este cambio provocó mejores resultados y satisfacción por los proveedores de leche.

Dentro del lote de bidones de leche, se notó una disparidad en los niveles de suciedad, lo que llevó a la conclusión de que el tiempo de lavado inicialmente establecido en 1 minuto y 30 segundos no cumplía con los requerimientos de limpieza en los casos específicos. Ante este desafío, se procedió a reajustar la configuración del temporizador. Se decidió implementar un tiempo de lavado completo de 2 minutos para todos los casos, lo que demostró ser una solución acertada.

Este ajuste en el tiempo de lavado tuvo un impacto significativo en la calidad de los resultados obtenidos. Los bidones de leche mostraron una limpieza más exhaustiva y, como resultado, los proveedores de leche experimentaron una notable mejora en la satisfacción. La adaptación inteligente a las necesidades cambiantes aseguró no solo una limpieza más efectiva, sino también una relación más sólida con los proveedores, resaltando la capacidad de configurar cualquier tiempo de lavado de acuerdo con las necesidades operativas.

En lo que respecta a los cepillos de lavado, es importante destacar su perfecto acople a los bidones de 40 litros, lo que asegura un proceso completo de limpieza tanto en la superficie interna como externa. Los filamentos de polipropileno, cuidadosamente seleccionados, demuestran su efectividad al no generar daños en el material de aluminio del recipiente de leche. Esto resulta en un nivel notable de calidad en el lavado.

Estos resultados radican en la implementación de un detergente en el agua utilizada. Esta adición contribuye en gran medida al aumento de los niveles de limpieza, logrando una remoción más profunda de los residuos.

Después de introducir agua limpia en el tanque de almacenamiento, el proceso de lavado se pone en marcha siguiendo una secuencia específica. Primero, se suministra energía al tablero eléctrico



mediante una conexión monofásica. A continuación, se activan los disyuntores correspondientes tanto para el control como para la alimentación (ver figura). Este procedimiento es seguido por la iluminación inmediata de la luz piloto roja, que indica claramente que el proceso se encuentra en estado de parada.

Los usuarios pueden acercarse al tablero eléctrico y pulsar el botón de marcha (color verde) para iniciar el giro de los cepillos, posteriormente se ingresan los bidones de leche como se muestra en la ilustración 4-24. En la Ilustración 4-25, en cambio se muestra el proceso de lavado en el transcurso del tiempo preconfigurado.



**Ilustración 4-24:** Ingreso de los bidones de leche.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-25:** Proceso de lavado del bidón de leche.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Al término de los 2 minutos, el motor se apaga y consecuentemente detiene el giro de los cepillos, el usuario se acerca y retira el bidón de leche limpio, esto se observa en la Ilustración 4-26 y la Ilustración 4-27, dando lugar a un nuevo usuario.



**Ilustración 4-26:** Retiro del bidón de leche.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023



**Ilustración 4-27:** Obtención de un bidón limpio.

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### **4.3. Evaluación de costos de mantenimiento**

Se realizó un análisis minucioso de los costos de mantenimiento que involucra el proceso operativo de la máquina de lavado de bidones. Esta evaluación contempló una amplia gama de

factores, abarcando desde el consumo eléctrico y su repercusión en el aspecto económico, hasta los costos relacionados con la sustitución de repuestos que experimentan desgaste a lo largo del tiempo. Este análisis integral permitió obtener una visión completa de los costos asociados a la operación y mantenimiento de la máquina.

#### *4.3.1. Consumo eléctrico*

Para identificar el consumo eléctrico de la máquina de lavado se toma en consideración la potencia del actuador mecánico como lo es el motor monofásico, este equipo es quien representa el mayor consumo energético a comparación de los dispositivos eléctricos del gabinete de control en el que su consumo es despreciable.

El consumo eléctrico se expresa en unidades de kilowatt-hora estas unidades representan a la multiplicación de la potencia del dispositivo eléctrico por el tiempo de uso.

$$\text{Consumo} = \text{Potencia} \times \text{Tiempo}$$

$$\text{Consumo} = \text{kiloWatt} \times \text{hora}$$

$$\text{Consumo} = \text{kWh}$$

El motor que utiliza el sistema de lavado es un motor monofásico de 1 HP que equivale a 0,75 kW de potencia. El tiempo que permanece encendido se relaciona directamente con el número de bidones disponibles en el lugar de operación.

En el centro de acopio “El Refugio” diariamente son 60 socios que poseen un bidón de 40 litros, mismos que hacen uso de la máquina de lavado automático. Esta cantidad de recipientes de leche se multiplica por el tiempo de dos minutos que demora en ser lavado, dando un resultado final de 120 minutos de operación. Cabe recalcar que este tiempo se duplica debido a las dos jornadas de entrega del producto en el centro de acopio; en la mañana y en la tarde. Este cálculo se determina a continuación:

$$\text{tiempo de operación} = \# \text{bidones} \cdot \text{tiempo de lavado por unidad} \cdot \# \text{jornadas}$$

$$\text{tiempo de operación} = 60 \text{ bidones} \cdot 2 \text{ minutos} \cdot 2$$

$$\text{tiempo de operación} = 240 \text{ minutos}$$

Con el tiempo de operación de la máquina o específicamente del motor eléctrico se puede establecer el consumo diario y mensual, así como la repercusión económica de mantener este sistema de lavado en funcionamiento. En la Tabla 4-4 se muestran están características.

**Tabla 4-4:** Costos de consumo eléctrico.

Jornada	# Bidones	Tiempo lavado /bidón (min)	Tiempo de operación (min)	Tiempo de operación (Hrs.)	Potencia del motor (kW)	Consumo eléctrico 30 DÍAS (kWh)	Precio USD/kWh	Precio Total USD/MES
Mañana	60	2	120	2	0,75	45	\$0,096	\$4,32
Tarde	60	2	120	2	0,75	45	\$0,096	\$4,32
							<b>TOTAL</b>	<b>\$8,64</b>

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

Como se observa en la tabla, es importante ingresar el costo promedio del kWh actual del Ecuador que equivale a 9,60 centavos o \$0,096 USD para multiplicar por el consumo total en 30 días, dando como resultado un gasto de \$8,64 dólares americanos, este valor puede variar mínimamente en función al tiempo de uso por los proveedores de leche y los usuarios. Si multiplicamos este valor por 12 meses se obtiene un valor de \$103,68 dólares americanos equivalentes al costo anual del consumo eléctrico.

#### 4.3.2. *Repuestos de máquina de lavado*

En el proceso de selección de repuestos para la máquina de lavado, hemos evaluado cuidadosamente los componentes críticos que inevitablemente se desgastan con el uso continuo y el paso del tiempo. Uno de estos componentes cruciales son los filamentos de los cepillos industriales.

Para garantizar un rendimiento óptimo y mantener la eficiencia del sistema de lavado, es esencial programar el reemplazo de los filamentos de los tres cepillos utilizados en el sistema. Este cambio debe llevarse a cabo anualmente, de acuerdo con las especificaciones del fabricante y en concordancia con la garantía del equipo. Esta práctica asegura la durabilidad y la operación sin problemas de la máquina de lavado a lo largo de su vida útil.

En ese sentido, el costo de mantenimiento de los filamentos se detalla en la siguiente Tabla 4-5.

**Tabla 4-5:** Costos de filamentos anuales.

Descripción	Costo USD
Filamentos de cepillo rotatorio 1	\$35,00
Filamentos de cepillo rotatorio 2	\$40,00
Filamento de cepillo plano	\$28,00
Mano de obra	\$20,00
Transporte	\$5,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$128,00</b>

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

### 4.3.3. Costo anual de mantenimiento

El costo total de mantenimiento en un año abarca los componentes antes mencionados, estos son los gastos relacionados con el consumo eléctrico y los costos asociados a los cambios de filamentos de los cepillos. Estos costos totales se describen en la Tabla 4-6.

**Tabla 4-6:** Costos anuales de mantenimiento.

<b>Rubro</b>	<b>Costo anual USD</b>
Consumo eléctrico	\$ 103,68
Cambio de filamentos	\$ 128,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 231,68</b>

**Realizado por:** Remache, Lisbeth; Duchi, Felix, 2023

El valor final de mantenimiento del sistema de lavado automático es de \$231,68 dólares americanos, monto que el centro de acopio empleará para el funcionamiento de la máquina cada año, siempre tomando en consideración el número de bidones que se lavan diariamente.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se logró con éxito el diseño y construcción de un sistema de lavado automático de bidones de leche. Este logro no solo facilita la limpieza, sino que también optimiza significativamente el tiempo de lavado, contribuyendo a la automatización eficiente del proceso.
- Una investigación exhaustiva del mercado de máquinas de lavado automático estableció una base sólida para nuestro desarrollo. A través de análisis detallados y evaluaciones, seleccionamos la alternativa más eficiente, resaltando nuestra atención a la calidad y la eficacia.
- Mediante el análisis de competencias se recopiló toda la información relativa a las características técnicas de las máquinas, así como de los diversos tipos de bidones utilizados en esta industria, esto con el fin de determinar los parámetros de mayor relevancia, logrando así concebir una visión sólida de nuestra máquina para su posterior diseño y construcción.
- Se realizó los cálculos de los componentes mecánicos que integran la máquina, como ejes de lavado, estructura de soporte, espesor adecuado para la construcción del tanque, entre otros, Además de esto, procedimos a la selección de elementos estandarizados como rodamientos, chumaceras, piñones y cadenas. Los ejes de lavado fueron diseñados con 1 in de diámetro, mientras que el tanque es 2 mm de espesor, para la estructura de soporte se optó por 1 ½” y 1.5 mm. Estas especificaciones cuidadosamente definidas aseguran la robustez y la eficacia operativa deseada de la máquina.
- La cuidadosa selección y cálculo de componentes mecánicos, respaldados por un diseño CAD preciso, garantizan la robustez y eficacia operativa de la máquina. La selección de acero inoxidable AISI 304 2B Mate asegura una solución confiable y funcional para la industria alimentaria.
- Para evaluar la durabilidad del diseño y la construcción de la máquina se realizó un análisis mediante software FEA. ANSYS nos proporcionó un análisis detallado de diversos factores cruciales como el peso de los componentes de la estructura, la capacidad de agua en el tanque, a través de esto, se obtuvieron las deformaciones y esfuerzo máximos de los elementos analizados, así también, los factores de seguridad. ANSYS nos permitió obtener resultados confiables, este enfoque respalda nuestra confianza en las dimensiones y materiales empleados, asegurando que la estructura puede soportar las condiciones operativas previstas con un margen adecuado de seguridad.

- Se llevó a cabo el proceso de fabricación de la maquina utilizando el método de soldadura TIG, elegido por su capacidad para ofrecer una calidad excepcional y asegurar la integridad estructural de la máquina. Además, se sometió al tanque a pruebas de agua asegurándonos que no exista filtraciones.
- Se realizó una serie de pruebas de funcionamiento de la máquina que abarcaron diversos aspectos esenciales como la seguridad de todos los componentes, la facilidad de entrada y salida del bidón de los cepillos de lavado y la verificación meticulosa de la velocidad de rotación de los cepillos. Se verificó que cada bidón pase por el proceso de lavado sin ningún inconveniente y con la máxima eficiencia.
- Verificando el funcionamiento de la maquina se instaló en el centro de acopio Asoprogar – El Refugio para que pueda iniciar su trabajo y junto a los usuarios se verificó con éxito la seguridad, eficiencia y facilidad de uso del sistema.

## **5.2. Recomendaciones**

- Para garantizar una vida útil prolongada de la máquina, es esencial implementar un mantenimiento continuo y cuidadoso. Esto implica la aplicación regular de lubricación al motor y sus componentes, además de adoptar prácticas que eviten someter la máquina a un esfuerzo excesivo. Al seguir estas pautas, se puede asegurar un funcionamiento óptimo y duradero de la máquina a lo largo del tiempo.
- Si se plantea mejorar o replicar del diseño, es crucial tener en cuenta la diversidad de tamaños de bidones disponibles en el mercado. Actualmente, nuestra máquina está diseñada para abordar bidones de 40 litros de capacidad. Sin embargo, para cualquier futura construcción o adaptación de estas máquinas, se debe considerar esta variabilidad, ya que los proveedores de leche a menudo utilizan bidones de diferentes dimensiones. Esta consideración permitirá garantizar la versatilidad y la adaptabilidad del diseño para satisfacer las necesidades cambiantes de la industria.
- Es altamente recomendable llevar a cabo el lavado de los cepillos diariamente. Este proceso implica la eliminación de cualquier residuo de suciedad que pueda quedar en ellos después de cada ciclo de lavado de bidones. Esta práctica es esencial para garantizar una limpieza eficiente y óptima en cada recipiente procesado, contribuyendo a mantener los más altos estándares de higiene y calidad en el proceso de lavado.
- Conocer el principio de funcionamiento por parte de los proveedores de leche es fundamental, se recomienda obedecer las instrucciones de uso de manera estricta.
- No sobrecargar el sistema mecánico con bidones de volúmenes diferentes a 40 litros, esto puede forzar el sistema de transmisión de potencia ocasionando el paro de la máquina.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ANRANGO, Edwin.** Sistema de lavado automático del tanque enfriador de leche para microempresas de almacenamiento de leche. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica del Norte. Mecatrónica. Ibarra - Ecuador. 2018. págs. 1-117.
2. **AQUA SAFE PLUS.** "Jar Washing Machine Auto". *Aqua Safe Plus* [en línea], 2018, vol. (2), págs. 105-175. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/aquasafeplus/jar-washing-machine-auto.html#21886992562>.
3. **BERNARDI, Max.** "El mantenimiento correctivo de la cadena, la corona y el piñón". *TKART* [en línea], 2020, vol. (3), págs. 55 - 86. [consulta: 5 julio 2023]. Disponible en: <https://tkart.it/es/magazine/como-hacer-para/mantenimiento-correcto-de-la-transmision-lubrificacion-alargamiento-tension-cadena-dientes-alineacion-corona-pinon-kart-kz-automatico-ok-60-125-relacion-desgaste/#1>.
4. **BHAPKAR, Mayur.** "Milk Can Washer". *indiaMART* [en línea], 2023, vol. (2), págs. 4 - 15. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/milk-can-washer-24409320297.html>.
5. **BRITO, Adrián & GUACHAMIN, Ronald.** Desarrollo de un sistema automatizado para el lavado y refrigeración de un tanque de leche para la hacienda San Agustín. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Electrónica. Cuenca - Ecuador. 2017. págs. 1-55. [consulta: 2023-04-03] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14598/1/UPS-QT12240.pdf>.
6. **BUDYNAS, Richard y NISBETT, Keith.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Novena Edi. Mexico: Mc Graw Hill, 2011, págs. 405 - 598.
7. **BUESTAN, Mónica.** Gestión de la producción y la comercialización de leche en la parroquia Octavio Cordero Palacios de Cuenca. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. 2022. págs. 5-76.
8. **CALAHORRANO, Francisco & QUINGA, Luis.** Diseño y construcción de una cortadora neumática para la fabricación de rodillos de esponja utilizados en obras civiles. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Quito - Ecuador. 2015. págs. 45-121.
9. **CATTLE, Dairy.** "Limpieza y desinfección del equipo de ordeño". *DAIREXNET* [en línea], 2019, vol. (2), págs. 5-18. [consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <https://dairy-cattle.extension.org/limpieza-y-desinfeccion-del-equipode-ordeno/>.
10. **CEPILLO TÉCNICO.** Rodillos cepillos cilíndricos industriales. [en línea], 2022, vol (2), págs 3-11. [consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://cepillotecnico.com/rodillos-cepillos-cilindricos-industriales/>.
11. **CHINAPAK.** "Lavadora automática de garrafones de 5 galones de agua". *China Packing &*



- Filling Machine* [en línea], 2022, págs. 4-10. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.chinapak.es/lavadora-automatizada-de-5-galon-garrafon/>.
12. **COMINOX**. "Máquina P.B.L. 370 - Para el lavado y esterilización de los bidones de leche". *Tecnologie COMINOX*, vol. 2, (2020), (Italy). págs. 1-3.
  13. **DINOX**. "Lavadora de bidones". *DINOX Washing Solutions* [en línea], 2018, págs. 2-8. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.dinox.es/es/soluciones/armarios-de-lavado/lavadoras-de-bidones/>.
  14. **FLORES, Gonzalo**. Diseño y construcción de una máquina lavadora de naranjilla de 55 kg de capacidad para la asociación de naranjilla y frutales amazónicos Murialdo [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato. Ambato - Ecuador. 2018. págs. 1-165. [consulta: 20 abril 2023]. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>.
  15. **INDIAMART**. "1.5hp 20 Liters Jar Inner & Outer Washing Machine". [en línea], 2019, vol. (2). págs. 2-7. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/20-liters-jar-inner-outer-washing-machine-23779018633.html>.
  16. **IONITA, Elisabeta**. "La producción de leche en Ecuador". *Veterinaria Digital S. A.* [en línea], 2022, págs. 3-10. [consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-produccion-de-leche-en-ecuador/>.
  17. **KOTHARI, Kirty**. "Front Loading Milk Can Washer". *SS Engineers and Consultants* [en línea], 2018, págs. 5-18. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/milk-can-washer-10478432191.html>.
  18. **KOTHARI, Kirty**. "Rotary Can Washing Machine". *indiaMART* [en línea], 2018, págs. 1-15. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.indiamart.com/proddetail/rotary-can-washing-machine-10478423288.html>.
  19. **MAGAP**. "Manual De Procedimientos Para La Vigilancia Y Control De La Inocuidad De Leche Cruda". *Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro-Agrocalidad* [en línea], 2013, vol. 53, no. 9, págs. 15-97. [consulta: 18 mayo 2023]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/leche1.pdf>.
  20. **MELO, José Luis**. *Ergonomía Practica* [en línea]. Primera Ed. Buenos Aires - Argentina: s.n. ISBN 978-987-97960-6-1, 2009. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: [http://ulaergo.com/archivos/Ergonomia\\_Practica.pdf](http://ulaergo.com/archivos/Ergonomia_Practica.pdf).
  21. **MESA, José & TOALA, Ronald**. Construcción de un modelo experimental para simular el

comportamiento por fluencia lenta del acero inoxidable AISI 304 sometido a corrosión bajo esfuerzos. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Mecánica. Guayaquil - Ecuador. 2015. págs. 1-48.

22. **MOTT, Robert.** *Diseño de Elementos de Máquinas*. Cuarta edi. México: PEARSON EDUCATION, 2006. ISBN 9702608120, págs- 1-872.
23. **NTN CORPORATION.** *Rodamientos de Bolas y de Rodillos*, 2004, págs. 1-960.
24. **NTN CORPORATION.** *Chumaceras*. vol. 44, 2009, págs. 48-462.
25. **NTN EUROPA.** "RODAMIENTOS DE BOLAS NTN-SNR". *NTN* [en línea], 2017, vol. (2), págs. 5-47. [consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ntn-snr.com/es/rodamientos-de-bolas-ntn-snr>.
26. **NTN MÉXICO S.A.** "CHUMACERAS". [en línea], 2020, vol (3), págs. 45-89. [consulta: 10 agosto 2023]. Disponible en: <https://ntnmexico.com/chumaceras/>.
27. **PULAMARÍN, Flor.** Centro de acopio y enfriamiento de leche en la Asociación de Productores Agropecuarios San Francisco de Monjas Bajo Del Cantón Cayambe [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Quito - Ecuador. 2012. págs. 1-112. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3706>.
28. **PULLAGUARI, Santiago.** Diseño y construcción de un tanque de 400 [m<sup>3</sup>/día] para un sistema de tratamiento de aguas residuales modalidad electrocoagulación para la empresa Yakupro CIA. LTDA. (Trabajo de titulación). Escuela Politécnica Nacional. Quito - Ecuador. 2015. págs. 1-143.
29. **RODRÍGUEZ, Hermenegildo.** "Transmisión por cadenas. Cálculo y diseño". *Ingemecánica* [en línea], 2020, vol. (4), págs. 155-204. [consulta: 3 julio 2023]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>.
30. **RODRÍGUEZ, Hermenegildo.** "Soldadura de los aceros inoxidables". *Ingemecánica* [en línea], 2022, vol (3), págs. 4-53. [consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>.
31. **SKF.** "Rodamientos rígidos de bolas". [en línea], 2022, vol (2), págs. 156-578. [consulta: 5 julio 2023]. Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>.
32. **SS ENGINEERS & CONSULTANTS.** "Can Scrubber". [en línea], 2013, vol (3), págs. 4-17. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: [https://www.youtube.com/watch?v=9B\\_Bi\\_ta6jk](https://www.youtube.com/watch?v=9B_Bi_ta6jk).
33. **SS ENGINEERS & CONSULTANTS.** "Equipments for mini & large food factories". *SS Engineers and Consultants*, vol (4), (2016). págs. 4-9.
34. **SS ENGINEERS & CONSULTANTS.** "Rotary Can Washer". *SS Engineers & Consultants*

- Blog* [en línea], 2016, vol (4), págs. 3-18. [consulta: 3 mayo 2023]. Disponible en: <https://ssengineersconsultantsblog.wordpress.com/2016/03/03/rotary-can-washer/>.
35. **TECNOCEPILLO**. Cepillos cilíndricos industriales modulares. [en línea], 2022, vol (3), págs. 4-15. [consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://tecnocepillo.com/cepillos-tecnicos/cepillo-cilindrico-modular/>.
36. **TSUBAKIMOTO CHAIN CO**. *Drive chains & Sprockets*. Japan, 2020. pág. 210.
37. **UMCO**. "Bidón lechero 40 litros ganadería tapa caucho industria". *La Cobacha* [en línea], 2023, vol (2), págs. 1-5. [consulta: 10 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.lacobacha.com.ec/producto/bidon-lechero-40-litros-ganaderia-tapa-caucho-industria/>.
38. **XILED**. "Elementos electrónicos". *Electric Power*, vol. 1, no, (2020). Electricidad. págs. 4-9.

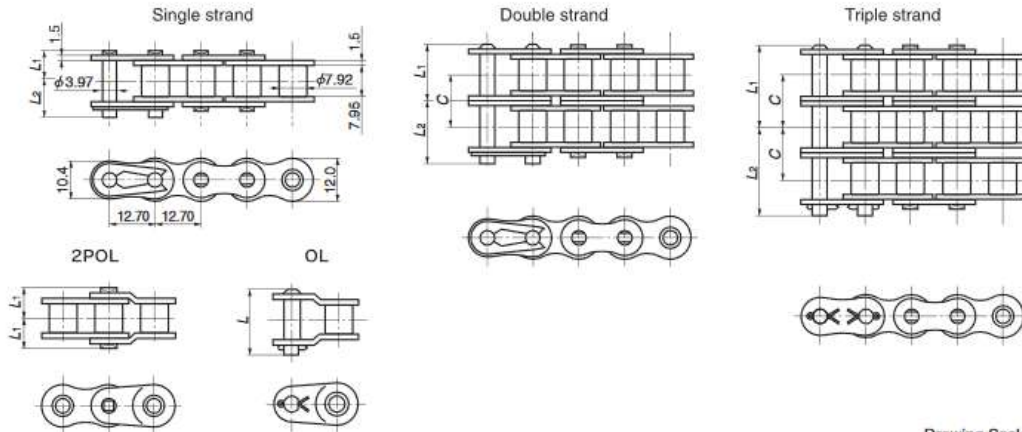




## ANEXO B: SELECCIÓN DE CADENA DE RODILLOS.

### Standard Roller Chains RS Roller Chain

# RS40



Drawing Scale 1/1.6

TSUBAKI Chain Number	Number of Strands	Pin Length L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub>	Dimensions L <sub>1</sub>	Dimensions L <sub>2</sub>	Offset Pin Length L	Transverse Pitch C	Pin Type	ANSI Standard Min. Tensile Strength kN{kgf}	Tsubaki Minimum Tensile Strength kN{kgf}	Tsubaki Average Tensile Strength kN{kgf}	Maximum Allowable Load kN{kgf}	Approximate Mass kg/m
RS40-1	1	18.2	8.25	9.95	18.2			15.2 {1550}	17.7 {1800}	19.1 {1950}	3.63 {370}	0.64
RS40-2	2	32.6	15.45	17.15	33.5			30.4 {3100}	35.3 {3600}	38.2 {3900}	6.18 {630}	1.27
RS40-3	3	46.8	22.65	24.15	47.9	14.4	Riveting	45.6 {4650}	53.0 {5400}	57.4 {5850}	9.12 {930}	1.90
RS40-4	4	61.2	29.9	31.3	62.3			—	70.6 {7200}	76.5 {7800}	12.0 {1220}	2.53
RS40-5	5	75.7	37.1	38.6	76.8			—	88.3 {9000}	95.6 {9750}	14.1 {1440}	3.16
RS40-6	6	90.1	44.3	45.8	91.2			—	106 {10800}	115 {11700}	16.7 {1700}	3.79

Note: 1. Maximum allowable load when using a one-pitch offset link (OL) is 65% of the above. Two pitch offset links (2POL) can be used at 100% of the above values.  
2. Number of links per unit = 240

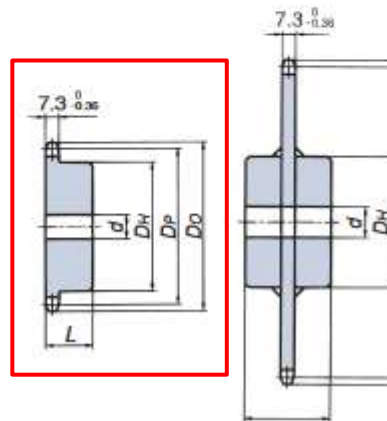
#### ■ RS40-1 Maximum Kilowatt Ratings Table (kW Ratings for Single Strand Chain)

Small Sprocket No. of Teeth	Small Sprocket Max rpm																																																	
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000																									
					A												B												C																					
9	0.07	0.15	0.28	0.52	0.97	1.40	1.81	2.21	3.00	3.75	3.75	3.75	3.75	3.07	2.58	2.04	1.67	1.40	1.20	0.95	0.78	0.56	0.42	0.34	0.27	0.07	0.17	0.31	0.58	1.09	1.57	2.03	2.48	3.36	4.21	4.40	4.40	4.40	3.60	3.02	2.39	1.96	1.64	1.40	1.11	0.91	0.65	0.50	0.39	0.32
10	0.08	0.19	0.35	0.65	1.21	1.74	2.25	2.75	3.72	4.67	5.07	5.07	5.07	4.15	3.48	2.76	2.26	1.89	1.62	1.28	1.05	0.75	0.57	0.45	0.37	0.09	0.20	0.38	0.71	1.32	1.91	2.47	3.02	4.09	5.13	5.64	5.67	5.67	4.73	3.97	3.15	2.58	2.16	1.84	1.46	1.20	0.86	0.65	0.52	0.42
11	0.10	0.22	0.41	0.77	1.44	2.08	2.69	3.29	4.46	5.59	6.15	6.18	6.18	5.34	4.47	3.55	2.90	2.43	2.08	1.65	1.35	0.97	0.73	0.58	0.48	0.11	0.24	0.45	0.84	1.56	2.25	2.92	3.57	4.83	6.06	6.66	6.70	6.70	5.96	5.00	3.97	3.25	2.72	2.32	1.84	1.51	1.08	0.82	0.65	0.53
12	0.11	0.26	0.48	0.90	1.69	2.43	3.14	3.84	5.20	6.52	7.17	7.21	7.21	6.61	5.54	4.40	3.60	3.02	2.58	2.04	1.67	1.20	0.91	0.72	0.59	0.12	0.28	0.52	0.97	1.81	2.60	3.37	4.12	5.58	7.00	7.69	7.74	7.74	7.28	6.10	4.84	3.97	3.32	2.84	2.25	1.84	1.32	1.00	0.80	0.65
13	0.13	0.30	0.55	1.03	1.93	2.78	3.60	4.40	5.96	7.47	8.21	8.26	8.26	7.98	6.69	5.31	4.34	3.64	3.11	2.47	2.02	1.44	1.10	0.87	0.71	0.14	0.32	0.59	1.10	2.05	2.96	3.83	4.68	6.34	7.94	8.73	8.79	8.79	8.69	7.28	5.78	4.73	3.97	3.39	2.69	2.20	1.57	1.20	0.95	
14	0.15	0.33	0.62	1.17	2.18	3.13	4.06	4.96	6.72	8.42	9.26	9.43	9.43	9.43	7.90	6.27	5.13	4.30	3.67	2.91	2.38	1.71	1.30	1.03	0.16	0.35	0.66	1.23	2.30	3.31	4.29	5.24	7.10	8.90	9.79	10.2	10.2	10.2	8.53	6.77	5.54	4.64	3.97	3.15	2.58	1.84	1.40	1.11		
15	0.16	0.37	0.70	1.30	2.42	3.49	4.52	5.53	7.48	9.38	10.3	11.0	11.0	11.0	9.18	7.28	5.96	5.00	4.27	3.39	2.77	1.98	1.51	1.20	0.17	0.39	0.73	1.37	2.55	3.67	4.76	5.81	7.87	9.87	10.8	11.7	11.7	11.7	9.84	7.81	6.39	5.36	4.57	3.63	2.97	2.13	1.62	1.28		
16	0.18	0.41	0.77	1.43	2.67	3.85	4.99	6.10	8.26	10.4	11.4	12.6	12.6	12.6	10.5	8.35	6.83	5.73	4.89	3.88	3.18	2.27	1.73	1.37	0.19	0.43	0.80	1.50	2.80	4.03	5.22	6.39	8.65	10.8	11.9	13.4	13.4	13.4	11.2	8.90	7.28	6.10	5.21	4.14	3.39	2.42	1.84	1.46		
17	0.20	0.45	0.84	1.57	2.93	4.21	5.46	6.67	9.03	11.3	12.5	14.1	14.1	14.1	11.9	9.46	7.74	6.49	5.54	4.40	3.60	2.58	1.96	0.21	0.47	0.88	1.64	3.05	4.40	5.70	6.96	9.43	11.8	13.0	14.7	14.7	14.7	12.6	10.0	8.21	6.88	5.88	4.66	3.82	2.73	2.08				
18	0.22	0.51	0.95	1.77	3.31	4.76	6.17	7.54	10.2	12.8	14.1	16.0	16.0	16.0	14.1	11.2	9.18	7.69	6.57	5.21	4.27	3.05	2.32	0.24	0.55	1.02	1.91	3.56	5.13	6.65	8.13	11.0	13.8	15.2	17.2	17.2	17.2	15.7	12.4	10.2	8.53	7.28	5.78	4.73	3.39	2.58				
19	0.26	0.59	1.10	2.05	3.82	5.50	7.13	8.71	11.8	14.8	16.3	18.4	18.4	18.4	17.3	13.7	11.2	9.40	8.03	6.37	5.21	3.73	0.28	0.65	1.21	2.26	4.21	6.06	7.85	9.60	13.0	16.3	17.9	20.3	20.3	20.3	19.8	15.7	12.8	10.8	9.18	7.28	5.96	4.27						
20	0.33	0.75	1.40	2.60	4.86	7.00	9.07	11.1	15.0	18.8	20.7	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	19.2	15.7	13.1	11.2	8.90	7.28	5.21	0.37	0.85	1.59	2.96	5.52	7.95	10.3	12.6	17.0	21.4	23.5	27.7	27.7	27.7	28.8	28.8	28.8	22.9	18.7	15.7	13.4	10.6	8.69		

Note: 1. kW rating when using a one-pitch offset link (OL) is 80% of the above. Two pitch offset links (2POL) can be used at 100% of the above values.  
2. Please contact a Tsubaki representative prior to use of kW ratings in the colored area of the table.

ANEXO C: SELECCIÓN DE LAS CATARINAS DE LA CADENA DE RODILLOS.

Standard Roller Chains  
**RS40 Sprocket**



Mechanically machined 1B type      Welded construction 1C type

Number of Teeth	Pitch Circular Diameter (D <sub>p</sub> )	Sprocket Outer Diameter (D <sub>d</sub> )	1B type					Approx. Mass (kg)	Material
			Bore Diameter (d)		Hub		Length (L)		
			Not less than	Maximum	Diameter (D <sub>H</sub> )				
9	37.13	43	9.5	15	28	22	0.10	※ ※ ※	
10	41.10	47	9.5	16.5	32	22	0.13	※ ※ ※	
11	45.08	51	9.5	20	37	22	0.17	※ ※ ※	
12	49.07	55	9.5	22	40	22	0.21	※ ※ ※	
13	53.07	59	9.5	20	37	22	0.22	※ ※ ※	
14	57.07	63	9.5	24	42	22	0.28	※ ※ ※	
15	61.08	67	9.5	28.5	46	22	0.33	※ ※ ※	
16	65.10	71	12.7	30	50	22	0.37	※ ※ ※	
17	69.12	76	12.7	32	54	22	0.44	※ ※ ※	
18	73.14	80	12.7	35	57	22	0.49	※ ※ ※	

## ANEXO D: PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304.

### PLANCHAS ACERO INOXIDABLE

#### Norma: AISI 304

##### Especificaciones Generales:

ESPEORES	desde 0.40-15mm
DIMENSIONES	1220 x 2440mm (estándar)
	1220 x otros largos (especial)

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301



Descripción: Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B y 1.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

PROPIEDADES MECÁNICAS						
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160



## ANEXO E: PLANCHA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304.

### EJES

### ACERO INOXIDABLE

#### Especificaciones Generales:

Norma: AISI 304

Descripción: Acero Inoxidable austenítico al cromo-níquel con bajo contenido de carbono. Resiste a la corrosión intercrystalina hasta 300 C. Resiste al efecto corrosivo del medio ambiente, vapor, agua y ácidos, así como de soluciones alcalinas, si se emplea con la superficie pulida espejo.

Aplicaciones: Industrias alimenticias, cervecera, azucarera, utensillos domésticos, industria del cuero, farmacéutica, dental, etc...

Largo: 6 mts



#### COMPOSICIÓN QUÍMICA

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0,08	0 - 1	0 - 2	0 - 0,045	0 - 0,03	8 - 10,5	18 - 20

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

#### DIMENSIONES

##### DIÁMETRO

3/16"
1/4"
5/16"
3/8"
1/2"
5/8"
3/4"
1"
1-1/4"
1-1/2"
2"
2-1/2"
3"
3-1/2"
4"
5"
6"



## ANEXO F: VIDA NOMINAL DE RODAMIENTOS PARA DIFERENTES MÁQUINAS.

Tabla 3.4 Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (Referencia)

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) $L_{10h}$ $\times 10^3$ h				
	~ 4	4 ~ 12	12 ~ 30	30 ~ 60	60 ~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas solo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aplicaciones domésticas</li> <li>● Herramientas de mano eléctricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Maquinaria agrícola</li> <li>● Equipos de oficina</li> </ul>			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Equipos médicos</li> <li>● Instrumentos de medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Motores de acondicionadores de aire residenciales</li> <li>● Equipos de construcc.</li> <li>● Elevadores</li> <li>● Grúas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Grúas (Poleas)</li> </ul>		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Automóviles</li> <li>● Vehículos de dos ruedas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Motores pequeños</li> <li>● Buses/camiones</li> <li>● Transmisiones de engranes en general</li> <li>● Máquinas madereras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Husillos de máquinas</li> <li>● Motores industriales</li> <li>● Trituradores</li> <li>● Cribas vibratorias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Transmisiones de engranes principales</li> <li>● Máquinas de caucho/plástico</li> <li>● Rodillos de calandrias</li> <li>● Máquinas de impresión</li> </ul>	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> <li>● Laminadores</li> <li>● Escaleras eléctricas</li> <li>● Transportadores</li> <li>● Centrifugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ejes de vehículos ferroviarios</li> <li>● Acondicionadores de aire</li> <li>● Motores grandes</li> <li>● Centrifugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ejes de locomotoras</li> <li>● Motores de tracción</li> <li>● Elevadores mineros</li> <li>● Volantes a presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Máquinas de fabricación de papel</li> <li>● Equipos de propulsión para barcos</li> </ul>
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> <li>● Equipos de abastecimiento de agua</li> <li>● Bombas de drenaje/ventiladores para minería</li> <li>● Equipos para generación de potencia</li> </ul>

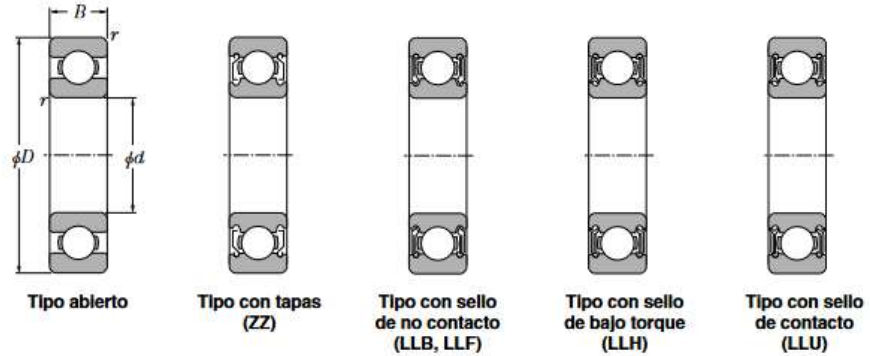
Tabla 3.5 Valores mínimos del factor de seguridad  $S_0$

Condiciones de operación	Rodtos. de bolas	Rodtos. de rodillos
Requerimiento de alta precisión rotacional	2	3
Requerimiento de precisión rotacional normal (Aplicación universal)	1	1.5
Permite ligero deterioro de la precisión rotacional (Baja velocidad, altas cargas, etc.)	0.5	1

- Notas 1: Para rodamientos axiales de rodillos esféricos, el valor mínimo de  $S_0=4$ .  
 2: Para rodamientos de aguja con cubierta, el valor mínimo de  $S_0=3$ .  
 3: Cuando se presenten cargas de impacto y/o vibración, un factor de carga basado en los requerimientos para cargas de impacto debe ser considerado en la determinación del valor máximo de  $P_n$ .  
 4: Si una considerable carga axial es aplicada a los rodamientos rígidos de bolas o a los de bolas a contacto angular, el óvalo de contacto puede exceder los límites de la superficie de la pista. Para mayor información, por favor contactar a Ingeniería de NTN.

ANEXO G: SELECCIÓN DE RODAMIENTO RÍGIDO DE BOLAS.

● Rodamientos Rígidos de Bolas



d 20 ~ 35mm

d	Dimensiones principales				Capacidades básicas de carga				Factor $f_o$	Velocidades límites				Números de rodamientos				
	mm		$r_{ms} \min$		kN		kgf			r.p.m.		r.p.m.		tipo abierto	con tapas	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	con sello de contacto
	D	B	$r_{ms} \min$	$r_{ms} \min$	$C_r$	$C_{or}$	$C_r$	$C_{or}$		grasa tipo abierto	aceite tipo abierto	LLH	LLU					
20	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	6404	—	—	—	—
22	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
25	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	—	—	6705	—	LLF	—	—
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6805	ZZ	LLB	—	LLU
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	—	LLU
	47	8	0.3	—	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	16005	—	—	—	—
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	LLU
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 160	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LLU
80	21	1.5	—	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000	—	—	6405	—	—	—	—	

Carga radial dinámica equivalente

$$P_r = X F_r + Y F_a$$

$\frac{f_o \cdot F_a}{C_{or}}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0.172	0.19				2.30
0.345	0.22				1.99
0.689	0.26				1.71
1.03	0.28				1.55
1.38	0.30	1	0	0.56	1.45
2.07	0.34				1.31
3.45	0.38				1.15
5.17	0.42				1.04
6.89	0.44				1.00

Carga radial estática equivalente

$$P_{or} = 0.6 F_r + 0.5 F_a$$

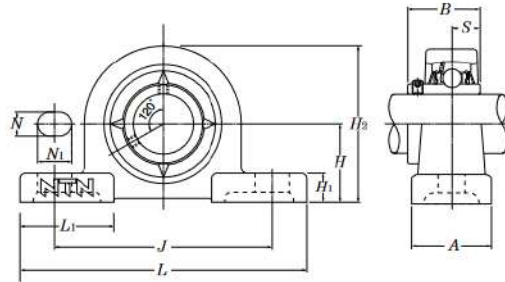
Cuando  $P_{or} < F_r$  use  $P_{or} = F_r$

## ANEXO H: SELECCIÓN DE CHUMACERA CON RODAMIENTO DE BOLAS.

### F-UCPM2

NTN

Chumacera tipo puente (Serie de acero inoxidable)  
Con tornillo de fijación (Prisionero)



Diámetro del eje mm	Número <sup>1)</sup> de la chumacera	Dimensiones nominales											Tamaño del perno mm
		mm											
		H	L	J	A	N	N <sub>i</sub>	H <sub>i</sub>	H <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	B	S	
20	F-UCPM204/LP03	33.3	120	95	30	12	14	11	64	42	31	12.7	M10
25	F-UCPM205/LP03	36.5	130	105	30	12	14	12	70	42	34.1	14.3	M10
30	F-UCPM206/LP03	42.9	155	121	36	17	20	13	82	54	38.1	15.9	M14
35	F-UCPM207/LP03	47.6	161	127	38	17	20	14	92	54	42.9	17.5	M14
40	F-UCPM208/LP03	49.2	171	137	40	17	20	14	98	52	49.2	19	M14
45	F-UCPM209/LP03	54	180	146	40	17	20	14	105	60	49.2	19	M14
50	F-UCPM210/LP03	57.2	195	159	45	19	22	16	114	65	51.6	19	M16

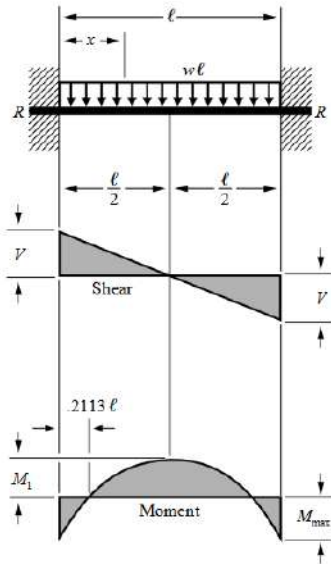
Observación: 1) Esta serie utiliza grasa sólida en los rodamientos como estándar. También hay disponibles chumaceras de acero inoxidable con grasa de grado alimentario o resistente al calor.

2) La carga dinámica básica  $C_r$  de los rodamientos es diferente de los rodamientos fabricados con acero estándar.

Número del rodamiento mm	Capacidad básica de carga dinámica estática kN		Número del alojamiento mm	Peso de la chumacera kg
	$C_r$	$C_{or}$		
F-UC204D1/LP03	9.9	6.65	PM204	0.6
F-UC205D1/LP03	10.8	7.85	PM205	0.7
F-UC206D1/LP03	15.0	11.3	PM206	1.1
F-UC207D1/LP03	19.7	15.3	PM207	1.3
F-UC208D1/LP03	22.4	17.8	PM208	1.7
F-UC209D1/LP03	25.2	20.4	PM209	1.8
F-UC210D1/LP03	27.0	23.2	PM210	2.4

ANEXO I: FÓRMULAS - CÁLCULO DE VIGAS DE LA ESTRUCTURA DEL SOPORTE.

**Figure 23 Beam Fixed at Both Ends – Uniformly Distributed Load**



$$\begin{aligned}
 R = V & \dots \dots \dots = \frac{wl}{2} \\
 V_x & \dots \dots \dots = w \left( \frac{l}{2} - x \right) \\
 M_{max} \text{ (at ends)} & \dots \dots \dots = \frac{wl^2}{12} \\
 M_l \text{ (at center)} & \dots \dots \dots = \frac{wl^2}{24} \\
 M_x & \dots \dots \dots = \frac{w}{12} (6lx - l^2 - 6x^2) \\
 \Delta_{max} \text{ (at center)} & \dots \dots \dots = \frac{wl^4}{384EI} \\
 \Delta_x & \dots \dots \dots = \frac{wx^2}{24EI} (l - x)^2
 \end{aligned}$$



ANEXO J: TUBO CUADRADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 304.

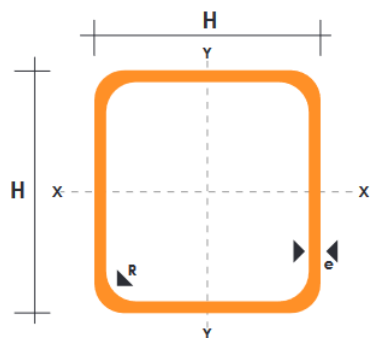
## TUBO CUADRADO EN ACERO INOXIDABLE

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	AISI 304
<b>Largo normal</b>	6mts
<b>Otros largos</b>	Previa consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 1/2" a 2"
<b>Espesor</b>	Desde 0.6 a 2.0 mm



Pulg.	DIMENSIONES		PESO	EJES X-X E Y-Y			
	H	e	P	AREA	I	W	I
	mm.	mm	Kg/6m	cm2	cm4	cm3	cm
1/2	12	0.60	1.32	0.27	0.06	0.10	0.47
		0.75	1.86	0.32	0.07	0.12	0.47
5/8	15	0.95	2.28	0.40	0.08	0.13	0.45
		0.60	1.74	0.35	0.12	0.16	0.59
		0.75	2.16	0.41	0.14	0.19	0.58
3/4	20	0.95	2.70	0.51	0.16	0.21	0.56
		0.60	2.22	0.47	0.29	0.29	0.79
		0.75	2.88	0.56	0.34	0.34	0.78
		0.95	3.60	0.70	0.41	0.41	0.77
		1.10	4.20	0.80	0.47	0.47	0.77
1	25	1.50	5.64	1.05	0.58	0.58	0.74
		0.75	3.60	0.71	0.69	0.55	0.99
		0.95	4.50	0.89	0.84	0.67	0.97
		1.10	5.22	1.02	0.95	0.76	0.97
		1.50	7.08	1.35	1.21	0.97	0.95
1 1/4	30	0.95	5.40	1.08	1.50	1.00	1.18
		1.10	6.24	1.24	1.70	1.13	1.17
		1.50	8.46	1.65	2.19	1.47	1.15
1 1/2	40	0.95	7.20	1.46	3.68	1.84	1.59
		1.10	4.34	1.68	4.20	2.10	1.58
		1.50	11.28	2.25	5.48	2.74	1.56
2	50	1.50	14.04	2.85	11.06	4.42	1.97



#### NOMENCLATURA

- A= Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I= Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W= Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- i= Radio de giro de la sección cm

## ANEXO K: SELECCIÓN DE CALIBRE DEL CONDUCTOR.

CONDUCTORES DE COBRE

TW

Conductor de cobre para 600 V. aislado con policloruro de vinilo (PVC) 60°C resistente a la humedad.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	No. Hilos				
<b>FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO</b>						
14	2,08	1	0,76	3,15	26,30	15
12	3,31	1	0,76	3,57	38,62	20
10	5,261	1	0,76	4,11	57,72	30
8	8,367	1	1,14	5,54	95,99	40
8	8,367	7	1,14	5,98	101,89	40
6	13,3	7	1,52	7,70	164,63	55
4	21,15	7	1,52	8,92	245,90	70

**ANEXO L: REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.**

**ADQUISICIÓN DE ELEMENTOS NORMALIZADOS**



**FABRICACIÓN DE LOS CEPILLOS**



## ROLADO DE PLANCHA DE ACERO PARA TANQUE



## CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE – UNIÓN AL SOPORTE CON SOLDADURA TIG





## MONTAJE DE LOS CEPILLOS INDUSTRIALES AL TANQUE



## SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA – MAQUINA FINAL

