

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

Diseño de Máquina de limpieza de Motores por Ultrasonidos

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA MECÁNICA

Presentado por:

Denisse Pérez Zambrano

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que contribuyeron de alguna u otra forma a realizar este proyecto de graduación, en especial a Ing. Víctor Guadalupe, Profesor Tutor y PhD. Ángel Ramírez, Profesor Director.

DECLARACIÓN EXPRESA

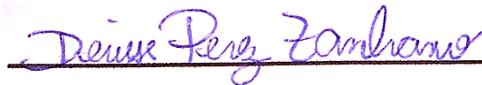
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Autor: Denisse Pérez Zambrano

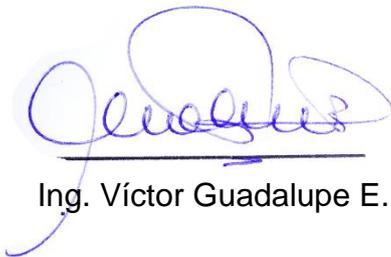
Director 1: Ing. Víctor Guadalupe

Director 2: PhD. Ángel Ramírez

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Denisse Pérez Zambrano



Ing. Víctor Guadalupe E.



PhD. Ángel Ramírez M.

RESUMEN

Un problema usual en el mercado de los motores y sus procesos de mantenimiento de partes, se relaciona con la eficiencia de la limpieza, que depende fundamentalmente de las habilidades del operador, de los recursos y del cumplimiento del tiempo adecuado para la limpieza final, que, al no cumplirse de manera óptima, generan problemas técnico-administrativos.

El objetivo de este proyecto se plantea para diseñar una máquina a base de ondas de ultrasonido para la limpieza de motores, logrando eficiencia tecnológica y administrativa. La utilización de métodos adecuados para la limpieza de los motores minimiza costos de mantenimiento y preserva la salud del operador y del ambiente.

Se parte del análisis de las alternativas existentes de los métodos de limpieza, entre las que se menciona la limpieza mecánica (Sandblasting), la química y por ultrasonido, considerando su la eficiencia, impacto ambiental, costos y tiempos de operación y perfil del recurso. Mediante una matriz de decisión se determinó que los primeros dos métodos, conllevan grandes gastos de operación y producen grandes riesgos en la salud, por lo que se eligió la máquina de ultrasonido. Además, se determinaron los requerimientos de la máquina. Posteriormente se procedió a diseñar los elementos, y ensamblar la máquina mediante un programa de dibujo por computadora. Finalmente se determinó los costos de materiales mano de obra y ensamble de la máquina.

Como conclusiones del proyecto se definió el rango de ultrasonido óptimo y la factibilidad de fabricación a nivel local, ya que la construcción de la máquina tiene un costo más rentable que la importación de la misma.

Es importante la selección correcta de los transductores ya que, al cambiar la potencia o número de transductores, esté podría variar su eficiencia de trabajo; la máquina puede limpiar cualquier tipo de pieza mecánica, con excepción de piezas con partes eléctricas o electrónicas.

Palabras Clave: ultrasonido, transductores, Generador de ultrasonidos, rentabilidad

ABSTRACT

A usual problem within the market of motors and the maintenance of parts is related to cleaning efficiency, which depends fundamentally on the operator's abilities, on resources and compliance with time necessary to undergo the cleaning, which, if not completed in an optimal manner, generates technological and administrative problems.

The objective of this project was to design a machine based on deep ultrasound waves that would have the power to clean engines, achieving technological and administrative efficiency. The utilization of adequate methods for cleaning motors minimizes maintenance costs and isn't harmful to the operator or the environment.

We started by analyzing existing alternatives for methods of cleaning motors; mentioned are procedures by mechanical cleaning (sandblasting), chemistry, and ultrasound; considering its efficiency, environmental impact, costs, operational time, and resource profile. By a matrix of decision, was determined that the first two methods lead to large expenses for operation and posed great risks to one's health. Therefore, the ultrasound machinery was chosen to be superior. Furthermore, the machine's requirements were decided. Afterward, the procedure had required a design of the elements and assembly of the machine through a drawing program on a computer. Finally, the costs of the labor and assembly materials were generated.

As a conclusion to the project, the range of the optimal ultrasound and the feasibility of fabrication on a local level were defined; the construction of the machine has a much more profitable cost than the importation of the same machinery.

A selection of good transducers is important since the altering of its power or number of transducers allows for variation in its efficiency. The machine can clean any type of mechanical part, with the exception of electronics or electronic parts.

Keywords: ultrasound, transducers, profitable cost

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del Problema.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivos General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Marco Teórico	2
1.3.1. Tipo de limpiezas	2
CAPÍTULO 2	
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	8
2.1. Metodología de diseño	8
2.2. Alternativas.....	11
2.2.1. Análisis de comparación de costo de vida por equipo de limpieza	13
2.2.2. Matriz de selección	15
2.2.3. Selección de Método.....	19
2.2.4. Requerimientos de la máquina.....	19
2.2.5. Diseño conceptual.....	20
2.5. Cálculos.....	22
2.5.1. Tanque	22
2.5.2. Estructura.....	26
2.5.3. Simulación de la estructura	31

2.5.3.2	Esfuerzo de Von Misses	32
2.5.4	Calentador Eléctrico	33
2.5.5	Sistema de Ultrasonido	36
2.5.6	Sistema de recirculación	39
2.5.7	Sistema de control	44

CAPÍTULO 3

3	RESULTADOS	51
3.1	Bosquejo	51
3.2	Dimensiones finales	53
3.2.1	Tanque	53
3.2.2	Estructura	54
3.2.3	Resistencia eléctrica	54
3.2.4	Transductores y generador de ultrasonidos	55
3.2.5	Sistema de Recirculación	55
3.2.6	Sistema de control	55
3.3	Costos	56
3.3.1	Tanque	56
3.3.2	Estructura	56
3.3.3	Sistema de Ultrasonidos	57
3.3.4	Calentador Eléctrico	57
3.3.5	Sistema de Recirculación	57
3.3.6	Sistema de control	58
3.3.7	Costo de la Máquina	58
3.4	Análisis de retorno de la inversión	59

CAPÍTULO 4

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
4.1	Conclusiones	62
4.2	Recomendaciones	63

BIBLIOGRAFÍA

APENDICES

Apéndice A

A.1 Dimensiones y Pesos de Elementos del Motor

A.2 Dimensiones y Pesos de Elementos del Motor

A.3 Dimensiones y Pesos de Elementos del Motor

A.4 Valores de α en las fórmulas para tanques rectangulares

A.5 Propiedades del Acero Inoxidable 304

A.6 Dimensiones de las Planchas Galvanizadas e Inoxidables

A.7 Dimensiones de Perfiles Cuadrados

A.8 Características del Electrodo E308L

A.9 Características del Electrodo 6011

A.10 Características de la Bomba de Agua

Apéndice B Cálculo de costos anuales de las máquinas

Apéndice C Análisis de falla por fatiga

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
EPP	Equipos de Protección Personal
CI	Costo inicial
CO	Costo Operacional
CMP	Costos de Mantenimiento Preventivo
TCPf	Costes totales por confiabilidad
CMM	Costes de mantenimiento Mayor
PTCPF	Costos totales por fallo a valor presente
Lb	Libra
Kg	Kilogramo
in	Pulg
<i>in</i> ²	Pulgada cuadra
mm	Milímetros
<i>mm</i> ²	Milímetros cuadrados
M	Metros
<i>m</i> ²	Metros cuadrados
Pa	Pascales
Mpa	Mega Pascales
W	Potencia
V	Voltio
A	Amperaje
Vm/N	Voltios metros sobre Newton
<i>m</i> ³ / <i>s</i>	Metros cúbicos sobre segundo
m/s	Metros sobre segundos

SIMBOLOGÍA

α	Factor que depende de la relación H/L
E	Módulo de Elasticidad
G	Gravedad Especifica
I	Momento de Inercia
L	Longitud del tanque
l	Distancia máxima entre soportes
R	Reacciones del tanque
S	Valor de esfuerzo de placa
t	Espesor de placa requerido
w	Carga por unidad
R	Reacciones
F	Fuerza aplicada
A	Área de trabajo
y	Desplazamiento en el eje vertical con respecto al eje horizontal
q	Carga distribuida
Z	Módulo de la sección seleccionada
Q	Calor
M	Masa
Cp	Calor latente a presión constante
T	Temperatura
df	Longitud del campo cercano
D	Diámetro
F	Frecuencia central del transductor
va	Velocidad acústica en el material de prueba
V	voltaje esperado por la deformación del material
G33	Constante piezoeléctrica en unidades de Vm/N (Voltios
h	Longitud o grosor del piezoeléctrico, $56 \times 10^{-3} [m]$
Z1, Z2	Altura de elevación sobre el plano de referencia, m.
hL	Pérdida de carga, m.
NR	Numero de Reynolds
ρ	Densidad del fluido, kg/m ³ .
μ	Viscosidad dinámica del fluido,
v	Viscosidad cinemática del fluido, m ² /s.
nH	Rendimiento hidráulico, expresado en porcentaje %/1;
nV	Rendimiento volumétrico, expresado en porcentaje %/1.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Cabina de Sandblasting	3
Figura 1.2	Limpieza por sandblasting portátil	4
Figura 1.3	Limpieza con productos químicos	5
Figura 1.4	Limpieza por ultrasonidos.....	6
Figura 1.5	Campos del transductor ultrasónico	7
Figura 2.1	Metodología del diseño	10
Figura 2.2	Diagrama de Flujo de la Máquina.....	21
Figura 2.3	Simulación de la fuerza que soporta el tanque de Acero Inoxidable	25
Figura 2.4	Simulación de la deformación del tanque de Acero Inoxidable	25
Figura 2.5	Diseño de la estructura.....	26
Figura 2.6	Diagrama de Carga libre de la viga de 1200mm	27
Figura 2.7	Diagrama de Fuerzas de la viga de 1200mm.....	28
Figura 2.8	Diagrama de Momentos las vigas de 1200mm	28
Figura 2.9	Deflexión de la Estructura, Vista viga 1200mm	31
Figura 2.10	Deflexión de la Estructura, Vista isométrica	32
Figura 2.11.	Esfuerzo de la Estructura, Vista viga 1200mm.....	32
Figura 2.12	Esfuerzo de la Estructura, Vista isométrico	33
Figura 2.13	Demostración del calentamiento del agua en 2D mediante simulación ...	35
Figura 2.14	Reducción y rectificación del voltaje de 120V alterno	46
Figura 2.15	Voltaje de control 5Vdc.....	46
Figura 2.16	Recibidor de señal de voltaje directo.....	47
Figura 2.17	Control de encendido y apagado.....	47
Figura 2.18	Control de Elementos para encendido y apagado.....	48
Figura 2.19	Circuito del Arduino	49
Figura 2.20	Simulación de encendido del Arduino	50
Figura 3.1	Diseño de la máquina.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación de métodos de limpieza	12
Tabla 2.	Análisis de Comparación de costos anuales de las diferentes máquinas ..	14
Tabla 3.	Análisis de costos entre máquinas	14
Tabla 4.	Ponderación de procesos y equipos de la máquina	15
Tabla 5.	Matriz De Selección De Proceso De Limpieza	16
Tabla 6.	Matriz De Selección De Método De Limpieza	16
Tabla 7.	Matriz De Selección del líquido limpiador y calentador de agua.....	17
Tabla 8.	Matriz De Decisión con ponderación	17
Tabla 9.	Ponderación de los elementos del sistema de control.....	18
Tabla 10.	Matriz De Selección del sistema de control	18
Tabla 11.	Matriz de decisión con ponderación	18
Tabla 12.	Densidades y Viscosidad Dinámica del agua a diferentes temperaturas ...	40
Tabla 13.	Características Del Tanque	53
Tabla 14.	Características de las vigas por longitudes	54
Tabla 15.	Características de las planchas.....	54
Tabla 16.	Características de las Resistencias Eléctricas	54
Tabla 17.	Características De Los Transductores Y Generadores De Ultrasonido.....	55
Tabla 18.	Componentes Sistema De Recirculación	55
Tabla 19.	Componentes Del Sistema De Control De La Máquina.....	55
Tabla 20.	Costo Del Tanque.....	56
Tabla 21.	Precio De Las Vigas Y Planchas De La Estructura	56
Tabla 22.	Precios De Transductores Y Generadores De Ultrasonidos	57
Tabla 23.	Precio Del Calentador Eléctrico Y Componentes	57
Tabla 24.	Precios Del Sistema De Recirculación	57
Tabla 25.	Precios De Los Componentes Del Sistema De Control.....	59
Tabla 26.	Precio Final De La Máquina De Ultrasonidos	59
Tabla 27.	Método Tradicional	60
Tabla 28.	Método por ultrasonidos	61
Tabla 29.	Ingresos y Egresos anuales	61
Tabla 30.	VAN y TIR.....	61
Tabla 31.	Tiempo de retorno de la inversión	61

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Máquina de Limpieza de motores por ultrasonidos
Plano 2	Descripción de las partes de la máquina
Plano 3	Vistas 2d de la máquina
Plano 4	Tanque de Acero Inoxidable
Plano 5	Dimensiones del Tanque de Acero Inoxidable
Plano 6	Estructura metálica para el tanque
Plano 7	Dimensiones de Estructura metálica para el tanque
Plano 8	Estructura metálica de la máquina
Plano 9	Dimensiones de la Estructura metálica de la máquina
Plano 10	Montaje del tanque en su estructura
Plano 11	Vistas de Montaje del tanque en su estructura
Plano 12	Montaje partes metálicas en la estructura de la máquina
Plano 13	Vistas de Montaje partes metálicas en la estructura de la máquina
Plano 14	Montaje del sistema de ultrasonido y de control
Plano 15	Vistas del Montaje del sistema de ultrasonido y de control
Plano 16	Armado del sistema de recirculación
Plano 17	Vistas Armado del sistema de recirculación
Plano 18	Montaje del sistema de recirculación sobre la máquina

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del Problema

En algunas empresas que utilizan motores estacionarios de cuatro tiempos se han presentado inconvenientes en los procesos mantenimiento de sus partes entre los cuales se identificaron algunos problemas técnico-administrativos.

Con respecto a los problemas técnicos, los más frecuentes se relacionan con la eficiencia de la limpieza, que depende fundamentalmente de las habilidades del operador y del cumplimiento de los tiempos óptimos para la limpieza final, que, al no cumplirse exhaustivamente, quedarán restos de partículas de combustibles o residuos de óxido o aceites, causando que el siguiente mantenimiento se lo realice en periodos más frecuentes, debido a que los residuos pueden contaminar los fluidos y acelerar el desgaste de las partes del motor y reducir su desempeño.

Los químicos que se utilizan en los procesos de mantenimiento producen un doble impacto, ya que alteran el equilibrio ambiental e impacta en la salud del operador, quien está expuesto a la inhalación de partículas tóxicas que obligan a mantener un sistema de rotación en los diferentes procesos.

En relación con los problemas administrativos, la rotación del recurso humano que está expuesto a los agentes químicos incrementa el costo de las actividades de mantenimiento, así mismo exige una inversión adicional en capacitarlo para cumplir eficientemente esta actividad.

Otro rasgo significativo del problema administrativo, es el costo de los equipos y su operación de limpieza, que exige personal capacitado para el uso eficiente de las potencialidades de la máquina.

En el ámbito logístico, debido a las dimensiones de la máquina de limpieza, existen dificultades para trasportarla y, además, que incurre en el riesgo de daño de las partes electrónicas, eléctricas o estructurales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos General

Diseñar una máquina a base de ondas de ultrasonido para la limpieza de elementos de motores, logrando eficiencia tecnológica y administrativa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar un sistema de generación de vibraciones que produzcan ondas en el rango de ultrasonido que actúen eficientemente en la limpieza de motores.
- Definir parámetros de operación y químicos que mejoren el tiempo, reduzcan el impacto ambiental y minimicen los riesgos de salud y ambiental.
- Analizar la factibilidad económica del diseño del equipo para la validación de su potencial de fabricación en el Ecuador.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 Tipo de limpiezas

Limpieza Mecánica

La limpieza mecánica se realiza con Sandblasting o glassblasting, cuya función principal es expulsar arena, vidrio o hielo mediante un flujo de alta presión, eliminando las partículas de impureza en la pieza. Existen dos clases de máquina, de cabina y portátil.

1. En la máquina de cabina, el operador coloca la pieza dentro de la máquina, la enciende, e introduce sus manos protegiéndose con guantes que se encuentran acoplados a la máquina, de inmediato fluye el producto utilizado, mientras el operador manipula de tal manera, que se limpie por completo. La figura 1.1 muestra la máquina.
2. En la máquina portátil, el operador trabaja mediante un compresor de aire que ayuda a expulsar el flujo de producto. Para operar esta máquina debe usarse un equipo de protección personal con mayores características en seguridad, ya que se expone completamente al flujo de producto que rebota en la pieza, que al caerle al operador le ocasiona el deterioro de su salud. (afectación de ojos y pulmones). La figura 1.2 muestra como una persona opera la máquina.



Figura 1.1 Cabina de Sandblasting

Fuente Direct Industry, 2016



Figura 1.2. Limpieza por sandblasting portátil

Fuente RAPCO LTD, 2007

Limpieza por químicos

El proceso de limpieza por químicos se utiliza para eliminar las partículas que no pertenecen a la pieza, para lo cual se utilizan ciertos productos como Amoníaco, Sustancias desengrasantes, Disolvente o Ácidos, que facilitan la remoción de las impurezas, mismas que pueden ser en líquido o en spray. El operador introduce las piezas en una tina dejándolas en remojo dependiendo del tiempo que recomiende el fabricante. Luego lo escurre y lo seca con soplete o con paños, dejando la pieza lista para ser montada.

La exposición a estas sustancias ocasiona problemas de salud al operador, afectando pulmones, piel y aparato digestivo.



Figura 1.3. Limpieza con productos químicos

Fuente Wurth España S.A., 2016

Limpieza por ultrasonido

La limpieza por ultrasonido se logra por ondas de alta frecuencia, que facilitan el desprendimiento de las impurezas en las piezas. Las frecuencias de ultrasonido varían según el tipo de piezas a limpiar, sean estas joyas, equipos médicos o piezas mecánica.

Diseño y principio de funcionamiento

El limpiador ultrasónico consta de las siguientes partes:

- Tanque de almacenamiento de líquido y piezas que van a ser limpiadas.
- Transductores de ultrasónico o piezoeléctrico.
- Un generador ultrasónico que controla la variación de frecuencia de los transductores.
- Sistema de control para manipular diferentes parámetros como temperatura, tiempo y el generador de ultrasonido.

El objetivo de la máquina es la limpieza por ondas ultrasónicas, controladas por uno o varios transductores (piezoeléctricos) que producen ondas en un rango de frecuencia entre 20 y 120 kHz.

Dentro del tanque se encuentra el líquido y las piezas, en la parte de abajo del tanque están los transductores, que generan ondas de ultrasonido produciendo pequeñas burbujas en el líquido, éstas se adhieren a la pieza o elemento y después de un cierto tiempo, se rompen facilitando el desprendimiento de las grasas o impurezas de las piezas, como se muestra en la figura 1.4.

Éste proceso es manipulado por un operador que observa y verifica mediante un tablero, el cual se encarga de controlar:

- La temperatura, que se encuentra en un rango de 60 °C a 80 °C, rango en el cual se vuelve más fácil el desprendimiento de las impurezas en las piezas.
- El tiempo que el generador de ultrasonido trabajará, para activar los transductores.
- La recirculación del agua en el tanque, para mantener una temperatura homogénea.
- Botón de emergencia, para apagar la máquina en caso de riesgo alguno.

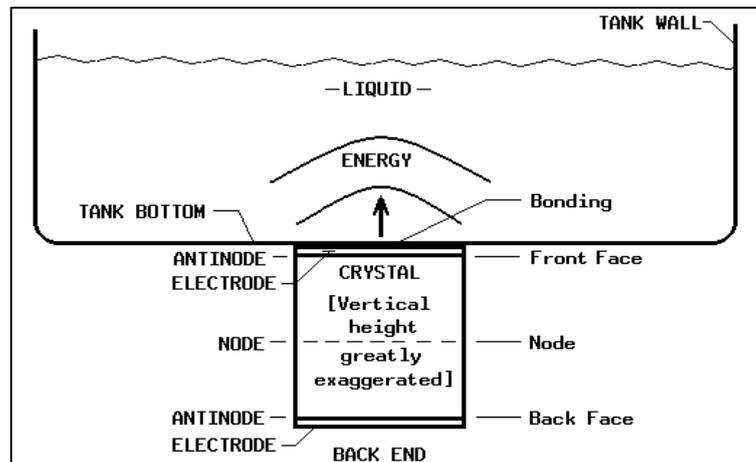


Figura 1.4 Limpieza por ultrasonidos

Fuente S. Berliner, III, 2014

Funcionamiento de los transductores

Los transductores transmiten ondas de ultrasonido a la pieza a limpiar. Generalmente son de material piezoeléctrico y a veces, magnetostrictivos, su frecuencia oscila entre 20Khz a 120Khz.

Los transductores tienen diferentes zonas de acción, como la zona muerta, la zona de Fresnel y la zona Fraunhofer, esta última es donde se realiza trabajo efectivo, ya que las ondas de frecuencia producida en esta zona son aptas para que la pieza se limpie sin causarle daños.

En la figura 1.5, se observan las zonas de trabajo del transductor

1. Zona muerta.
2. Zona Fresnel.
3. Zona Fraunhofer.

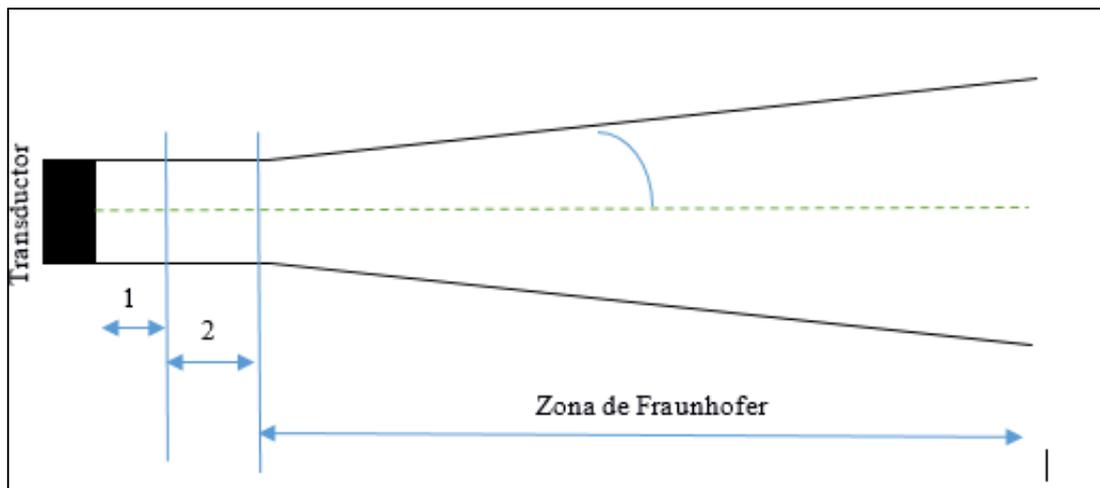


Figura 1.5 Campos del transductor ultrasónico

Fuente Elaboración Propia

Zona de Fraunhofer o Zona lejana

La Zona Fraunhofer se caracteriza porque a medida que se incrementa la distancia del transductor, decrece la intensidad del haz. En ésta zona se colocan las piezas o elementos, ya que es la más apropiada para la limpieza.

Generador de ultrasonido

El generador de ultrasonido es un circuito electrónico, que envía señales para que los transductores se activen y trabajen de manera correcta.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Metodología de diseño

Ante los diferentes procesos de limpieza de motores estacionarios y la permanente utilización de los métodos, se propone estudiar las alternativas existentes en el Ecuador, que se aplican en investigar equipos para valorar, en cada una de ellos, en la eficiencia, el impacto ambiental, los costos de operación, el tiempo de operación y el perfil del recurso humano, que interactúa con los equipos de limpieza de los motores.

Los momentos del proceso metodológico se describen en la figura 2.1 y consisten en:

1. Buscar alternativas para el problema actual; se establecieron procesos de limpieza debidamente documentados en diversas fuentes como catálogos, entrevistas y consultas electrónicas.
2. Seleccionar la mejor alternativa con referencia de Seguridad Industrial, Costos y operaciones. Una estrategia metodológica fue el sondeo de opinión a expertos en el área de operación y mantenimiento.
3. Una etapa fundamental para la propuesta fue el proceso de diseño a través de cálculos y selección de los elementos de la máquina.
4. Como resultado de las actividades previas se procedió al bosquejo de la máquina propuesta.

5. En función del diseño se solicitaron cotizaciones a partir de las cuales se seleccionaron los mejores proveedores. Los criterios para la selección de proveedores fueron calidad de producto y costos competitivos en el mercado.
6. Se efectuó un estudio comparativo de costos entre tres propuestas y sus respectivas variables.
7. El diseño 3D de la máquina se logró a partir del numeral 3, 4 y 5.
8. La selección del diseño de la estructura es validada a través de una simulación los componentes más críticos de la máquina.
9. Finalmente, las conclusiones están vinculadas con las actividades propuestas en los objetivos económicos, de seguridad y de diseño.

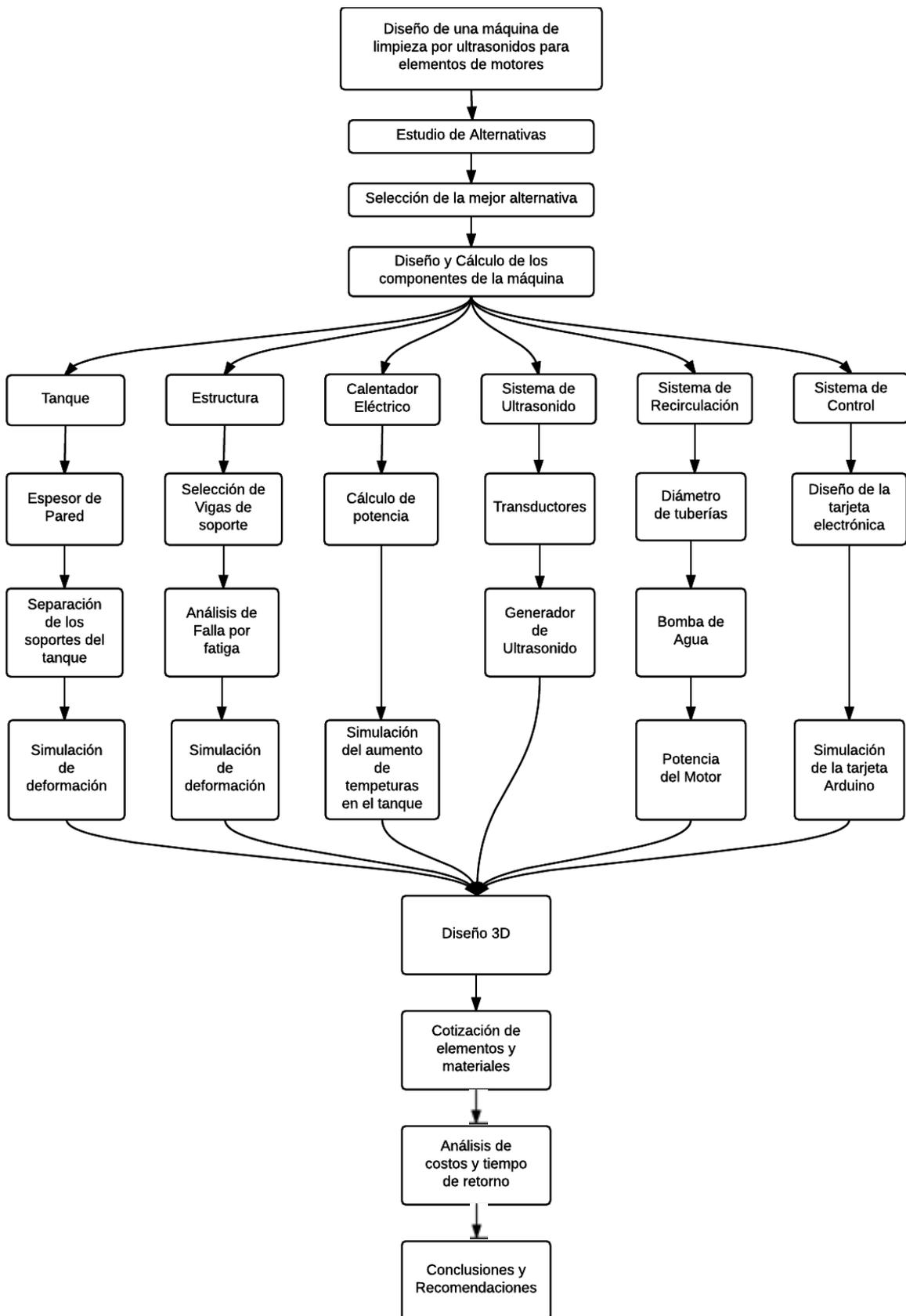


Figura 2.1. Metodología del diseño

Fuente Elaboración Propia

2.2 Alternativas

Para el análisis de decisión se escogieron tres tipos de limpiezas:

1. Limpieza mecánica, se escogió la máquina de Sandblasting portátil, cuyo procedimiento se encuentra en la sección 1.3.1 método de limpieza mecánica.
2. Limpieza química, se escogieron los líquidos que contienen detergentes, su procedimiento se encuentra en la sección 1.3.2 método de limpieza química.
3. Limpieza ultrasónica, se escogió la máquina de limpieza por ultrasonido. su procedimiento se encuentra en la sección 1.3.3 método ultrasónico.

En la tabla 1 se muestra la comparación de cada método de limpieza con respecto a la eficiencia, salud, ambiente, operación de las máquinas, capacitaciones requeridas al personal y uso de equipo de protección personal (EPP).

Tabla 1. Comparación de métodos de limpieza

	Mecánico	Químico	Ultrasonido
Eficiencia en limpieza de piezas irregulares	Baja Pueden causar incrustaciones en piezas con orificios. Rayas las piezas.	Media Depende del tiempo de remojo de la pieza. Presión de expulsión del químico.	Alta Las vibraciones y temperatura hacen que se haga más fácil limpiar las piezas en cualquier superficie.
Salud del operador y/o Ambiente	La arena o vidrio causan daños digestivos y respiratorios Problemas ergonómicos. Contaminación del Ambiente por las partículas de arena y vidrio.	Los químicos que se utilizan como desengrasante, desoxidante, etc., causan daños digestivos, respiratorios y dérmicos. Problemas Ergonómicos Contaminación del Ambiente por los químicos.	Se utiliza Agua como liquido limpiador, el cual no causa daños ni al operador, ni al Ambiente.
Operación	Tiempos prolongados de limpieza. El operador debe manipular la pieza mientras el flujo de arena o video cae sobre éste.	Tiempo prolongado de limpieza. El operador debe manipular los químicos echándolos sobre pieza o dejándolos en remojo.	El operador debe colocar los elementos en el tanque, y colocar el tiempo de trabajo del equipo.
Energía	Eléctrica/Combustible/Energías Renovables.	No Aplica.	Eléctrica / Energías Renovables.
Capacitación al operador	Manejos de Químicos. Uso de la máquina. Uso de EPP.	Uso de Químicos. Uso de EPP.	Uso de la máquina. Uso de EPP.
Equipo de Protección Personal	Overol, gafas, guantes, botas de punta de acero, Careta, mascarilla y Línea de vida.	Overol, gafas, guantes, botas de punta de acero, mascarilla con filtro de aire.	Overol, gafas, guantes, botas de punta de acero.

Fuente Elaboración Propia

2.2.1 Análisis de comparación de costo de vida por equipo de limpieza

El análisis de comparación de costo de vida se lo realizo mediante la obra de Parra, Márquez (2012), la cual se encuentra en la tabla 2 y en anexo apéndice B, donde se realizaron los análisis de comparación entre los equipos, identificando cuales los costos e implicaciones.

Inversión inicial (CI), Costo de equipos.

Costes de operación (CO), son los recursos materiales que se necesita para operar el equipo; también se toma en cuenta los EPP, la venta de lodos o limpieza de la arena del sandblasting, las horas hombres en la operación de las máquinas por semana, suponiendo que se trabajen ocho horas por cinco días a la semana, teniendo un total de 40 horas semanales.

Costes de Mantenimiento Preventivo (CMP), es el mantenimiento que se realiza para alargar la vida útil del equipo y sus extras, como la PTAR (Planta de Tratamientos de aguas residuales), los extractores de aire.

Costes Totales por Confiabilidad (TCPf), son los costos por posibles fallas mecánicas, los costos de penalización al infringir una ley ambiental o laboral.

Costes de Mantenimiento Mayor (CMM), en caso que se requiera hacer un mantenimiento grande, sería el costo máximo de gastos en repuestos y horas hombres requeridas en el mantenimiento.

En la tabla 3 se observan los costos según la categoría, deduciendo que, a pesar que la inversión inicial en los procesos de limpieza mecánica y química son menores, el costo de operación del equipo aumenta, por lo que resulta mejor invertir un poco más ya que el costo final del equipo se verá reducido con el paso del tiempo.

Tabla 2. Análisis de Comparación de costos anuales de las diferentes máquinas

	CI	CO	CMP	TCPf	CMM
Mecánico	Costo del equipo	Hora hombres Materiales (Arena) + EPP	Mantenimiento Preventivo del equipo	Costos por fallas anuales Penalización	Repuesto + mano de obra
Químico	Costos del químico en un año Compra de lavacaras	Horas Hombres + Reposición de químicos + guaipes + paños + EPP	Mantenimiento Preventivo a los extractores de aire Planta de tratamiento de químicos	Costos por fallas anuales Penalización	venta de lodos + lavacaras
Ultrasónico	Costos del equipo	Horas hombres + Agua + EPP	Mantenimiento Preventivo del equipo + Planta de Tratamiento de químicos	Costos por fallas anuales Penalización	Repuestos+ mano de obra + lodos

Fuente Parra Márquez, C. A, Crespo Márquez, A. (2012)

Tabla 3. Análisis de costos entre máquinas

		Mecánico	Químico	Ultrasónico
Costo inicial	CI	\$10,000	\$2,000	\$20,000
Costo Operacional	CO	\$84,190.4	\$53,943.8	\$9,060.8
Costos de Mantenimiento Preventivo	CMP	\$320	\$1,112	\$320
Costes totales por confiabilidad	TCPf	\$22,838.07	\$21,633.33	\$22,663.03
Costes de mantenimiento Mayor	CMM	\$500	\$1,400	\$1,400
Costos totales por falla a valor presente	PTCPf	\$2,283.81	\$10,816.67	\$2,266.30
Costos Totales de Ciclo de vida	CTCV	117,848.47	\$80,089.13	\$53,443.825

Fuente Elaboración propia

2.2.2 Matriz de selección

Para la matriz de selección de los procesos y elementos de la máquina resultante se escogió utilizar la matriz de riesgos de Análisis Causa Raíz de la obra de Parra, Márquez (2012), donde indica que el primer valor de la tabla 4 es el valor que el libro propone, y el segundo, es el valor ponderado sobre 100 que se lo utiliza para la matriz de decisión.

Tabla 4. Ponderación de procesos y equipos de la máquina

		Porcentaje de Ponderación
Flexibilidad operacional		
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4	25
Hay opción de repuesto compartido	2	50
Función de repuesto disponible	1	100
Costo del Equipo		
Mayor o igual a \$10000	2	50
Inferior a \$10000	1	100
Costo de los componentes de la máquina		
Mayor o igual a \$200	2	50
Menos a \$200	1	100
Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene		
Afecta la seguridad humana \ ambiente - alto impacto	8	12,5
Afecta las instalaciones causado daños severos	6	16,67
Provoca daños menores (accidentes e incidentes) \ impacto ambiental bajo, violación normas ambientales	4	25
Provoca molestias mínimas en instalaciones o al ambiente	2	50

Fuente Parra Márquez, C. A, Crespo Márquez, A. (2012) *Libro Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Espana: INGEMAN*

En la tabla 5, se observan los valores ponderados, en la cual se otorga el mayor puntaje al Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene con 50 puntos, ya que son los costos más altos al momento que ocurre el daño a un operador o por contaminación ambiental. El Segundo valor importante es el Costo del Equipo con el valor de 30 puntos. El ultimo valor, también importante, es el de operación, es decir, como se maneja el equipo y con qué EPP. Como se mencionó en los párrafos anteriores, la empresa puede prever que tan riesgoso es el equipo, solo con analizar que EPP se debe utilizar en cada proceso.

Tabla 5. Matriz De Selección De Proceso De Limpieza

Procesos	Flexibilidad Operacional	Costo de ciclo de vida del Equipo	Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene
Mecánico	50	100	25
Químico	50	50	12,50
Ultrasonido	100	100	50

Fuente Elaboración Propia

En la tabla 6 se observa que la máquina de ultrasonidos es la menos contaminante, su costo de ciclo de vida del equipo es mucho menor que el de otros métodos, y su operación es más fácil, además se utiliza menos EPP que en otros procesos.

Tabla 6. Matriz De Selección De Método De Limpieza

Procesos	Flexibilidad Operacional	Costo de ciclo de vida del Equipo	Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene	Total
Factor de Ponderación	20	30	50	100
Mecánico	10	30	12,5	52,5
Químico	10	15	6,25	31,25
Ultrasonido	20	30	25	75

Fuente Elaboración Propia

Una vez analizado los procesos anteriores, se eligió la máquina de limpieza por ultrasonidos, y se procede a seleccionar los elementos menos contaminantes. Para las tablas 7,8, 10 y 11 se aplica el mismo criterio utilizado en la tabla 4, destacando que las tablas 7 y 8 solo aplica para la selección de elemento del líquido limpiador y del calentador de agua; las tablas 10 y 11 se refieren a la selección del sistema de control, a diferencias de las tablas anteriores, en ésta, se aplican los valores de la tabla 9.

Para diseñar la máquina de ultrasonido se seleccionan algunos componentes para ser analizados y elegir los menos contaminantes, entre agua o químicos; el calentador entre eléctrico o a gas; y el sistema de control entre análogo y digital.

Tabla 7. Matriz De Selección del líquido limpiador y calentador de agua

		Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene	Flexibilidad operacional	Costo de los elementos
Líquido	Agua	50	50	50
	Químico	12,5	100	100
Calentador de agua	Eléctrico	24	100	100
	Gas	16,67	100	50

Fuente Elaboración Propia

Tabla 8. Matriz De Decisión con ponderación

		Impacto en Seguridad Ambiente e Higiene	Flexibilidad operacional	Costo del Sistema	Ponderación
		50	20	30	100
Líquido	Agua	25	10	15	50
	Químico	6,25	20	30	56,25
Calentador de agua	Eléctrico	12	20	30	62
	Gas	8,335	20	15	43,335

Fuente Elaboración Propia

Para el análisis de la elección del sistema de control, se definieron los siguientes parámetros que se encuentran en la tabla 9.

Tabla 9. Ponderación de los elementos del sistema de control

	Ponderación
Requerimiento de Capacitación	100 Tiempo de capacitación menor a 4 horas 50 Tiempo de capacitación mayor a 4 horas
Tiempo de lectura de datos	100 Tiempo de toma de datos menor a 10 min 50 Tiempo de toma de datos mayor a 10 min

Fuente Elaboración Propia

Tabla 10. Matriz De Selección del sistema de control

Sistema de control			
	Riesgos Ambientales y humanos	Capacitación del operador	Tiempo de toma de Datos
Análogo	100	50	50
Digital	100	100	100

Fuente Elaboración Propia

Tabla 11. Matriz de decisión con ponderación

Sistema de control				
	Riesgos Ambientales y humanos	Capacitación del operador	Costo del equipo	
Ponderación	50	20	30	100
Análogo	50	10	15	75
Digital	50	20	30	100

Fuente Elaboración Propia

2.2.3 Selección de Método

Como se observó en la tabla 6, el método para limpieza por ultrasonido es el más adecuado, ya que causa menos daños al medio ambiente, a los seres humanos, y, además es muy eficaz para la limpieza de las piezas mecánicas irregulares.

En la matriz de selección de elementos en la tabla 8 y tabla 11 se observan los elementos que fueron elegidos.

- Agua, como el líquido limpiador.
- Calentador de agua, Eléctrico.
- Sistema de control, Digital.

2.2.4 Requerimientos de la máquina

Se utilizará agua como líquido limpiador durante todo el proceso. La estructura soportará el tanque con los elementos que tienen un peso máximo de 370 kg, correspondiente a 18 Inyectores y 72 válvulas de un motor estacionario (o de elementos de peso menor), más el peso de accesorios del tanque. El calentador eléctrico debe mantener el líquido limpiador entre 60° y 70° grados Celsius. La bomba de recirculación debe tener un caudal de salida de 0.06m³/min, mientras que el sistema de control manipulará tiempos de encendido y apagado del generador, de la bomba de recirculación y del calentador eléctrico.

2.2.5 Diseño conceptual

El diseño de la máquina comprende el siguiente esquema, figura 2.2:

En un tanque de acero inoxidable de preferencia cuadrada, se colocarán los elementos sucios y el agua; a esto se conecta energía eléctrica que se encarga de manejar el sistema de control del equipo, manipulando el encendido del Generador de ultrasonido, que activa los transductores produciendo ondas ultrasónicas; el Calentador eléctrico y la bomba de agua que va a recircular durante todo el proceso, manteniendo el agua a una temperatura constante y homogénea.

Los Elementos de salida son los residuos sólidos y aguas residuales, causados por el desprendimiento de las impurezas en los elementos, y las pérdidas por calor al ambiente que se generan por las altas temperaturas del calentador eléctrico y transductores.

Como producto final se obtendrán piezas limpias.

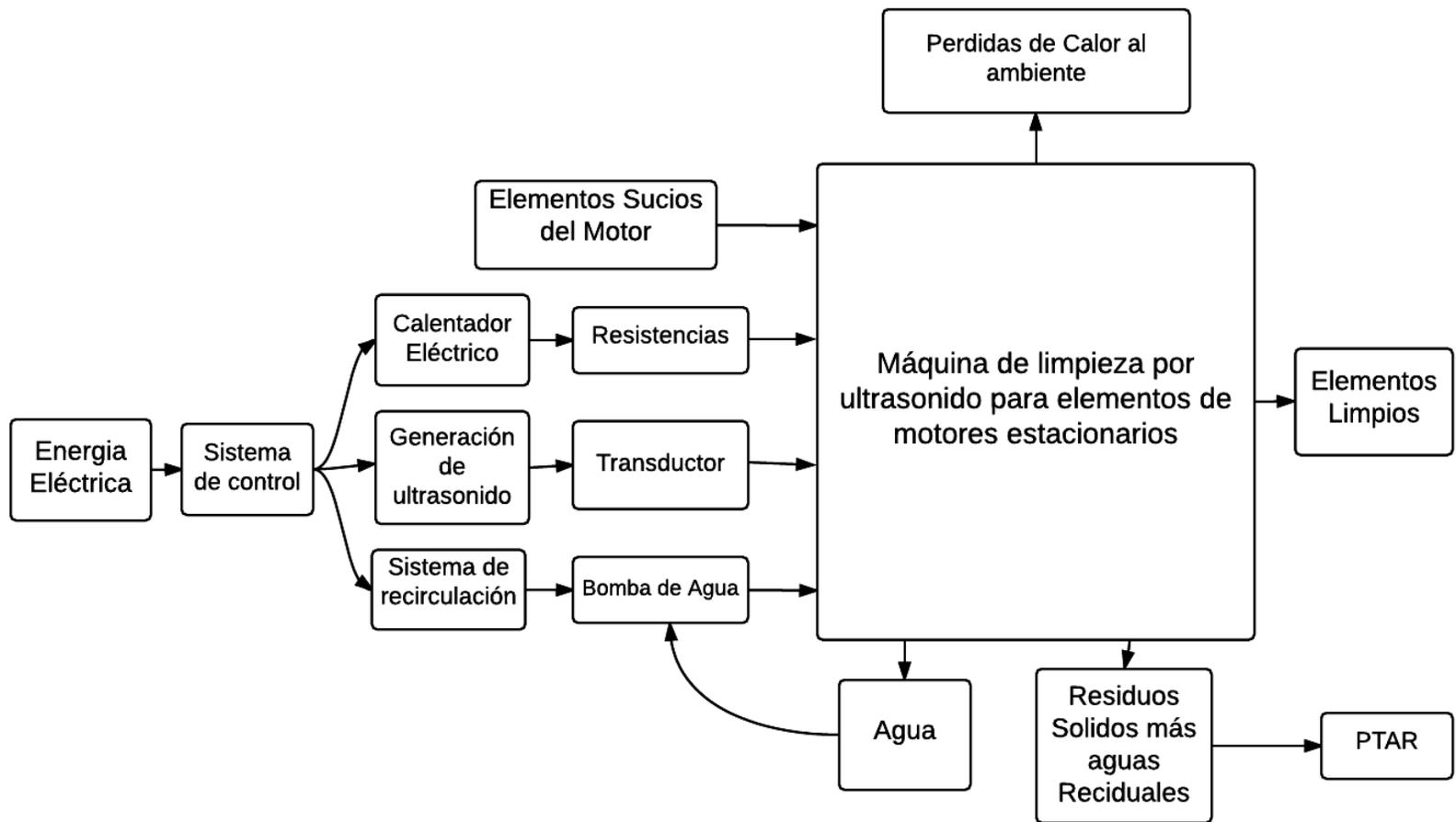


Figura 2.2. Diagrama de Flujo de la Máquina

Fuente Elaboración Propia

2.5 Cálculos

2.5.1 Tanque

Para el diseño del tanque, se eligió el material 304L, que se refiere al Acero Inoxidable, con de dimensiones de 1200x800x600 mm, espacio suficiente que da cavidad a 18 inyectores y 72 válvulas de un motor estacionario. Las medidas de los elementos del motor se encuentran en el apéndice A.1, A.2, A,3 (Wartsila S.A).

La ficha técnica del acero inoxidable 304L se la obtuvo de la ficha técnica en el apéndice A.5 (Sumitec). En el apéndice A.6 se encuentran las dimensiones de las planchas de acero inoxidable.

La tabla del factor α , se encuentra el apéndice A.4 (Megyesy)

Las fórmulas para el diseño del tanque se obtuvieron mediante las ecuaciones siguientes (Megyesy,1992).

α = Factor dependiente de la relacion de longitud a la altura del tanque $\frac{H}{L}$.

E = Modulo de Elasticidad $[lb/in^2]$.

G = Gravedad Especifica.

I = Momento de Inercia $[in^4]$.

L = Longitud del tanque $[in]$.

l = Distancia máxima entre los soportes $[in]$.

R = Reacción del tanque $[lb/in]$.

S = Valor del Esfuerzo de Placa $[lb/in^2]$.

t = Espesor Requerido de la Placa $[in]$.

w = carga por unidad de longitud $[lb/in]$.

R1, R2 = Reacción sobre el tanque.

$$t_r = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha H 0.036 G}{S}} \quad (ec. 1)$$

$$t_r = 0.08 [in]$$

Por recomendación de las normas ASME Capítulo VII división 1, el espesor de placa no puede ser inferior a 4.75mm + corrosión (0.625mm), por lo que se elige un espesor de 6mm para todo el tanque.

Los siguientes cálculos se los realizo para encontrar el perfil de viga que soporte el tanque. La ecuación 2 se la utilizó para encontrar el peso por unidad de pulgada del tanque; con esto se encontraron las reacciones y luego se procedió a calcular la inercia mínima de las vigas de soporte para la selección del perfil correcto.

Bastidor de Ateamiento

$$w = \frac{0.036GH^2}{2} \quad (ec. 2)$$

$$w = 8.10 \left[\frac{lb}{in} \right]$$

Reacciones

$$R_1 = 0.3w \quad (ec. 3)$$

$$R_2 = 0.7w \quad (ec. 4)$$

$$R_1 = 2.43 \left[\frac{lb}{in} \right] \quad R_2 = 5.67 \left[\frac{lb}{in} \right]$$

Momento de Inercia

$$I_{min} = 1.25 \frac{R_1 L^3}{E} \quad (ec. 5)$$

$$I_{min} = 11.05 in^4$$

Una vez obtenido el espesor del tanque se procedió a calcular la distancia entre soportes.

Separación máxima de la viga con espesor de dado

$$t_f = 6mm$$

$$l = 1.254t_f \sqrt{\frac{S}{0.036GH}} \quad (ec. 6)$$

$$l = 57.38 [in]$$

Reemplazando en la Ecuación 6 se obtuvo que el resultado fue 57.38 in entre soportes, lo que equivale a 1,457.45 mm; pero se escogió 1200mm ya que es la distancia máxima de pared a pared del tanque.

Simulación del tanque

Se realizó la simulación del tanque, y se observó que es necesario una estructura metálica, de perfil L 30mm y 3 espesor, placas metálicas de 30mm de ancho, 3mm de espesor y material ASTM A500 grado b, que cubra las secciones de soldadura y se obtuvieron los siguientes resultados:

El esfuerzo máximo aplicado en el tanque se localizó en el centro de él con un valor de 28.11 [N/mm²], como se observa en la figura 2.3.

El desplazamiento en el eje Y, se localizó en el mismo lugar, en el centro del tanque, y su distancia máxima fue 0.48mm y se considera que es un valor muy pequeño el cual no afectará al trabajo, como se muestra en la figura 2.4.

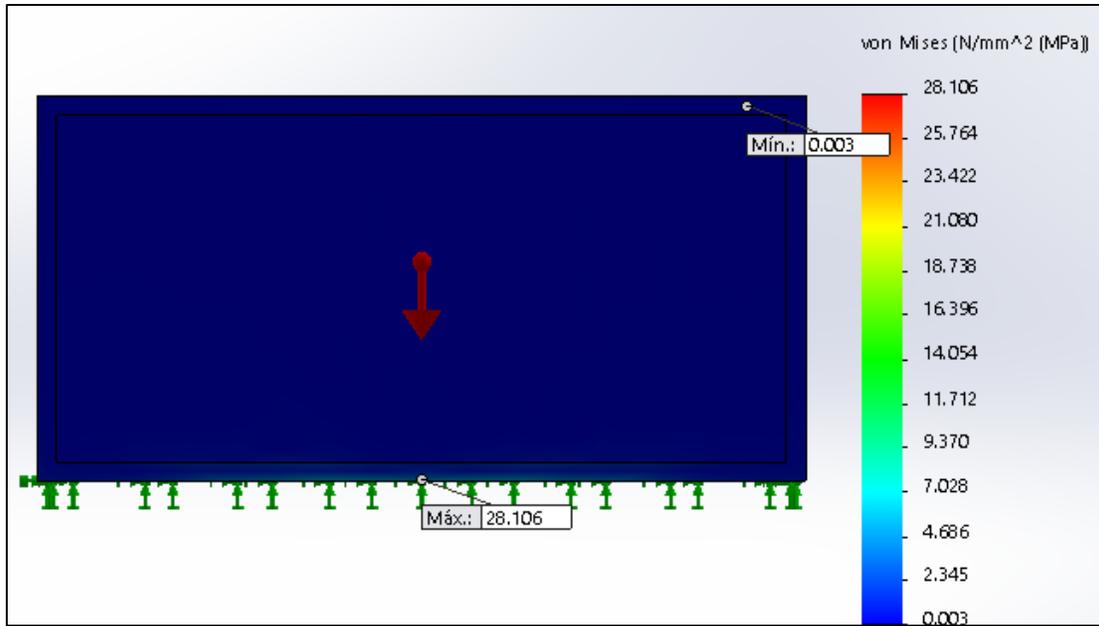


Figura 2.3 Simulación de la fuerza que soporta el tanque de Acero Inoxidable

Fuente Elaboración Propia

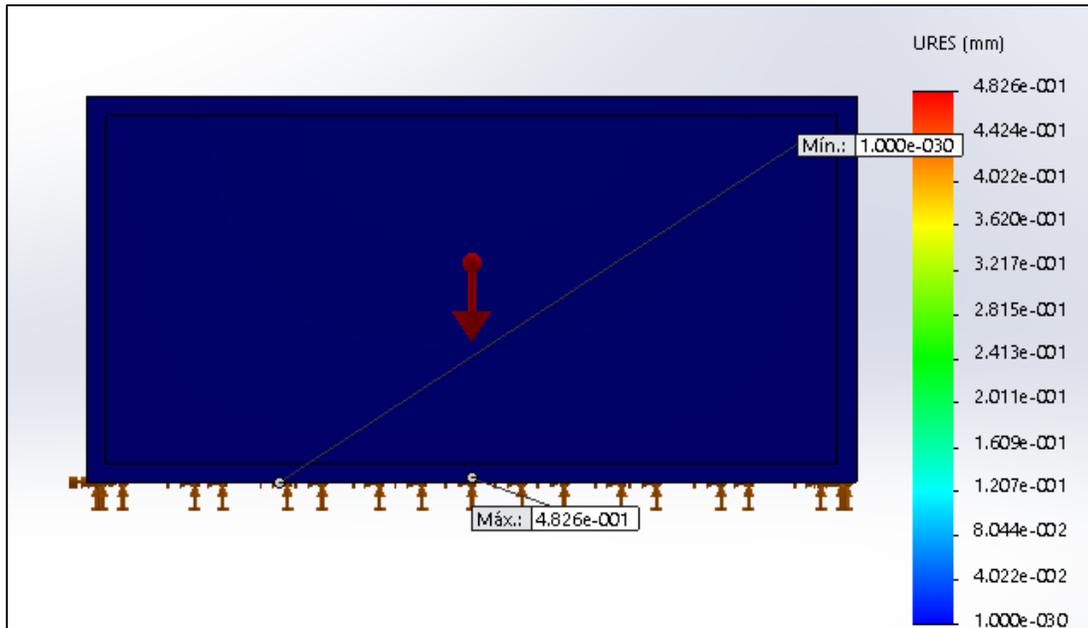


Figura 2.4 Simulación de la deformación del tanque de Acero Inoxidable

Fuente Elaboración Propia

2.5.2 Estructura

Se diseña la estructura con una mesa que soporta el peso del tanque, esta mesa tiene 2 vigas de 1200mm de longitud, y 800mm de ancho de mesa, una altura de 280mm (columnas) y una distancia entre columnas de 600mm para la viga de 1200mm y 400mm para de 800mm, se utilizan vigas cruzada para darle un mayor soporte. En el lado derecho del tanque existe un espacio de 500mm en donde, a 75mm se encuentran vigas horizontales para la colocación y soporte de la bomba de agua y motor eléctrico; en la parte superior se encuentran vigas a 400mm de distancia desde la parte superior de la estructura en donde se colocaron los generadores y sistema de control del tanque, como se muestran en la figura 2.5.

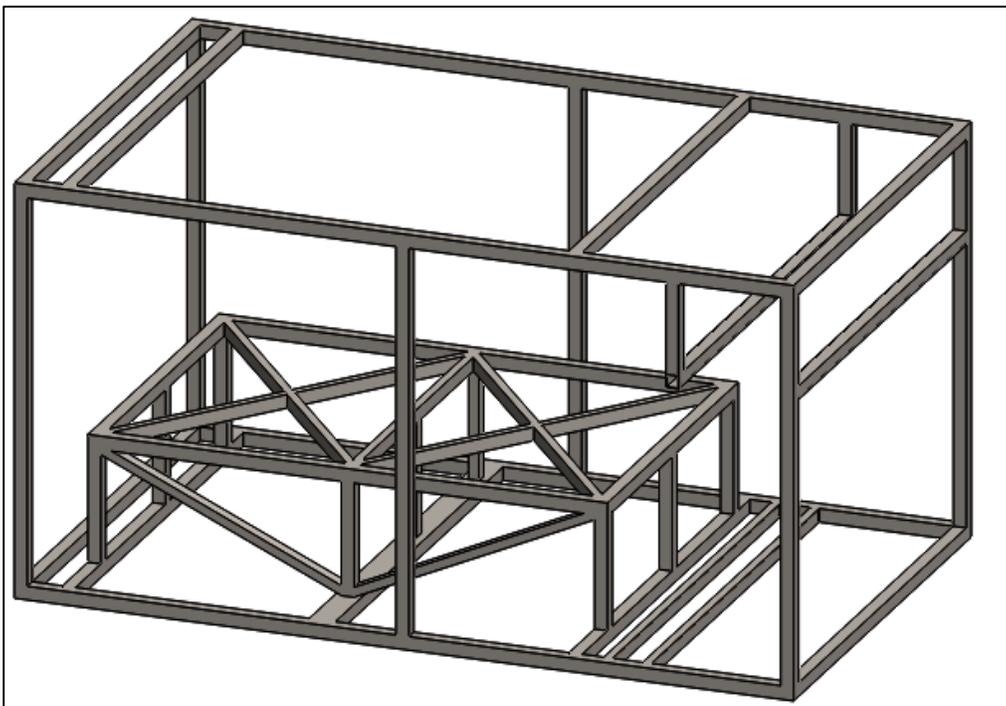


Figura 2.5 Diseño de la estructura

Fuente Elaboración Propia

2.5.2.1 Vigas

Se analizan las vigas más críticas para garantizar la resistencia del diseño. Según la figura 2.6, las vigas de 1200mm de longitud, en la que se asienta el tanque con las piezas a limpiar y el agua, eran las vigas más críticas, por lo que se procede a determinar el peso total que van a soportar. El peso total del tanque es de 1,008.17 Kg, valor que se multiplica por un factor de seguridad de 1.2 para darle mayor resistencia al diseño.

Se utilizó una viga de perfil cuadrado de 40mm, espesor 3, Acero ASTM A500 y grado B, material existente en el mercado ecuatoriano. Las dimensiones se encuentran en el catálogo de IPAC, apéndice A.7. Las ecuaciones siguientes indican que la viga se deformó observándose una curvatura de 0.47mm en el centro, en el eje Y (distancia máxima entre el eje principal y la viga).

En las siguientes figuras (2.6, 2.7, y 2.8) muestran la carga, fuerza y momentos sobre la viga de 1200mm.

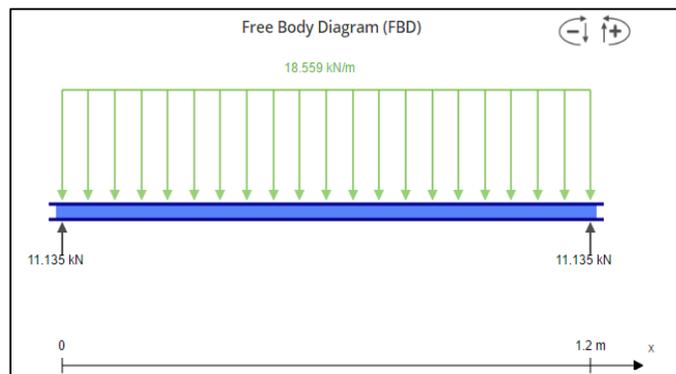


Figura 2.6 Diagrama de Carga libre de la viga de 1200mm

Fuente Sky Civ, 2013



Figura 2.7 Diagrama de Fuerzas de la viga de 1200mm

Fuente Sky Civ, 2013

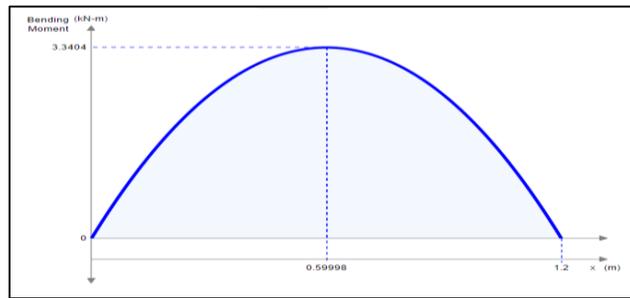


Figura 2.8 Diagrama de Momentos las vigas de 1200mm

Fuente Sky Civ, 2013

$$M = \frac{qL}{2}x - \frac{qx^2}{2} \quad (ec. 7)$$

$$EIy'' = -M \quad (ec. 8)$$

$$EIy' = \frac{qLx^2}{4} - \frac{qx^3}{6} + C1 \quad (ec. 9)$$

$$EIy = \frac{qLx^3}{12} - \frac{qx^4}{24} + C1x + C2 \quad (ec. 10)$$

Constantes

$$Y(x=0) = 0 \quad C2=0$$

$$Y(x=L) = 0$$

$$C1 = \frac{qL^3}{24} \quad (ec. 11)$$

Ecuación general

$$EIy = \frac{qLx^3}{12} - \frac{qx^4}{24} + \frac{qL^3}{24}x \quad (ec. 12)$$

Reemplazando $Y_{max} = L/2$

$$y = \frac{5}{384} * \frac{qL^3}{EI} \quad (ec. 13)$$
$$y = 0.47\text{mm}$$

2.5.2.2 Fallas por fatiga en la estructura

Luego de haber diseñado y verificado que la estructura era la correcta para soportar el tanque y sus elementos, se procedió a analizar el perfil de viga y dimensiones mediante las siguientes ecuaciones.

Los factores que influyen en la resistencia de una estructura son (Budynas, R.G. Nisbett, K.J. (2008)).

Material: composición.

Manufactura: tratamiento térmico, corrosión superficial, acabado superficial, concentración de esfuerzo.

Entorno: corrosión, temperatura.

Diseño: tamaño, forma, estado de esfuerzos, concentración de esfuerzo, velocidad, rozamiento.

En esta sección se analizaron las fallas por fatiga en la estructura realizado mediante siguientes a las ecuaciones del apéndice C (Budynas, R.G. Nisbett, K.J. (2008)).

Esfuerzos Fluctuantes

Al tener un tanque con distintos tipos de elementos y pesos, éstos variarán según la cantidad de elementos que se coloque entro del tanque, por esta razón se los analiza como esfuerzos fluctuantes, teniendo pesos de tanque y liquido hasta el peso máximo soportado. Las siguientes fórmulas se aplican para verificar que el factor de seguridad sea mayor a 2.

Fuerza

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \quad (ec. 14)$$

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \quad (ec. 15)$$

F_m, Componente del intervalo medio de la fuerza.

F_a, Componente de la Amplitud de la fuerza.

Esfuerzos

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (ec. 16)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (ec. 17)$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{I/c} \quad (ec. 18)$$

$$M_{max} = F_{max} \cdot X \quad (ec. 19)$$

$I/c = Z = \text{Modulo de la Seccion.}$

$$Z = \frac{1}{6} \frac{C^4 - C'^4}{C} \quad (ec. 20)$$

Factor de Seguridad n

Se aplicó la Teoría de Goodman para encontrar el valor del factor de seguridad.

$Se = Se' \cdot ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke$ (Apéndice C).

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut}} \quad (ec. 21)$$

$$n = 3.18$$

Como resultado se obtuvo que el factor de seguridad era mayor a dos, lo cual se comprueba que la selección del perfil de viga y tamaño son los correctos para el trabajo que va a realizar.

2.5.3 Simulación de la estructura

2.5.3.1 Desplazamiento en Y

En las siguientes tres figuras (2.9 y 2.10) se demuestra, mediante la simulación, la deflexión máxima en la estructura; se observa que la mayor deflexión ocurre en la viga de 1200mm (como se demostró anteriormente), en el medio de las columnas de apoyo; aun así, esta deformación es de 0.0356 mm, un valor muy pequeño que no afecta a la estructura diseñada.

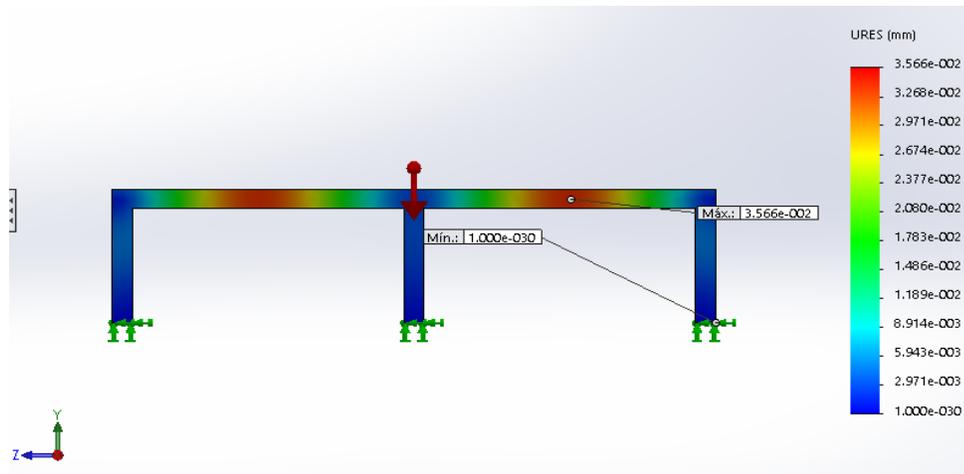


Figura 2.9 Deflexión de la Estructura, Vista viga 1200mm

Fuente Elaboración Propia

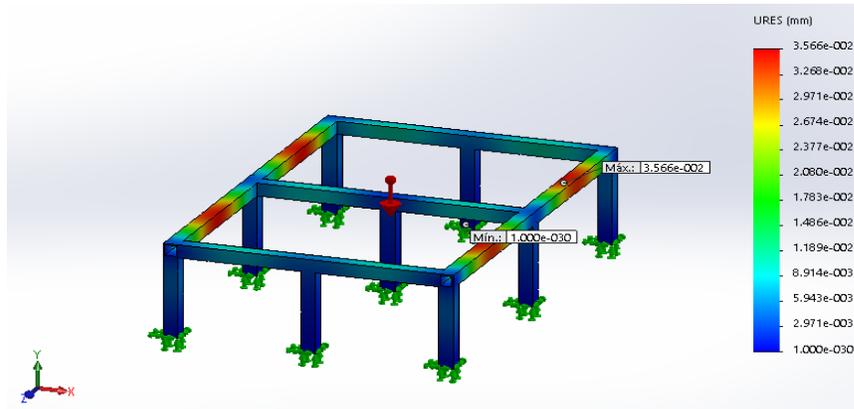


Figura 2.10 Deflexión de la Estructura, Vista isométrica

Fuente Elaboración Propia

2.5.3.2 Esfuerzo de Von Misses

En las figuras (2.11 y 2.12) se muestra el esfuerzo máximo producido por las cargas del tanque, piezas a limpiar, líquido limpiador y elementos extras. Se observa que el esfuerzo máximo aplicado sobre la estructura es de 8.595 N/mm², el cual es mucho menor que el esfuerzo que soporta el material, por lo que se acepta el diseño, selección del material y perfil.

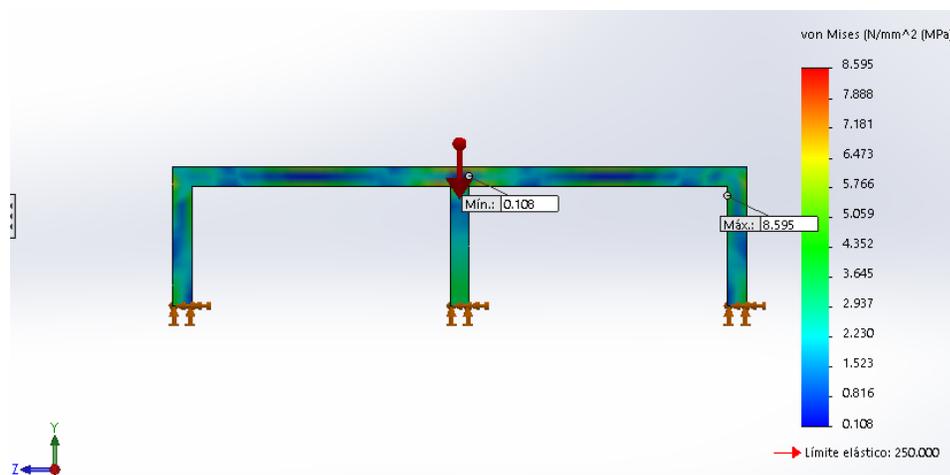


Figura 2.11 Esfuerzo de la Estructura, Vista viga 1200mm

Fuente Elaboración Propia

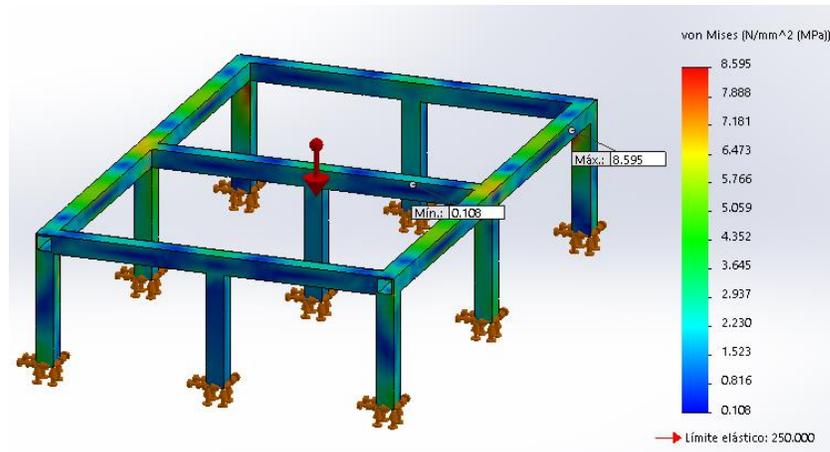


Figura 2.12 Esfuerzo de la Estructura, Vista isométrico

Fuente Elaboración Propia

2.5.4 Calentador Eléctrico

Se eligió un calentador a base de resistencias eléctricas, el cual causa el aumento de temperatura del líquido en el tanque y de las piezas, provocando que las partículas petroquímicas y otros componentes se desprendan con facilidad; se encontró, mediante pruebas, que la temperatura de desprendimiento de las partículas es a partir de 60°C hasta 80°C.

Para calcular la potencia que necesitan las resistencias para el aumento de la temperatura del líquido se utilizaron las siguientes ecuaciones, donde las ecuaciones 22 se la utiliza para encontrar el calor necesario y la ecuación 26 para la potencia de las resistencias, la ecuación 27 se la utiliza para sacar las pérdidas al ambiente, una vez obtenido estos resultados se los suma y se encuentra la potencia necesaria de la resistencia eléctrica. (Bergman, T.I., Lavine, A.S., Incropera, F.P., Dewitt, D.P. (1999)).

$$Q = m_{tanque} \cdot c \cdot \Delta T \quad (ec. 22)$$

$$m_{tanque} = \rho \cdot V_{tanque} \quad (ec. 23)$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{tanque} = L \cdot A \cdot P \quad (ec. 24)$$

L, longitud del tanque [m].

A, ancho del tanque [m].

H, 60% de altura del tanque [m].

$$V_{tanque} = 0.48 \text{ m}^3$$

$$\Delta T = T_{final} - T_{inicial} \quad (ec. 25)$$

$$\Delta T = 45 \text{ K}$$

$$Q = m_{tanque} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 90288 \text{ kJ}$$

Se selecciona un tiempo de 5400 segundos para todo el proceso de limpieza.

$$P = \frac{Q}{t} \quad (ec. 26)$$

$$P = 8.36 \text{ kJ/s}$$

Ley de enfriamiento de Newton para cálculo de potencia de pérdidas

$$Pot_{perdidas} = \sum hA \cdot \Delta T \quad (ec. 27)$$

$$Pot_{perdidas} = 1.7 \text{ kW}$$

2.5.4.1 Selección de Resistencias

Como resultado se obtuvo una potencia total 10.06 kW, en el mercado se encuentran resistencias de 2000W, 2500W y 3000W, por lo que se escoge cuatro resistencias de 3000W, un total del 12kW, 220V, para calentar agua de 20°C a 65°C en tres horas.

2.5.4.2 Matlab Pde Toolbox

Mediante el programa de Matlab se utiliza la herramienta de PDE TOOLBOX, la cual permite observar el calentamiento del líquido en el tanque, La figura 2.13, nos indica el tanque en 2D. El calentamiento es a través de las paredes laterales y se transfiere al centro del tanque, ya que se tiene en la parte superior e inferior temperaturas ambientes, se tiene que el color rojo es la menor temperatura y que el color blanco es la más alta temperatura, estas se demoran más en enfriar, por lo que se recomienda el diseño e instalación del sistema de recirculación.

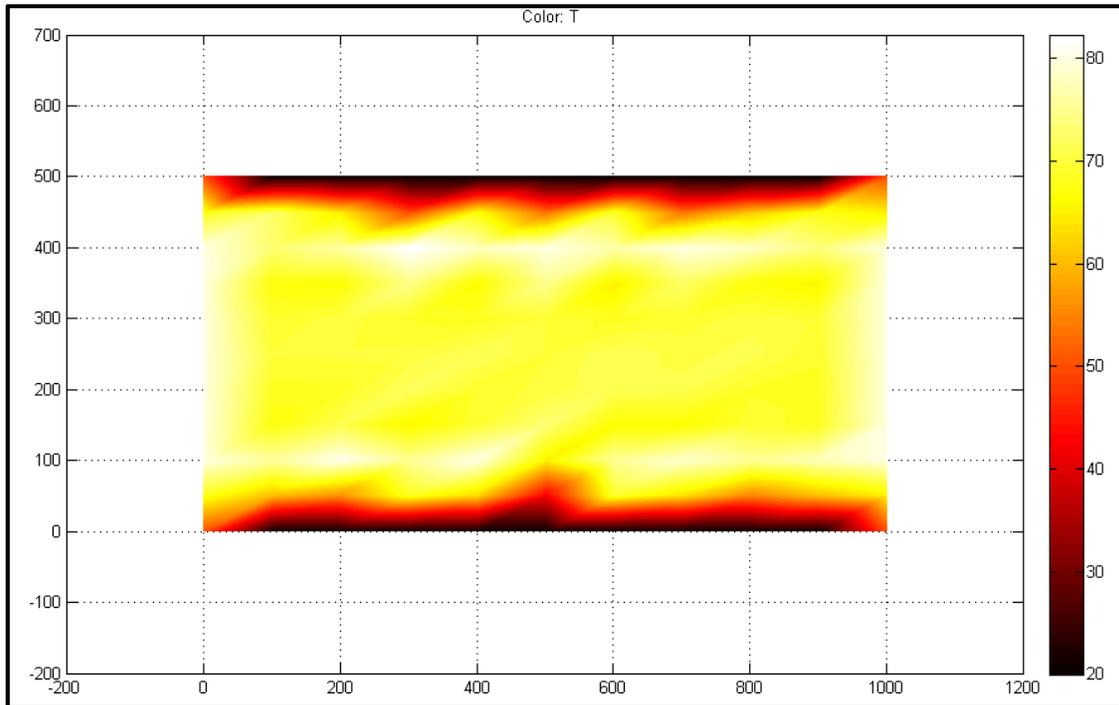


Figura 2.13. Demostración del calentamiento del agua en 2D mediante simulación

Fuente Elaboración Propia

2.5.5 Sistema de Ultrasonido

2.5.5.1 Transductores

Para el sistema de ultrasonido, se requiere encontrar el número necesario de transductores en base a su potencia, así como determinar la distancia de la Zona Fresnel para obtener a distancia donde empieza la Zona Fraunhofer y seleccionar bien el lugar donde se colocarán los transductores de ultrasonido, una vez obtenido el número de transductor y potencia requería para los mismo, se procede a seleccionar el número de generadores mediante catálogos de equipos.

Campo cerca o zona Fresnel

$$N = \frac{(d^2)f}{4v} \quad (ec. 28)$$

N, longitud del campo cercano.

D, diámetro del cristal del traductor.

F, frecuencia central del transductor.

V, velocidad acústica en el material de prueba.

$$N = \frac{d^2f}{4v} = 8.18[\text{mm}]$$

Divergencia del haz para verificar el comportamiento del transductor

$$\sin \theta = \frac{1.22v}{fd} = 0.02 \quad (ec. 29)$$

$$\sin \theta = 0.02$$

Voltaje de Pico de la deformación

$$V = -\left(g_{33} * h * \frac{f}{A}\right) \quad (ec. 30)$$

V, es el pico voltaje esperado por la deformación del material.

g_{33} , corresponde a la constante piezoeléctrica en unidades de Vm/N (VoltiosMetro / Newton) $31.7 \times 10^{-3} \left[\frac{Vm}{N}\right]$.

h, hace referencia a la longitud o grosor del piezoeléctrico, $56 \times 10^{-3} [m]$

f, es la fuerza que se le imprime al cerámico piezoeléctrico, medida en Newton.

d, es el diámetro efectivo del cerámico piezoeléctrico.

A, área del cerámico piezoeléctrico. A la fuerza aplicada sobre esta área se le denomina también nivel de estrés del material piezoeléctrico.

En este caso para un disco PZT (Zirconato Titanato de Plomo) de 27mm de diámetro y 20mm de espesor del cerámico la constante piezoeléctrica es del orden de $\sim 20 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$. (Sinocera)

$$f = mg \quad (ec. 31)$$

M, es la masa del objeto que activa el piezoeléctrico, el peso de los elementos a limpiar. (400kg).

G, corresponde a la constante de gravedad equivalente a $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$f = 3924 \text{ N}$$

El área efectiva de acción del transductor tiene un diámetro de 35mm.

$$A = d^2 * \frac{\pi}{4} \quad (ec. 32)$$
$$A = 9.62 \times 10^{-4} [m^2]$$

Reemplazando las Ecuaciones 31 y 32 en la ecuación 30, se obtiene el pico de voltaje de salida esperado para los discos piezoeléctricos.

$$V = 7,241.04 V$$

Potencia del transductor

Esta potencia se calcula a través de la ecuación 33 donde se multiplica el valor obtenido de la Ecuación 32 con la intensidad de corriente 0.4A, obtenida por UCE Ultrasonic.

$$W = V * I \quad (ec. 33)$$

$$W = 2,896.42 W$$

Selección del Modelo de transductores

Se seleccionan dos kits de transductores sumergibles, con características de 40kHz y potencia de 1500W.

2.5.5.2 Selección del Generador de ultrasonidos

Habiendo seleccionado los transductores, se escogen generadores de ultrasonido de 3000W para la frecuencia de 40kHz.

2.5.6 Sistema de recirculación

El sistema de recirculación es de suma importancia ya que es él que va a homogenizar el agua en el tanque. Para el diseño del sistema, se tiene que, se desea recircular todo el volumen de agua del tanque en 10 minutos esto nos da un caudal de 0.6 m³/min, seleccionado una tubería de ½ de pulgada, con estos datos procedemos a realizar los cálculos respectivos (White, F.M. (2004)).

Tuberías

El tanque de recirculación tiene 576 litros, por lo que se elige un caudal de 600 litros por minuto ya que se desea recircular todo el líquido en 1 minuto.

$$Q = 0.001 \frac{m^3}{s}$$

Velocidad del fluido

$$Q = A \cdot V_f \quad (ec. 34)$$

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

$$V_f = 0.2 \frac{m}{s}$$

La longitud de la tubería es de 3020mm y 5 codos de 90 grados cada uno. la temperatura del líquido se encuentra a 65 grados Celsius por lo que tiene una densidad y Viscosidad de:

Tabla 12. Densidades y Viscosidad Dinámica del agua a diferentes temperaturas

T	Densidad	Viscosidad Dinámica
45	990.25	0.000596
50	988.92	0.000547
55	985.65	0.000504
60	983.13	0.000467
65	980.45	0.000434

Fuente Vaxa Software (2016)

Ecuación de la Energía

$$\frac{P1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \pm E_m \pm E_h = \frac{P2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \pm h_L \quad (ec. 35)$$

P1, P2, presión, kN/m2.

G, peso específico, kN/m3.

a1, a2, factores de corrección de la energía cinética.

Z1, Z2, altura de elevación sobre el plano de referencia, m.

hL, pérdida de carga, m.

Ecuación de Darcy-Weisbach

$$h_L = f \frac{L * Vf^2}{Dt^2 * g} \quad (ec. 36)$$

Número de Reynolds

$$N_R = \frac{Vf * Dt * \rho f}{\mu f} \quad (ec. 37)$$

NR, número de Reynolds, adimensional

Vf, velocidad, m/s.

Dt, diámetro de la tubería, m.

ρf densidad del fluido, kg/m3, Tabla 12.

μf viscosidad dinámica del fluido, Tabla 12.

ν , viscosidad cinemática del fluido, m2 /s.

Factor de fricción

Para Flujo laminar:

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (ec. 38)$$

Para una tubería de diámetro 1 pulgada, se tiene una pérdida en tuberías de 49m, la cual es adecuada para la presión de trabajo, evitando turbulencia en la tubería.

2.5.6.1 Bomba de agua

Potencia de la Bomba de Agua

$$P_u = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (ec. 39)$$

P_u , es la potencia proporcionada al fluido, en W.

Q , es el caudal de fluido que atraviesa la bomba, en m³/s.

H_m , es la altura manométrica ganada por el fluido, en m.

ρ , es la densidad del fluido, en kg/m³.

Eje de la bomba

$$P_b(kW) = \frac{\gamma Q H}{367 \cdot \eta_H \cdot \eta_V} \quad (ec. 40)$$

Q , es el caudal que impulsa la bomba, en m^3/h

H , es la altura manométrica ganada por el fluido a su paso por la bomba, en m.

γ , es el peso específico del fluido, en kg/dm^3

η_H , es el rendimiento hidráulico, expresado en porcentaje %.

η_V , es el rendimiento volumétrico, expresado en porcentaje %.

Potencia Útil Transmitida Al Fluido Pu

$$P_u = P_b \cdot \eta_H \cdot \eta_V \quad (ec. 41)$$

Potencia Eléctrica en Motores Monofásicos

$$P_e(kW) = \frac{U \cdot I \cos \varphi}{1000} \quad (ec. 42)$$

U, es la tensión de servicio de la red eléctrica, en voltios (V).

I, es el consumo de corriente en el estator, en amperios (A).

cosφ, es el factor de potencia.

Potencia Del Motor Eléctrico

$$P_M(kW) = P_e \cdot \eta_M \quad (ec. 43)$$

ηM= rendimiento mecánico del motor que tiene en cuenta las pérdidas mecánicas debido al rozamiento en los cojinetes de los ejes, de las pérdidas en los órganos de comando y transmisión, etc.

2.5.6.2 Selección De Tipos De Bombas

Con los datos siguientes y la ilustración se procede a seleccionar la bomba

- $Q = 60$ l/min.
- $P = 6$ bar.
- Potencia eléctrica: 1.5 HP.
- Material: Acero Inoxidable.

A partir de los datos de los resultados de los cálculos anteriores se puede seleccionar una marca confiable y buscar la curva de bombas, se selecciona a partir del cabezal de presión y el caudal que necesita la bomba, con estos datos se procede a buscar el modelo de la bomba de agua y motor eléctrico. Se selecciona la bomba – motor 2CDX 70/20, Apéndice A.10.

2.5.7 Sistema de control

2.5.7.1 Señales de control

En la figura 2.14, se tiene la etapa rectificadora de voltaje con puente de diodos.

Donde el cuadro color celeste, es la protección del circuito de entrada, el voltaje de entrada es de 110V AC, si llega a sobre pasar el voltaje límite del varistor, este disminuirá su resistencia provocando que suba la corriente y queme el fusible protegiendo así todo el sistema.

El cuadro de color naranja, es la etapa de filtrado de la señal y los inductores actuarán eliminando los picos de corrientes.

El cuadro de color morado es la etapa de rectificado de la señal alterna, en esta se transformará a corriente directa.

En la figura 2.15 se muestra la transformación del voltaje a 5 Vdc para ser utilizado por el sistema de control; los capacitores se eliminan el rizado de la señal que sale del puente rectificador.

La figura 2.16 muestra la salida de voltaje de control hacia el controlador; El controlador recibe una señal de voltaje directo para indicar que el dispositivo se encuentra listo para operar, CTRL.1; Esta señal es la alimentación de la tarjeta de control con la que se van a establecer los tiempos de operación la máquina.

En la figura 2.17, muestra la activación de sección de fuerza por medio de un relé con voltaje de control desde el controlador.

El controlador enciende y apaga el proceso con ayuda de un relé activado por un transistor Q2, que se encuentra en corte o en saturación (ON/OFF), enviando un voltaje de control de 5 Vdc a la base del transistor por medio del PIN CTROL.3, los contactos del relé están conectados a la alimentación de 120Vac; CTROL3 es donde se ingresa el tiempo de trabajo de la máquina, ingresado por medio de la pantalla de control accionado por el operador, una vez accionado el circuito envía la señal para activar el RELE (RL1) donde se encuentran conectado los elementos de la máquina.

Figura 2.18, muestra el control sección fuerza del equipo, la cual está controlada por un relé que maneja la bobina de un contactor, que en sus terminales tiene tres cargas, estas se refieren:

Carga 1, Resistencias Eléctricas

Carga 2, Sistema de Recirculación,

Carga 3, Generadores de Ultrasonidos

Este relé es activado por una salida digital de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO, CTROL.3, que se activa al colocar el tiempo de trabajo del equipo, accionado por el operador de la máquina.

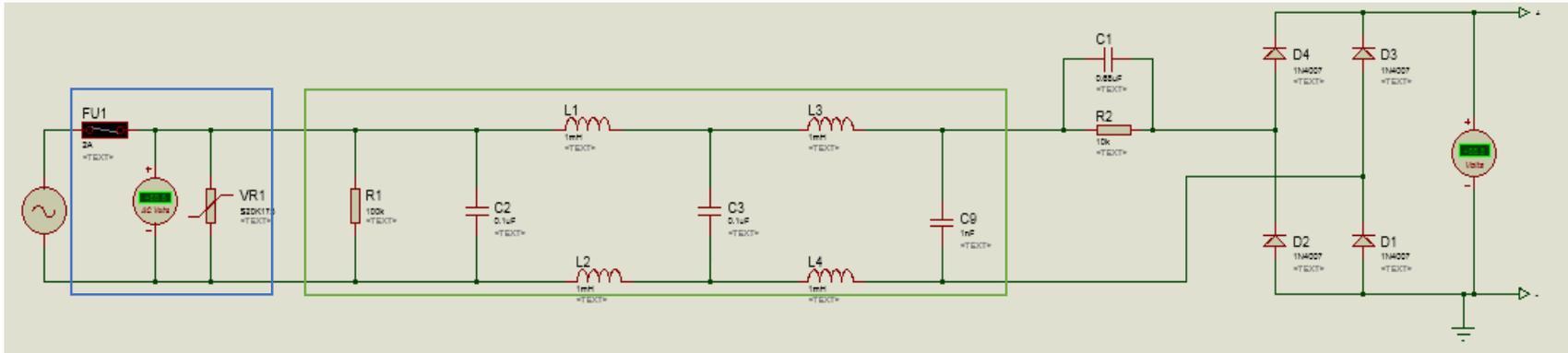


Figura 2.14 Reducción y rectificación del voltaje de 120V alterno

Fuente Elaboración Propia

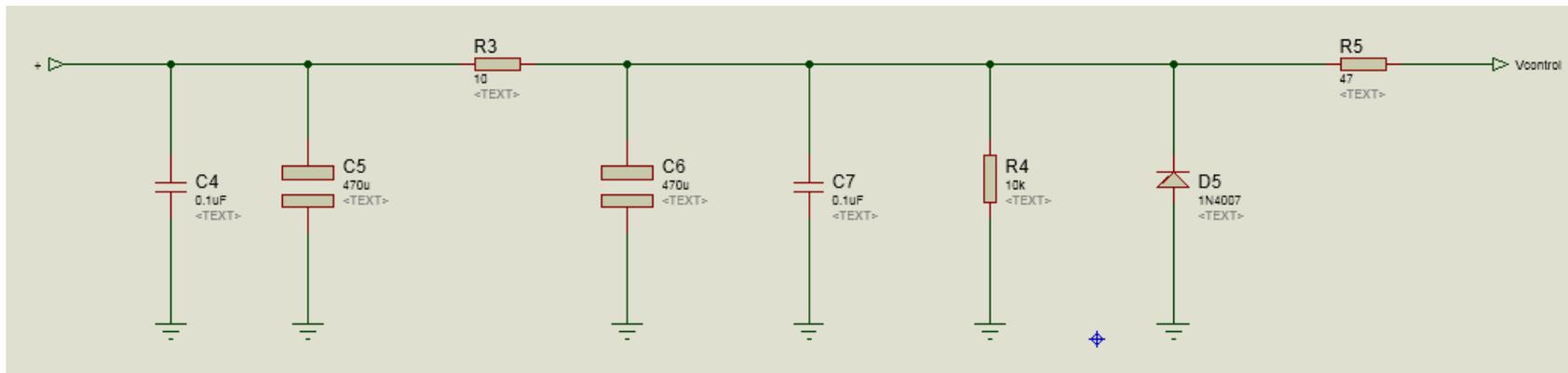


Figura 2.15 Voltaje de control 5Vdc

Fuente Elaboración Propia

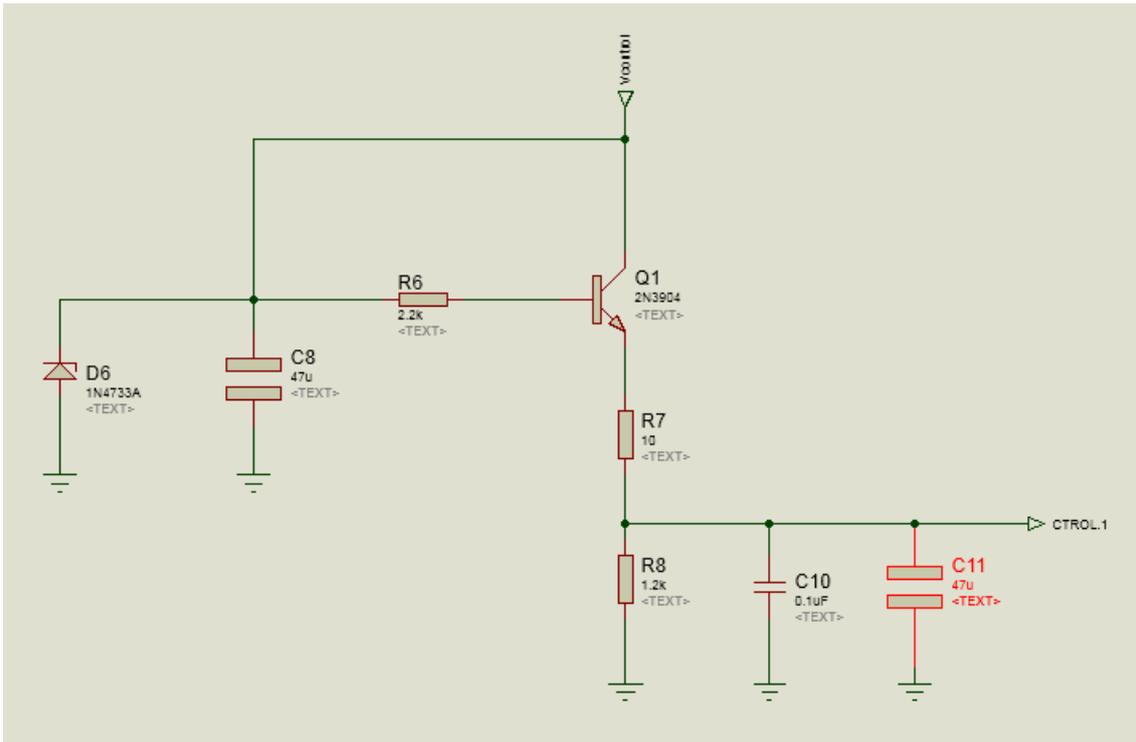


Figura 2.16 Recibidor de señal de voltaje directo

Fuente Elaboración Propia

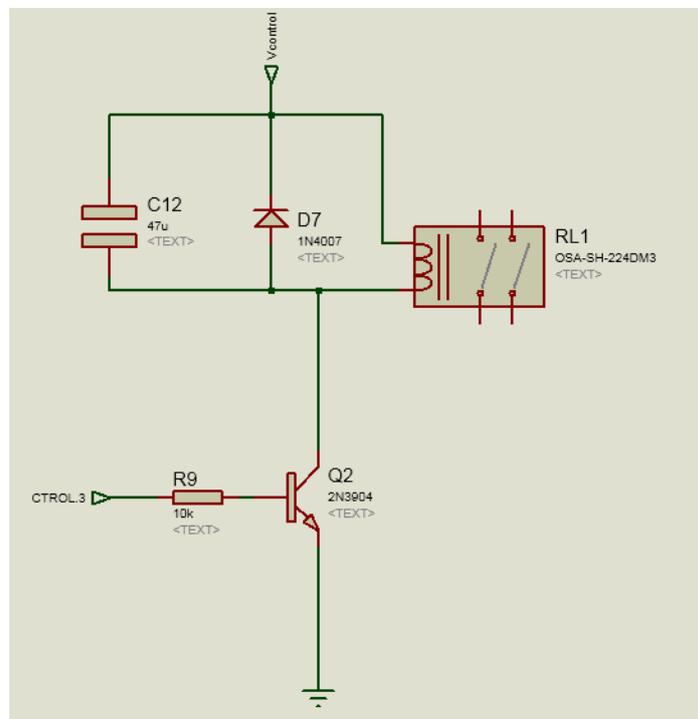


Figura 2.17 Control de encendido y apagado

Fuente Elaboración Propia

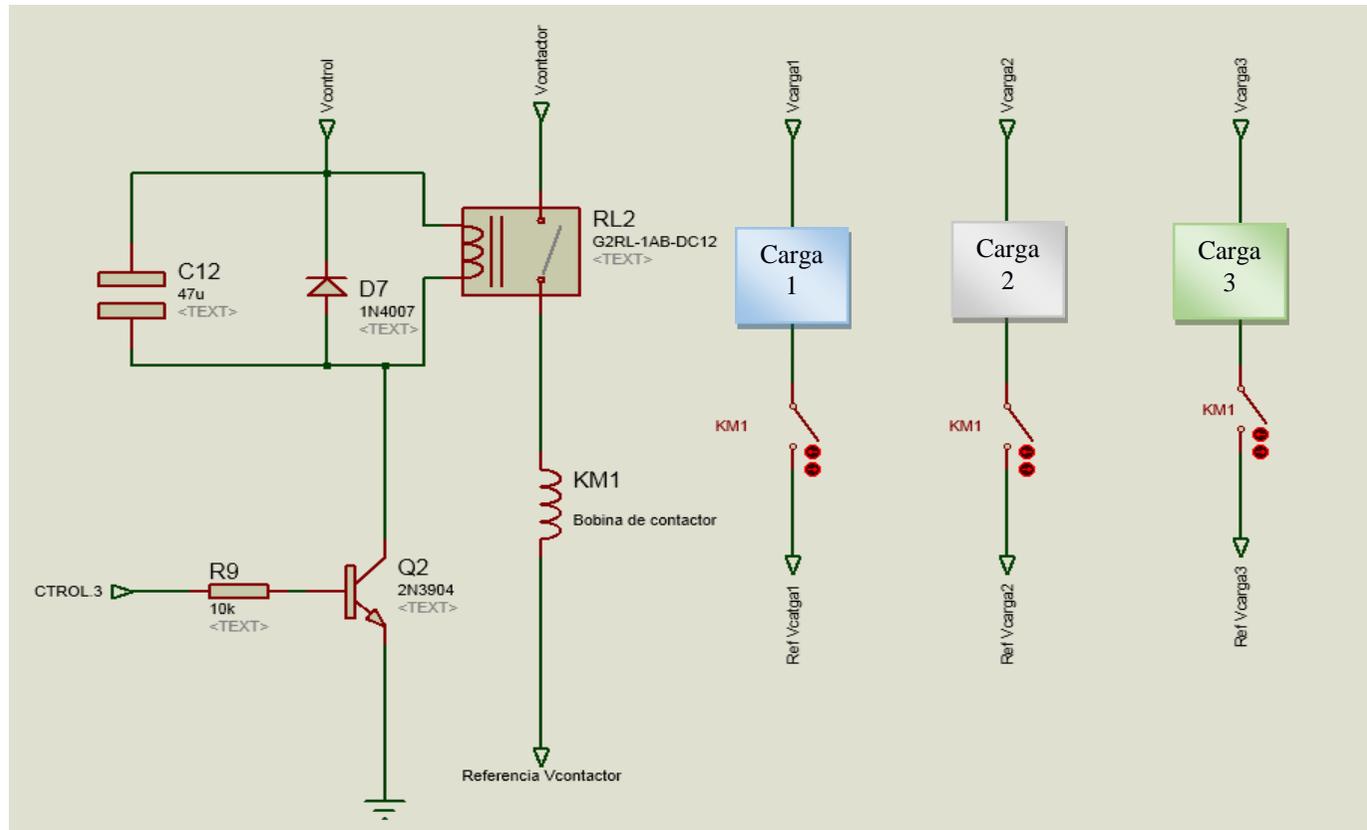


Figura 2.18 Control de Elementos para encendido y apagado

Fuente Elaboración Propia

2.5.7.2 Tarjeta Arduino

Esta tarjeta ha sido programada para activar una salida digital de acuerdo a un tiempo establecido por el usuario. Tiene cuatro pulsadores, UP y DOWN son usados para aumentar o disminuir el tiempo del encendido del equipo, ENTER activa la salida digital y la mantiene encendido dependiendo del tiempo que se haya establecido, RESET desactiva la salida digital, paro de emergencia. Ver figura 2.19.

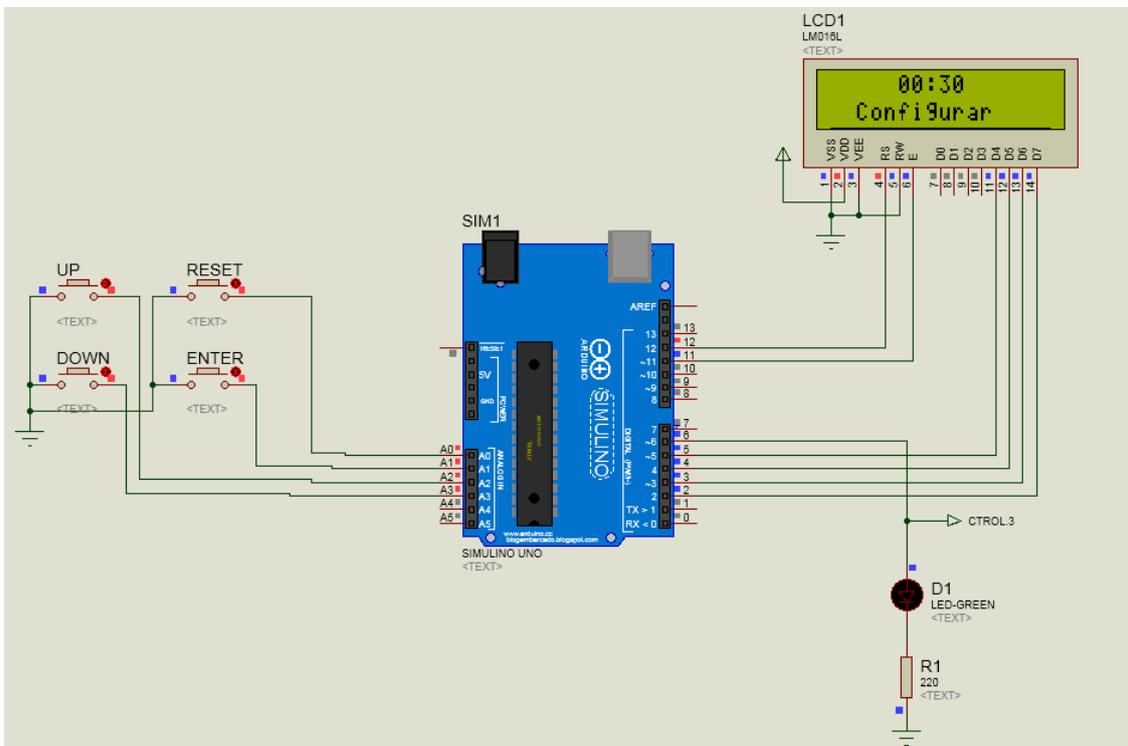


Figura 2.19 Circuito del Arduino

Fuente Elaboración Propia

Una vez que se haya presionado ENTER el tiempo comienza a disminuir, mostrando el tiempo restante. Ver figura 2.20.

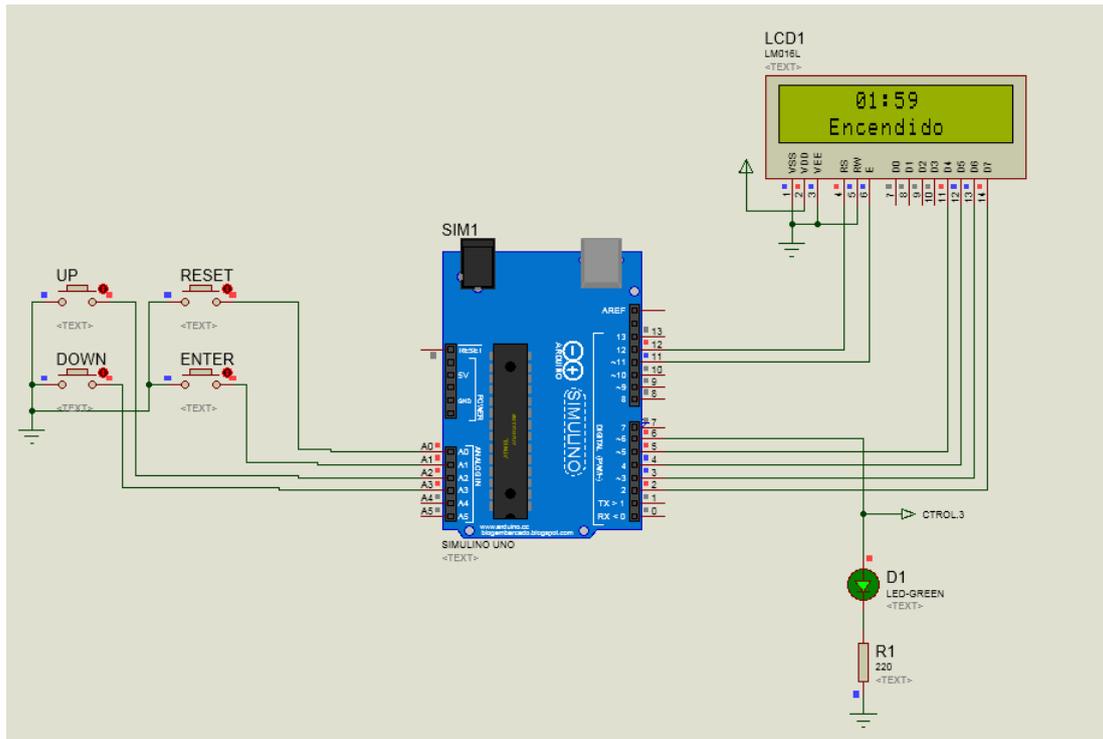


Figura 2.20 Simulación de encendido del Arduino

Fuente Elaboración Propia

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS

3.1 Bosquejo

Para el bosquejo del diseño de la máquina se tomó un tanque cuadrado de dimensiones de 1200x800x600mm, plancha de acero inoxidable de 6mm de espesor y una estructura metálica para el tanque de perfil de Angulo L y Pletina de 40mm de ancho por 3 de espesor; una estructura de perfil de viga cuadrada de 40mm y 3 de espesor material utilizado en la estructura ASTM A500 grado B, Resistencias eléctricas de 1200W de potencia eléctrica, una bomba de agua con motor 1.5 HP, tuberías de 1 pulgada de diámetro interno; El sistema de ultrasonidos consta con generadores de ultrasonidos de 3000W y kits de transductores sumergibles de 3000W; el sistema de control se conforma por un pantalla digital, la placa electrónica, donde van las resistencias, capacitores, inductores, diodos, y contactores (puerto en el que se conectan las cargas).

Las cantidades y características de cada sistema se describe en la sección 3.2 Dimensiones finales.

Los costos de la misma se encuentran en la sección 3.3 Costos de la máquina, seguido por el análisis de retorno de la inversión y un análisis costo-beneficio con respecto a los procesos de limpieza más utilizados en el Ecuador. Ver figura 3.1.

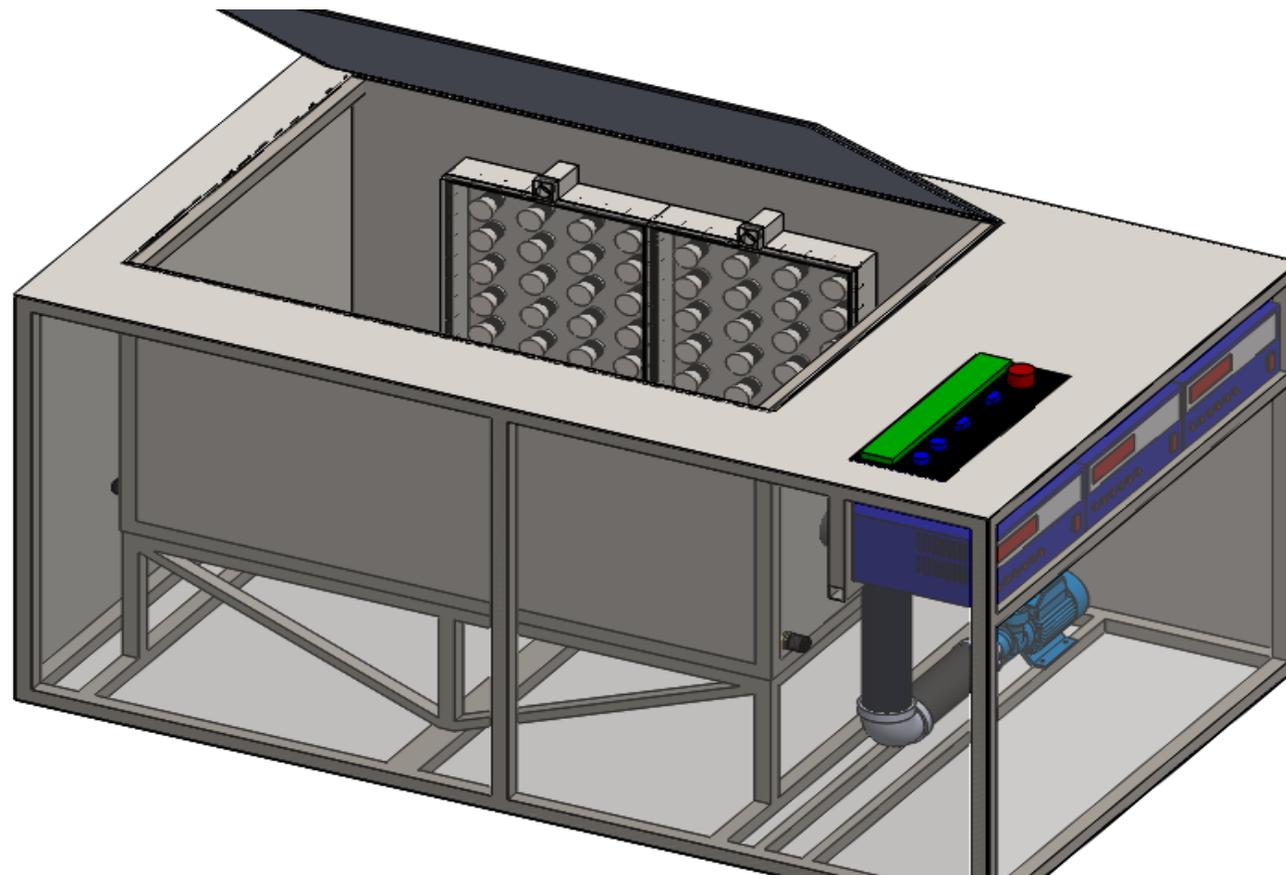


Figura 3.1 Diseño de la máquina

Fuente Elaboración Propia

3.2 Dimensiones finales

En esta sección se describe las características y dimensiones de cada elemento para luego proceder con la sección del proveedor, partiendo de los cálculos y selecciones previamente analizados en el Capítulo 2.

3.2.1 Tanque

Tabla 13. Características Del Tanque

Cantidad	Dimensiones	Características
2	1200x800x8mm	Acero laminado en caliente/ Acero Inoxidable
2	800x600x8mm	Acero laminado en caliente/ Acero Inoxidable
2	1200x600x8mm	Acero laminado en caliente/ Acero Inoxidable
2	40mm por 3mm de espesor, 1200mm de longitud	Perfil de Angulo ASTM A36 grado 50
2	40mm por 3mm de espesor, 800mm de longitud	Perfil de Angulo ASTM A36 grado 50
4	40mm por 3mm de espesor, 600mm de longitud	Perfil de Angulo ASTM A36 grado 50
1	40mm por 3mm de espesor, 1200mm de longitud	Pletinas ASTM A36 grado 50
1	40mm por 3mm de espesor, 800mm de longitud	Pletinas ASTM A36 grado 50

Fuente Elaboración Propia

3.2.2 Estructura

Tabla 14 características de las vigas por longitudes

Cantidad	Dimensiones	Características
8	Perfil Cuadrado 40mm, 3mm de espesor, 850mm de longitud	Acero ASTM A500 Grado B
9	Perfil Cuadrado 40mm, 3mm de espesor, 250mm de longitud	Acero ASTM A500 Grado B
9	Perfil Cuadrado 40mm, 3mm de espesor, 1026mm de longitud	Acero ASTM A500 Grado B
3	Perfil Cuadrado 40mm, 3mm de espesor, 800mm de longitud	Acero ASTM A500 Grado B
2	Perfil Cuadrado 40mm, 3mm de espesor, 1200mm de longitud	Acero ASTM A500 Grado B
8	Perfil Cuadrado 40mm, 3mm de espesor, 447mm de longitud	Acero ASTM A500 Grado B

Fuente Elaboración Propia

Tabla 15 Características de las planchas

Cantidad	Dimensiones	Características
2	910 x 1800 mm, espesor 1mm	Acero Inoxidable 304L
2	910 x 1086 mm, espesor 1mm	Acero Inoxidable 304L
1	186 x 1200 mm, espesor 1mm	Acero Inoxidable 304L
1	100 x 1200 mm, espesor 1mm	Acero Inoxidable 304L
1	130 x 1086 mm, espesor 1mm	Acero Inoxidable 304L
1	1800 x 1086 mm, espesor 1mm	Acero Inoxidable 304L

Fuente Elaboración Propia

3.2.3 Resistencia eléctrica

Tabla 16. Características de las Resistencias Eléctricas

Cantidad	Dimensiones	Características
4		Resistencias de 3 kW y 220V

Fuente Elaboración Propia

3.2.4 Transductores y generador de ultrasonidos

Tabla 17. Características de los Transductores y Generadores de Ultrasonido

Cantidad	Dimensiones	Características
2	35mm de Diámetro	Transductor de 40kHz de frecuencia 50W
2	300x360x150 mm	Generador de Ultrasonidos para 1500W

Fuente Elaboración Propia

3.2.5 Sistema de Recirculación

Tabla 18. Componentes Sistema De Recirculación

Cantidad	Dimensiones	Características
1		Bomba Motor Modelo: 2cdx 70/20, Caudal: 60l/min, Presión: 8Bar, Potencia del motor: 1.5HP
1.5	Diámetro 3 in. Y 500 longitud	Tubería de Acero Inoxidable
3	Diámetro 3 in. 90°	Codo de Acero Inoxidable
1	3pulg a 1 /2in	reductores de Acero Inoxidable
1	3pulg a 1in	reductores de Acero Inoxidable
1	Diámetro 2 in	Electroválvula

Fuente Elaboración Propia

3.2.6 Sistema de control

Tabla 19. Componentes del Sistema de Control de la Máquina

Elementos	Cantidad	Especificaciones
Pantalla Digital	1	Pantalla Digital LCD 14x2
Sensor temperatura	1	Sensor de 100C
Resistencias	2	10Ω
	3	10kΩ
	1 c/u	47Ω, 1.2kΩ, 2.2kΩ, 100Ω
Capacitores	5	0.1uf
	2	470uf
	3	47uf
	1	1nf, 0.68uf
Inductores	4	1mh
Relé	1	OSA-SH-224DM3
Contactador	1	220V
Arduino	1	Arduino Uno
Programación del Arduino	1	Programa para controlar el tiempo de trabajo de máquina

Fuente Elaboración Propia

3.3 Costos

Para la selección de proveedores se analizaron conforme a los siguientes puntos y se obtuvieron las tablas 20 a la 25.

1. Material de alta calidad
2. Costos competitivos en el mercado ecuatoriano
3. Disponibilidad del material/equipo en corto tiempo

Por último, se realizó un resumen de los costos por equipo o elemento de la máquina, tabla 26.

3.3.1 Tanque

Tabla 20. Costo Del Tanque

Cantidad	Características	Precio Unitario	Precio Final
2	Perfil de viga L de 30mm, longitud 6000m, 3mm espesor	\$27.73	\$55.46
1	Plancha de Acero ASTM A500, 6000*30*3mm	\$18.25	\$18.25
3	Plancha de Acero Inoxidable, 1220*2440*8	\$573.76	\$1290.96
100	Electrodo E308L	\$0.425	\$42.50
		Subtotal	\$1407.17
		IVA	\$197.00
		Total	\$1604.17

Fuente IPAC- ACEROS

3.3.2 Estructura

Tabla 21. Precio De Las Vigas Y Planchas De La Estructura

Cantidad	Características	Precio Unitario	Precio Final
8	Tubería Estructural Cuadrada Galvanizada 40mm, 3 Espesor	\$16.50	\$132
3	Plancha de Acero Inoxidable 1220*2440*1 mm	\$71.72	\$215.16
2	5KG Soldadura E6011	\$16.94	\$33.88
		Subtotal	\$415.42
		IVA	\$58.16
		Total	\$434.39

Fuente IPAC-ACEROS

3.3.3 Sistema de Ultrasonidos

Tabla 22. Precios De Transductores Y Generadores De Ultrasonidos

Cantidad	Características	Precio Unitario	Precio Final
2	Kit de Transductor 40kHz 1500W,	\$716.67	\$1,433.34
2	2400W Generador de Ultrasonido 40khz 220V	\$380.00	\$760.00
		Total	\$2,743.34

Fuente UCE Ultrasonic co., Ltd

3.3.4 Calentador Eléctrico

Tabla 23. Precio Del Calentador Eléctrico Y Componentes

Cantidad	Características	Precio Unitario	Precio Final
4	Resistencia Calentadores De Agua V220 W3000	\$50.00	\$200.00
		IVA	\$28.00
		Total	\$228.00

Fuente Resistencia Eléctricas "Quito"

3.3.5 Sistema de Recirculación

Tabla 24. Precios Del Sistema De Recirculación

Cantidad	Características	Precio Unitario	Precio Final
1	Bomba Motor Modelo: 2cdx-70/20, Caudal: 60l/min, Presión: 8Bar, Potencia del motor: 1.5HP	\$751.26	\$751.26
1.5	Tubería de Acero Inoxidable	\$85.9	\$128.85
3	Codo de Acero Inoxidable	\$16.8	\$50.40
1	reductores de Acero Inoxidable	\$18.59	\$18.59
1	reductores de Acero Inoxidable	\$14.79	\$14.79
1	Electroválvula	\$115	\$115.00
		Subtotal	\$1,078.89
		IVA	\$151.04
		Total	\$1,229.93

Fuente Inducom

3.3.6 Sistema de control

Tabla 25. Precios De Los Componentes Del Sistema De Control

Cantidad	Especificaciones	Precio Unitario	Precio Final
1	Pantalla Digital LCD 14x2	\$8.00	\$8.00
1	Sensor de Temperatura 100C	\$12.00	\$12.00
9	Resistencias Eléctricas	\$0.05	\$0.45
12	Capacitores	\$0.30	\$3.60
4	Inductores 1mh	\$6.00	\$24.00
1	Relé OSA-SH-224DM3	\$0.50	\$0.50
1	Contactador 220V	\$2.50	\$2.50
7	Diodo 1N4007	\$0.85	\$5.95
1	Arduino Uno	\$15.00	\$15.00
1	Programación del Arduino	\$45.00	\$45.00
		SUBTOTAL	\$117.00
		IVA	\$16.38
		Total	\$133.38

Fuente Electronic tech

3.3.7 Costo de la Máquina

Tabla 26. Precio Final De La Máquina De Ultrasonidos

Equipos	Precio de materiales	Mano de Obra + Instalación	Precio total
Tanque	\$1,604.17	\$250.00	\$1,854.17
Estructura	\$434.39	\$200.00	\$634.39
Calentador Eléctrico	\$228.00	-	\$228.00
Sistema de recirculación	\$1,229.93	\$100	\$1,329.93
Sistema de ultrasonidos	\$2,743.34	-	\$2,743.34
Sistema de Control	\$133.38	\$260	\$393.38
Diseñador		\$	\$1448.04
Total			\$8,688.26

Fuente Varios Proveedores

El valor total de la máquina sería de \$8,688.26 dólares incluido instalación, mano de obra y materiales de alta calidad, todos los componentes de la máquina, con excepción de la estructura, deben ser de acero inoxidable.

3.4 Análisis de retorno de la inversión

Mediante pruebas que se realizaron en una empresa, con los diferentes métodos de limpieza, se comprobó que la limpieza por ultrasonido es más eficiente, reduce horas hombre en el trabajo, en las cuales se aprovecha a los mismos operadores en otras actividades, logrando que el costo de mantenimiento disminuya con la misma cantidad de operarios trabajando en el taller. Los técnicos sumergen los componentes en el tanque de ultrasonido y pueden continuar realizando otras tareas durante el tiempo que demora el proceso.

Se hicieron pruebas de tiempos de limpiezas con diferentes elementos y se determinó que mediante otros métodos se obtuvieron los tiempos y costos de mantenimiento de la tabla 27 (Método tradicional) y la tabla 28 (Método por ultrasonido).

Se realizó el cálculo del costo de mantenimiento, multiplicando las horas que se trabaja en por elemento por número de elementos que tiene cada motor y por el costo de hora hombre (\$33.00), según su proceso tradicional; la diferencia de los dos métodos de limpieza, tradicional y por ultrasonido, es el ahorro por mantenimiento de un motor. El Ahorro por costos de mantenimiento de un motor, son los ingresos, \$6058.80 dólares.

Los egresos son los costos de energía consumida por uso de la máquina durante un año (\$1996.80 dólares); EPP (\$50.00 dólares); se considerando un solo operador; la venta por lodos (\$96.00 dólares) y el mantenimiento preventivo (\$320.00 dólares); se obtuvo un costo anual de \$2,462.80 dólares, suponiendo que el costo aumenta 0.5% anual. Los costos por ingresos y egresos se encuentran en la tabla 30.

La inversión inicial del proyecto tiene un costo de \$8,688.26 dólares. Valor de la tabla 26.

Realizando el análisis del Valor Actual Neto (VAN) y de la Tasa Interna de Retorno (TIR), se obtiene un VAN de \$9,047.73 dólares y un TIR de 30%, por lo que se considera que el proyecto es rentable con una tasa de interés del 10% a 5 años, como se observa en la tabla 30.

En la tabla 31 se observa que el tiempo de retorno de la inversión es de dos años y siete meses.

Tabla 27. Método Tradicional

Mantenimiento	Horas de mantenimiento por elemento	Número de elementos por motor	Costo del Mantenimiento
Cabezotes	18.6	18	\$11,048.40
Bombas de Inyección	5.8	18	\$3,445.20
Inyectores	3	18	\$1,782.00
Válvulas de Admisión y Escape	2.8	72	\$6,652.80
		Total	\$22,928.40

Fuente Wartsila Ecuador SA

Tabla 28. Método por ultrasonidos

Mantenimiento	Horas de mantenimiento por elemento	Número de elementos por motor	Costo del Mantenimiento
Cabezotes	14	18	\$8,316.00
Bombas de Inyección	5	18	\$2,970.00
Inyectores	2.2	18	\$1,306.80
Válvulas de Admisión y Escape	1.8	72	4\$,276.80
		Total	\$16,869.60

Fuente Wartsila Ecuador SA

Tabla 29. Ingresos y Egresos anuales

Ingresos		Egresos	Formulación de datos	
Año1	\$6,058.80	\$2,462.80	Primer año	\$3,596.00
Año2	\$6,058.80	\$2,475.00	Segundo año	\$3,583.68
Año3	\$6,058.80	\$2,487.00	Tercer año	\$3,571.31
Año4	\$6,059.80	\$2,500.00	Cuarto año	\$3,559.87
Año5	\$6,058.80	\$2,512.00	Quinto año	\$3,546.37

Fuente Elaboración Propia

Tabla 30. VAN y TIR

VAN	\$9,047.73
TIR	30%

Fuente Elaboración Propia

Tabla 31. Tiempo de retorno de la inversión

Formulación de datos	Tiempo de Retorno
Inversión	-\$8,688.26
Primer año	-\$5,092.2568
Segundo año	-\$1,508.5768
Tercer año	\$2,062.7332
Cuarto año	\$5,622.6032
Quinto año	\$9,168.9732

Fuente Elaboración Propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se requería que la máquina a diseñar cumpliera con ciertos requisitos, uno de ellos es que las ondas en el rango de ultrasonido sean elegidas por su eficiencia para los elementos y partes de un motor, para esto se tuvo que investigar cuales son las frecuencias de trabajo de los transductores y para qué sirve cada una de ellas y se encontró que la más adecuada para este sistema es el de 40khz, incluso se los puede encontrar rápidamente en el mercado.

Se definieron parámetros de operación con junto a la matriz de decisión para escoger un sistema que cause menos contaminación ambiental en la operación, se observó que se puede trabajar solamente con agua si se le aumenta el tiempo y temperatura de trabajo. La temperatura se la aumentó mediante resistencias eléctricas, se notó que el aumento de la temperatura del líquido no era homogéneo por lo que se procedió a diseñar un sistema de recirculación de agua, esto logró que todo el líquido en el tanque se calienta de forma homogénea y la limpieza sea mejor.

Se analizó su costo de elaboración el cual se obtuvo por mediante los materiales a utilizarse, mano de obra e instalación de los elementos, y se observó que el costo de la máquina diseñada fue mucho menor que el precio de las máquinas de ultrasonidos en el Ecuador, por lo que sí es factible que este tipo de máquinas se fabrican a nivel local.

4.2 Recomendaciones

La máquina puede ser utilizada no solo para motores estacionarios, sino también, para motores de vehículos que en sí que necesiten mantenimiento, si el motor es pequeño se lo puede colocar directamente en el tanque y proceder a limpiarlos, resulta más fácil para el operador a la hora de desarmarlo, así mismo con los elementos del motor, teniendo en cuenta que la limpieza por ultrasonido no es apta para sistemas electrónicos ni eléctricos, por ejemplo en los inyectores eléctricos, si se lo llega a colocar en agua, las bobinas de él se van a dañar, por lo que no se recomienda colocar elementos con partes electrónicas o eléctricas. Se tiene que tener en cuenta esto para no causar algún daño en las piezas pequeñas.

Es importante la selección correcta de los transductores ya que, al cambiar la potencia del transductor, éste va a variar el número de transductores requeridos, lo que si no se toma en cuenta este puede verse afectado y la limpieza puede no ser la correcta en los tiempos establecidos.

Se recomienda nivelar el suelo de la máquina antes de colocarla y una vez instalada, verificar de nuevo, para evitar daños a largo plazo o derrames de líquidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. EXPOCLEAN (2016) *Limpieza Por Chorro O Blasting Argentina*.
Obtenido de: <http://www.expoclean.com.ar/?q=es/chorro>
2. EXPOCLEAN (2016) *Químicos De Cuidado Argentina*. Obtenido de:
<http://www.expoclean.com.ar/?q=es/content/qu%C3%ADmicos-de-cuidado>
3. DENIOS Medio Ambiente y Seguridad. (2013) *Riesgos químicos en el sector de la limpieza*. España. Obtenido de:
<http://productosquimicosymedioambiente.com/riesgos-quimicos-en-el-sector-de-la-limpieza/>
4. Wartsila S.A. () *Compass Dimensiones y Pesos de partes del Motor Finlandia*.
5. Tierratech. ULTRASONIC CLEANING SYSTEMS. () *Limpieza por Ultrasonidos*. España. Obtenido de:
<http://www.tierratechsl.com/ESP/limpieza-por-ultrasonidos.php>
6. Morgan Advanced Material (2016) *Piezo Ceramic Tutorials – Typical Properties*. Inglaterra. Obtenido por:
<http://www.morgantechnicalceramics.com/products/product-groups/piezo-ceramic-components/piezo-ceramic-tutorials/typical-properties>
7. Johnson Matthey Piezo Products. (2016). *Energy Harvesting*,
<http://www.piezoproducts.com/index.php?id=144&L=0>
8. SINOCERA. (S.F) *Typical values of standard piezoelectric ceramic materials*. China. obtenido por:
http://www.sinocera.net/en/piezo_material.asp

9. CLEANING TECHNOLOGIES GROUP (2009) *Understanding Ultrasonic Power Requirements Based on Tank Size and Other Factors*
10. Bergman, T.I., Lavine, A.S., Incropera, F.P., Dewitt, D.P. (1999) *Fundamentos De Transferencia De Calor Y Masa*. México: PEARSON Cuarta Edición
11. Beer, F.P., Johnston, E.R., (2004) *Mecánica de Materiales*. México: McGraw-Hill Tercera Edición.
12. Budynas, R.G. Nisbett, K.J. (2008) *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw-Hill Octava Edición.
13. White, F.M. (2004) *Mecánica de Fluidos*. España: McGraw-Hill Quinta Edición
14. Gallego, J. (1989). *Piezoelectric ceramics and ultrasonic transducers*. Scienst Instrum.
15. Parra Márquez, C.A, Crespo Márquez, A. (2012) *Libro Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos* España: INGEMAN
16. Osorio Díaz, E.J. (2008). *Recipiente rectangular con tirantes bajo presión hidrostática* (Tesis de Ingeniería Mecánica). Instituto Politécnico Nacional. México.
17. Ortiz Vega, N.F., Vinueza Valencia, R.X., (2005-06). *Diseño Y Construcción De Un Sistema Semiautomático De Limpieza Por Ultrasonido Para Muestras Metalográficas Y Fractográficas Con Aplicación A Un Banco De Pruebas Y Limpieza De Inyectores A Gasolina Para El Laboratorio De Metalurgia* (tesis de Ingeniería Mecánica) Escuela Superior del Ejército. Ecuador.

18. Eugene F. Megyesy (1992) *Manual de RECIPIENTES a PRESIÓN DISEÑO Y CÁLCULO*. LIMUSA GRUPO NORUEGA AUDITORES. México.
19. IPAC Duferco Group. (2014) *Catálogo IPAC Productos y Servicios*. Ecuador.
20. Direct Industry (2016) Suction blast cabinet. Obtenido por:
<http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/suction-blast-cabinet-158883.html>
21. RAPCO Services (2007) PORTABLE IN-PLACE MACHINING AND REBUILDING SPECIALISTS. Richview Illinois. Obtenido por:
http://tarpinhill.net/onepagers/RAPCO/Rapco_service.htm
22. Wurth España S.A. (2016) LIMPIADOR DE VÁLVULA EGR Y ADMISIÓN 200ML. Obtenido por:
<http://www.wurth.es/limpiador-de-valvula-egr-y-admision-200ml>
23. S. Berliner, III (2014) Ultrasonic Cleaning Page. Obtenido por:
<http://berliner-ultrasonics.org/us-clean.html>
24. SkyCiv Engineering. (2015) E-Street Developers and Bending Moment Diagram. Obtenido por:
<http://bendingmomentdiagram.com/free-calculator/>
25. Vaxa Software (2016) Viscosidad Dinámica del agua a diferentes temperaturas. Obtenido por:
http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/viscoh2o.pdf

APENDICES

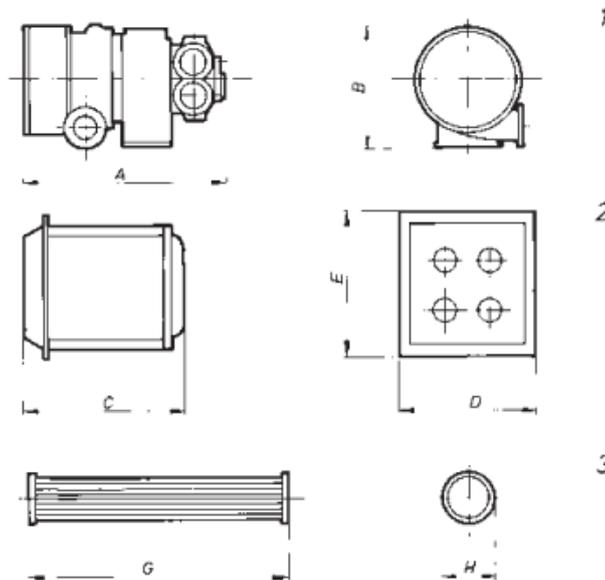
Apéndice A

A.1 Dimensiones y Pesos de Elementos del Motor

19. Dimensions and weights of engine parts

19. Dimensions and weights of engine parts

Turbocharger and cooler inserts (2V92L0593)



Weights [kg]

Engine	1. Turbocharger	2. Charge air cooler insert		3. Lubricating oil cooler insert
		1-stage	2-stage	
4R32	640	190		105
6R32	1030	260	450	120
8R32	1680	300	550	140
9R32	1680	310		140
12V32	2 x 1030	2 x 260	2 x 450	
16V32	2 x 1680	2 x 300		
18V32	2 x 1680	2 x 310		

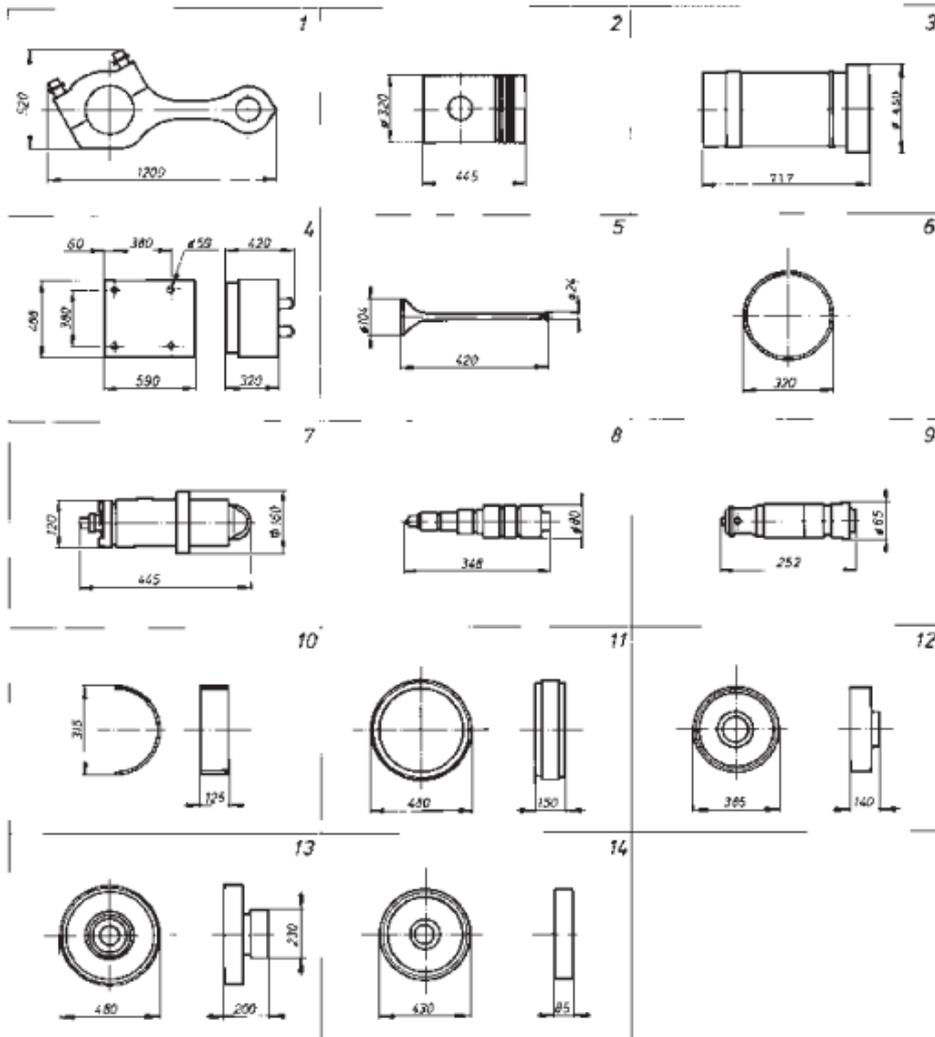
Dimensions

Engine	A	B	1-stage			2-stage			G	H
			C	D	E	C	D	E		
4R32	1150	780	733	410	545				1070	336
6R32	1375	930	746	470	605	818	605	640	1340	336
8R32	1660	1110	841	470	645	958	645	710	1340	336
9R32	1660	1110	881	470	705				1340	336
12V32	1375	930	746	470	605	818	605	640		
16V32	1660	1110	841	470	645					
18V32	1660	1110	881	470	705					

A.2 Dimensiones y Pesos de Elementos del Motor

19. Dimensions and weights of engine parts

Large spare parts, 32 D & E (1V92L0351)

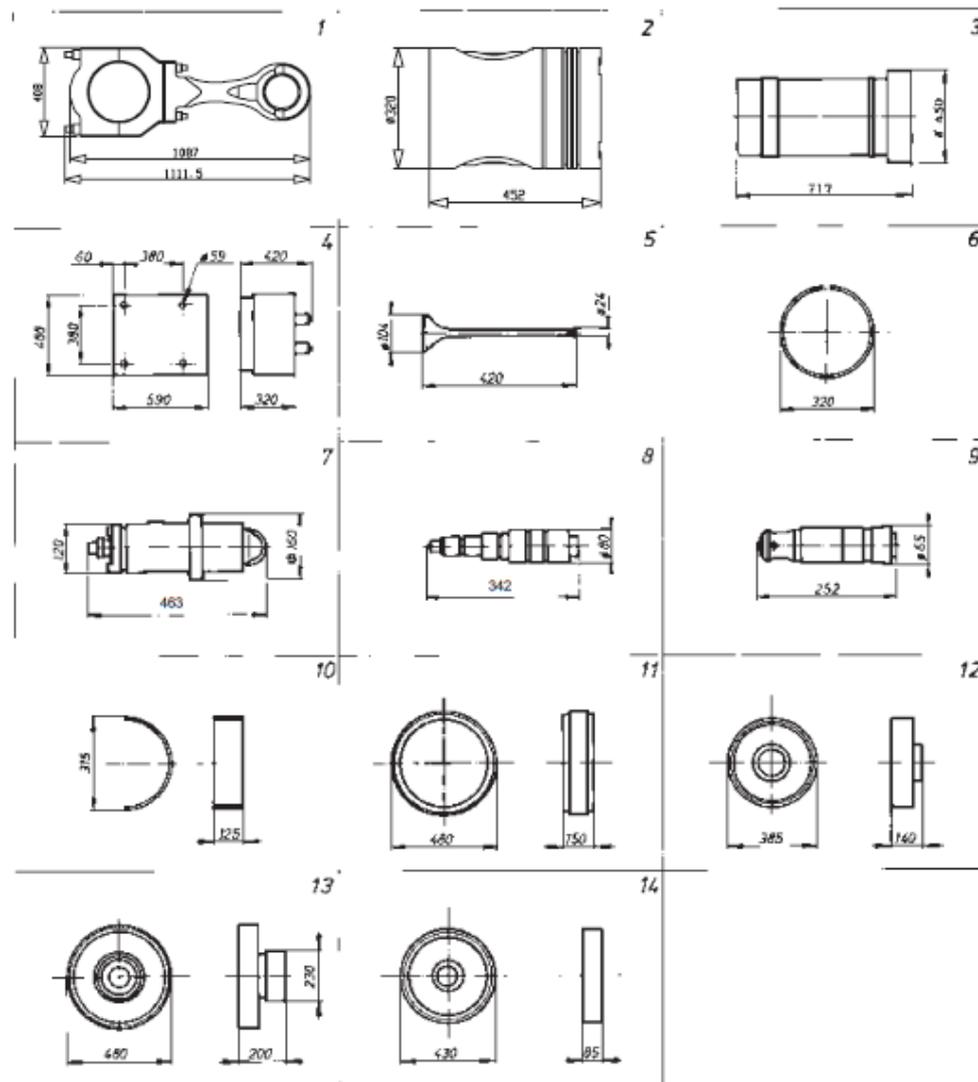


Item	Weight [kg]	Item	Weight [kg]
1. Connecting rod	130	8. Injection valve	8
2. Piston	97	9. Starting air valve	4
3. Cylinder liner	177	10. Main bearing shell	4
4. Cylinder head	367	11. Split gear wheel	62
5. Valve	3	12. Intermediate gear wheel	28
6. Piston ring	-	13. Intermediate gear complete	56
7. Injection pump	30	14. Camshaft gear wheel	33

A.3 Dimensiones y Pesos de Elementos del Motor

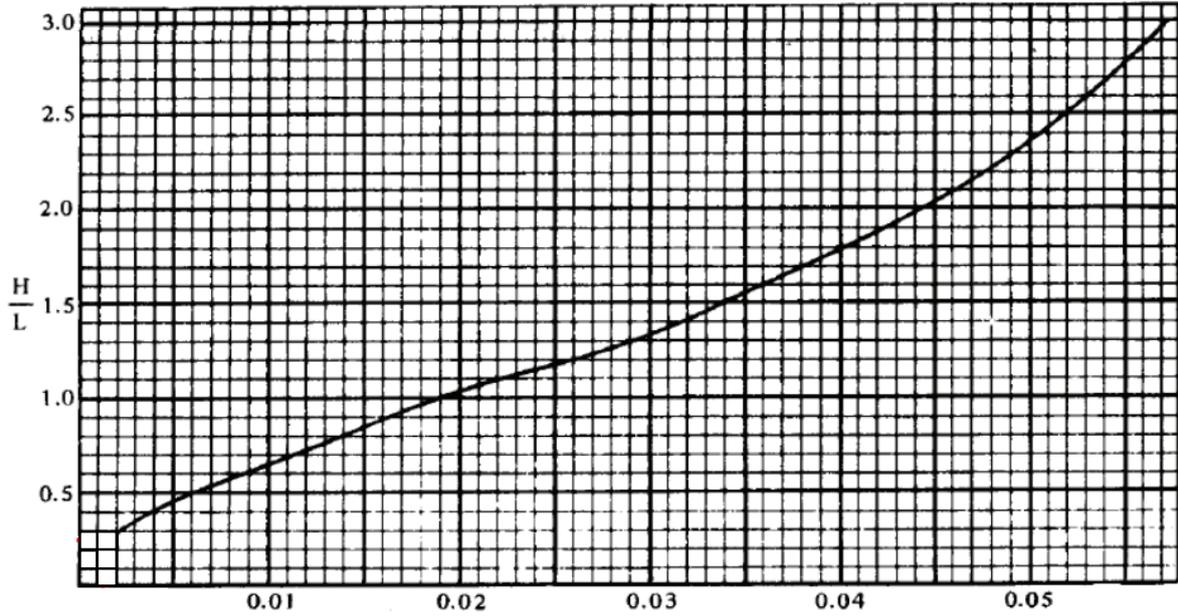
19. Dimensions and weights of engine parts

Large spare parts, 32 LND & LNE (1V92L1101)



Item	Weight [kg]	Item	Weight [kg]
1. Connecting rod	137	8. Injection valve	8
2. Piston	115	9. Starting air valve	4
3. Cylinder liner	177	10. Main bearing shell	4
4. Cylinder head	367	11. Split gear wheel	62
5. Valve	3	12. Intermediate gear wheel	28
6. Piston ring	-	13. Intermediate gear complete	56
7. Injection pump	35	14. Camshaft gear wheel	33

A.4 Valores de α en las fórmulas para tanques rectangulares



VALORES DE α
EN LAS FORMULAS PARA TANQUES RECTANGULARES

Fuente Megyesy

A.5 Propiedades del Acero Inoxidable 304

ACERO INOXIDABLE 304 (UNS S30400)

1. Descripción: éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente, excediendo al tipo 302 en una amplia variedad de ambientes corrosivos incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango.

2. Normas involucradas: ASTM A 276

3. Propiedades mecánicas: Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)
Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)
Elongación 30 % (en 50mm)
Reducción de área 40 %
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.8 g/cm³ (0.28 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.08 % C min
2.00 % Mn
1.00 % Si
18.0 – 20.0 % Cr
8.0 – 10.5 % Ni
0.045 % P
0.03 % S

6. Usos: sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego.

7. Tratamientos térmicos: éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente

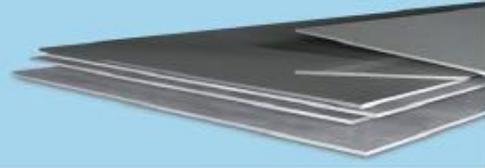
NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

A.6 Dimensiones de las Planchas Galvanizadas e Inoxidables

Planchas

- Galvanizada
- Inoxidable



Plancha galvanizada

Recubrimiento:
Galvanizado G60 o Galvalum
Calidad de Acero:
ASTM A 653 CS
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Uso
mm	mm	mm	kg.	
1000	2000	0,70	10,99	Embutición
1000	2000	0,90	14,13	
1000	2000	1,10	17,27	
1000	2000	1,40	21,98	
1220	2440	0,40	9,35	Comercial
1220	2440	0,45	10,52	
1220	2440	0,50	11,68	
1220	2440	0,60	14,02	
1220	2440	0,70	16,36	
1220	2440	0,90	21,03	
1220	2440	1,10	25,70	
1220	2440	1,40	32,72	
1220	2440	2,00	46,74	

Aplicaciones

- Ductos para aire acondicionado.
- Puertas metálicas.
- Perfiliería de tumbado.
- Cámaras frigoríficas.
- Partes y piezas para línea blanca.



Plancha inoxidable

Recubrimiento:
Negro
Norma de Calidad:
430 2B/BA - 439 N4 - 304 2B/BA
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Norma
mm	mm	mm	kg.	
1000	2440	0,40	9,35	AISI 430 BA
1000	2440	0,60	14,02	AISI 430 BA
1000	2440	0,70	16,36	AISI 430 BA
1000	2440	1,00	23,37	AISI 430 BA
1220	2440	0,60	14,02	AISI 304 2B
1220	2440	1,20	28,04	AISI 304 2B
1220	2440	1,50	35,05	AISI 304 2B

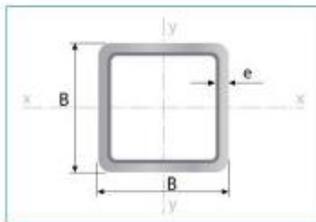


Aplicaciones

- **En el hogar:** fregaderos, sartenes y ollas, hornos y parrillas, equipamiento de jardín y mobiliario, cubertería y menaje.
- **Urbanístico:** cabinas telefónicas, fachadas de edificios, ascensores y escaleras, vagones de metro e infraestructuras de las estaciones, paradas de autobús.
- **En la industria:** depósitos de combustible y productos químicos, depósitos de combustible y productos químicos, equipamiento para la fabricación de productos alimentarios y farmacéuticos, plantas para el tratamiento de aguas potables y residuales, plantas químicas y electroquímicas, componentes automotriz y aeronáuticos.

A.7 Dimensiones de Perfiles Cuadrados

Tubería Estructural Cuadrada



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos industriales, agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x = y-y			
			Momento de Inercia	Módulo de Resistencia	Radio de giro	
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,85	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80
125	3,00	14,41	11,31	354,53	56,73	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,33	73,17	4,91
	5,00	23,36	18,33	552,87	88,46	4,87
	6,00	27,63	21,69	641,41	102,63	4,82
135	3,00	15,61	12,25	449,88	66,65	5,37
	4,00	20,55	16,13	581,80	86,19	5,32
	5,00	25,36	19,90	705,16	104,47	5,27
	6,00	30,03	23,58	820,25	121,52	5,23
150	3,00	17,41	13,67	622,76	83,03	5,98
	4,00	22,95	18,01	807,92	107,72	5,93
	5,00	28,36	22,26	982,37	130,98	5,89
	6,00	33,63	26,40	1146,43	152,86	5,84

A.8 Características del Electrodo E308L



Soldaduras Zelecta S.A. de C.V.

FELIX U. GOMEZ 2405 NTE.COL.MODERNA, MONTERREY, N.L. CP 64510 TEL (81) 8375-2375 FAX (81) 8375-7706

Electrodo E 308L

Aceros Inoxidables / Electrodo

APLICACIONES:

Electrodo para unir o reconstruir acero inoxidable. Tipo AISI 302, 303, 304, 304L, 306, 308, 308L, 321, 347 y 348, excelente para tratamiento y construcción de industrias de lácteos, alimenticia, farmacéutica, embotelladoras, química, petrolera e industria en general.

CARACTERÍSTICAS:

El revestimiento de este electrodo permite soldar con los amperajes más bajos, deja cordones sin salpicaduras, planos y lisos y sin socavaciones, muy resistente a la corrosión.

PROCEDIMIENTO:

Haga limpieza cuidadosa, los bisels tendrán un ángulo de 60º aprox. dejando una separación en la raíz de 1.6 mm, puntee las partes a intervalos cortos, mantenga arco corto y no haga demasiado vaivén. La limpieza de la escoria entre cordones es de extrema importancia, no sobrecaliente el área de la soldadura.

DATOS TÉCNICOS:

PRESENTACIÓN: Electrodo (SMAW)
RESISTENCIA A LA TENSIÓN: 90,000 Libras/pulg²
TIPO DE CORRIENTE: CA ó CD Electrodo Positivo (Polaridad Inversa)
LIMITE ELÁSTICO: 60,000 libras/pulg²

DIÁMETROS Y AMPERAJES:

1/16" (1.6 mm)	50 - 65 amperes
3/32" (2.4 mm)	60 - 75 amperes
1/8" (3.2 mm)	80 - 110 amperes
5/32" (4.0 mm)	110 - 140 amperes

www.soldaduraszelecta.com

Activo
en
la
Comercial
Ir a Comercial

Si requiere mayor información favor de comunicarse al departamento de ventas a los teléfonos:
En Monterrey N.L. : 8375-2375
Lada sin costo: 01800 701 220
ventas@soldaduraszelecta.com

Fuente Soldaduras ZELECTA S.A de C.V

A.9 Características del Electrodo 6011



INDURA
Tecnología a su Servicio

INDURA 6011

Rev.01-010412



- Electrodo manual para acero al carbono
- Revestimiento celulósico potásico
- Toda posición
- Corriente continua-electrodo positivo o corriente alterna
- Certificado anualmente por ABS y LR.

Clasificaciones:

ASME IIC SFA 5.1/AWS A5.1
E 6011 / E 4311

Características y Campos de usos:

- Electrodo con hierro en polvo en el revestimiento. La rápida solidificación del metal depositado, facilita la soldadura en posición vertical y sobre cabeza
- Es apto para ser ocupado en variadas aplicaciones de soldadura, especialmente en trabajos que se requiera alta penetración
- Aplicaciones típicas se encuentran en cordón de raíz de cañerías, reparaciones generales, estructuras y planchas galvanizadas

Análisis Típico del metal depositado (% en peso)

C, %	Mn, %	Si, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %
0,11	0,41	0,23	0,010	0,017	0,02	0,02	0,01

Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Esf. Fluencia en 0.2%, MPa	Esf. Máx. de Tracción, MPa	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v
S/T.T	424	495	27	34J a -30° C

Parámetros de Soldadura y Datos

Diámetro, mm	2.4	3.2	4.0	4.8
Longitud, mm	300	350	350	350
Int. de Corr., A	50 - 90	80 - 120	120 - 160	160 - 220
Nº elect/Kg	74	34	24	17

Secado

No es necesario

Posición de soldadura



CA-CCEP

Si no encuentra el diámetro o el envase que anda buscando, favor contactarse en Chile con el Centro de Servicio al Cliente INDURA o con su representante local según corresponda.

INDURA 6011

INDURA S.A. – Centro de Servicio al Cliente 600 600 3030 – www.indura.net

A.10 Características de la Bomba de Agua

CENTRIFUGAL PUMPS

2CDX

SPECIFICATIONS

50 Hz

Rev F

PUMP		
Liquid Handled	Type of liquid	Clean water
	Max temperature [°C]	60 110 (2CDXH and 2CDXHS)
	Min temperature [°C]	-10
Maximum working pressure [MPa]		0.8
Construction	Impeller	Closed centrifugal type (Twin)
	Shaft seal type	Mechanical seal
	Bearing	Sealed ball bearing
Pipe Connection	Suction	G 1¼, G 1½ (2CDX200)
	Discharge	G 1
Material	Casing	AISI 304
	Impeller	AISI 304
	Casing cover	AISI 304
	Shaft seal	Ceramic/Carbon/NBR (2CDX) Ceramic/Carbon/FPM (2CDXH) SiC/SiC/FPM (2CDXHS)
	Shaft	AISI 304 (Wet extension)
	Bracket	Aluminium (up to 1.5 kW included) Cast iron (2.2 kW and above)
	Diffuser	AISI 304
Applicable standard of test		ISO 9906 – Annex A

MOTOR		
Type	Electric - TEFC	
	Single Phase	Three Phase
No. of Poles	2	
Rotation speed [min ⁻¹]	≈ 2800	
Insulation Class	Class F	
Protection degree	IP 55	
Power rating	[kW]	0.75 + 1.5
	[HP]	1 + 2
Frequency	[Hz]	50
	[V]	230 ±10%
Voltage		230/400 ±10%
Capacitor	Built in	-
Over load protection	Built in	Provided by the user
Casing material	Aluminium	
Base material/motor support	Aluminium	
Dimensions of cable entry	PG 11, PG 13.5, PG 16 (see dimension page 400)	

200



EBARA PUMPS EUROPE S.p.A.

Fuente BARRA Pumps Europe S.p.A.

Apéndice B Cálculo de costos anuales de las máquinas.

Modelo ACCV de Woodward (Woodward,1997) propone el siguiente esquema para calcula el impacto de costes de fallos en el ciclo de vida de un activo industrial (Woodhouse,1993).

1. Establecer las condiciones operacionales del sistema.
2. Establecer los Factores de utilización.
3. Identificar las distintas opciones a ser evaluadas.
4. Identificar para cada alternativa todas las categorías de costes básicos.
5. Determinar para cada alternativa los costes totales por confiabilidad (TCPF).
6. Determinar Costes críticos.
7. Calcular todos los costes en valor presente para cada alternativa.
8. Seleccionar la alternativa ganadora.

La siguiente ecuación del modelo de Woodward propone calcular diferentes costes de un activo industrial.

$$CTCV(P) = \sum_{T=1}^T CI + CO + CMP + TCPf + CMM$$

CTCV(P)= costes totales del ciclo de vida en valores presente (p) para una tasa de descuento (i) y un periodo de vida útil esperado (T).

CI=Coste inicial de adquisición e instalación, normalmente dado en valor presente.

CO= Costes operacionales, normalmente dado como valor Anualizado**

CMP=Costes de Mantenimiento Preventivo, normalmente dado en valores anuales**

TCPf= Costes totales por confiabilidad (costos por fallos), normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos constante, por lo cual el impacto en costes es igual en todos los años

CMM=Costes de Mantenimiento Mayor – Especiales, normalmente dado como valor futuro.

Costos por fallos según el modelo de WOODWARD

1. Definir los tipos de fallos. Donde $f=1 \dots F$ para F tipos de fallos.
2. Definir la frecuencia de fallos esperados por año d_f . Se expresa en fallos por año. Esta frecuencia de fallos se asume como un valor constante por año para el ciclo de vida útil esperado y se calcula a partir de la siguiente expresión.

$$d_f = \frac{N}{T}$$

N =número total de fallos.

T = Número total esperado de años de vida útil.

3. Calcular los costes asociados a cada tipo de fallo C_f (\$/fallo). Estos costes incluyen. Costes de Repuestos, mano de obra, penalización por pérdida de producción e impacto operacional.

$$C_f = \sum_{f=1}^F MTTR_f + Cpe_f$$

$MTTR$ = tiempo medio para reparar cada fallo = horas/fallo.

Cpe = Costes de penalización por hora (Producción, mano de obra, repuestos) = \$/hora.

4. Calcular los costes totales por fallos por año TCP_f (\$/año), que se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f + d_f$$

5. Calcular los costes totales por fallo en valores presente $PTCP_f$ (\$). Dado un valor anualizado TCP_f , se estima su valor monetario en función del número de años de vida útil esperada (T), para una tasa de descuento (i). La expresión a utilizar para estimar los $PTCP_f$ en valor presente es:

$$PTCP_f = TCP_f * \frac{(1+i)^T - 1}{i * (1+i)^T}$$

Apéndice C Análisis de falla por fatiga

Basado en el libro de Budynas, R.G. Nisbett, K.J. (2008).

Ecuación de Marín

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e'$$

k_a = factor de modificación de la condición superficial.

k_b = factor de modificación del tamaño.

k_c = factor de modificación de la carga.

k_d = factor de modificación de la temperatura.

k_e = factor de confiabilidad.

k_f = factor de modificación de efectos varios.

S_e' = límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Factor de superficie k_a

El factor de modificación depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte y de la resistencia a la tensión.

$$k_a = a S_{ut}^b$$

S_{ut} es la resistencia mínima a la tensión, a y b se encuentran en la tabla 33.

Tabla 32. Factor de modificación K_a

Acabado Superficial	Factor a		Exponente
	Kpsi	Mpa	b
Esmerilado	1.34	1.58	-0.85
Máquinado o Laminado en frío	2.7	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

Fuente De C. J. Noll y C. Lipson, (1953) "Allowable Working Stresses", Society for Experimental Stress Analysis, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgner (ed.), Metals Engineering Design ASME Handbook, McGraw-Hill, Nueva York. por The McGraw-Hill Companies

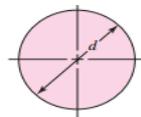
Factor de tamaño kb

$$\left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.2d^{-0.107} \quad 2.79 < d < 51\text{mm}$$

$$1.51d^{-0.157} \quad 51 < d < 254\text{mm}$$

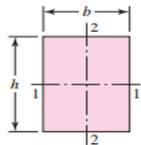
Para cargas axiales es kb=1

Tabla 33. Áreas A_{0.95σ} de perfiles no rotativos



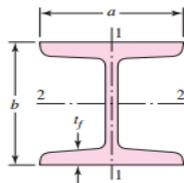
$$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$$

$$d_e = 0.370d$$

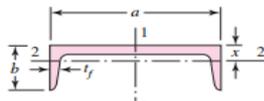


$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$

$$d_e = 0.808\sqrt{hb}$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{eje 1-1} \\ 0.05ba & \text{eje 2-2} \end{cases} \quad t_f > 0.025a$$



$$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{eje 1-1} \\ 0.052xa + 0.1t_f(b-x) & \text{eje 2-2} \end{cases}$$

Fuente Diseño de Ingeniería mecánica de Shirley Parte 2 Capitulo 6 Prevención de Fallas Tabla 6-3

Factor de temperatura kc

Cando se realizan ensayos de fatiga con carga de flexión rotatoria, axial (empujar y jalar) y de torsión, los límites de resistencia a la fatiga difieren con Sut.

Tabla 34. Factor de cargas Kc

Tipos de Esfuerzos	Kc
Flexión	1
Axial	0.85
Torsión	0.59

Fuente Diseño de Ingeniería mecánica de Shirley Parte 2 Capitulo 6 Prevención de Fallas

Factor de temperatura kd

$$k_d = 0.975 + 0.432 \times 10^{-3} T_f - 0.115 \times 10^{-5} T_f^2 + 0.104 \times 10^{-8} T_f^3 - 0.595 \times 10^{-12} T_f^4$$

Factor de confiabilidad ke

El factor de confiabilidad Ke se lo analiza para saber qué tan confiable se requiere que sea el equipo o la pieza a analizar, de esto depende la variación a la transformación, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$k_e = 1 - 0.08Za$$

Za=Variación a la transformación.

Ke= Factor de Confiabilidad.

Tabla 35. Factor de confiabilidad Ke

Confiabilidad	Variación de Transformación Za	Factor de Confiabilidad Ke
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
9.999.999	4.753	0.62

Fuente Diseño de Ingeniería mecánica de Shirley Parte 2 Capitulo 6 Prevención de Fallas

Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria Se'

$$0.5(S_{ut})$$

$$S_{ut} < 200 (1400MPa)$$

$$100 \text{ kpsi}$$

$$S_{ut} > 200 \text{ kpsi}$$

$$700MPa$$

$$S_{ut} > 1400MPa$$

Sut = Resistencia mínima a la tensión.