

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño estructural de una máquina para el proceso de  
termorociado de partículas ferromagnéticas en ollas de  
aluminio**

**Proyecto de Diseño**

**Burgos Domínguez Bernardo  
Quilumbaquí Muenala Edison Mesías**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 17 de diciembre de 2015

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Diseño estructural de una máquina para el proceso de termorociado de  
partículas ferromagnéticas en ollas de aluminio**

**BURGOS DOMINGUEZ BERNARDO  
QUILUMBAQUI MUENALA EDISON MESIAS**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Pedro Meneses, M. Sc.

Firma del profesor

---

Quito, 17 de diciembre de 2015

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Bernardo Burgos Domínguez

Código: 00103489

Cédula de Identidad: 1714555404

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Edison Mesías Quilumbaquí Muenala

Código: 00023207

Cédula de Identidad: 1002971008

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2015

## RESUMEN

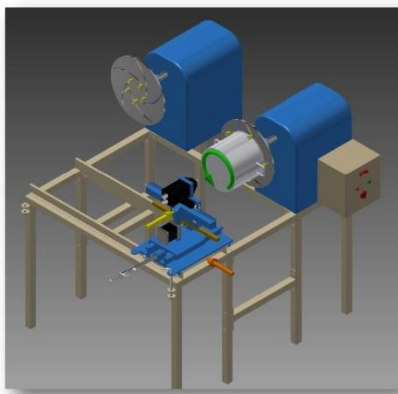
En el presente proyecto se pretende crear un diseño de estructura y funcionalidad para el proceso de termorociado de partículas ferromagnéticas en ollas de aluminio, con el único propósito de re-manufacturar las ollas de aluminio existentes en los hogares para reutilizarlas en las cocinas de inducción y, crear micro empresas en varias partes del país, con un costo de re-manufactura para ollas de 5 litros de 10 USD frente a un costo por olla nueva de 45 USD; para llegar a formar parte del Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en Sustitución del GLP en el Sector Residencial propuesta por el gobierno ecuatoriano. El diseño está sujeto a la Descripción de Requisitos Técnicos (TDR), Revisión de Diseño Preliminar (PDR) y Revisión de Diseño Crítico (CDR). En primer lugar se redacta el TDR con todos los requerimientos técnicos, limitaciones económicas y físicas para el proyecto. Seguidamente en el PDR a través de un estudio seccional de mercado se plantea tres alternativas de diseño de máquinas en 3D para luego seleccionar y describir la mejor alternativa mediante un análisis FODA. Finalmente, en el CDR se presenta un diseño estructural de elementos críticos para un análisis Estático y Dinámico; se selecciona el tipo de material, y, mediante cálculos y simulaciones de elementos finitos en el Software Autodesk Inventor se elige los espesores, formas de las partes de la máquina y se elaboran planos de los elementos y ensamble en general.

Palabras clave: Estática, Dinámica, Fatiga, ED-Goodman, límite de fluencia, resistencia última, esfuerzo, deformación, ciclos de vida, elementos finitos, simulación.

### Máquina

# SSO3-SST1

**Ahorre Tiempo y Dinero**  
en el Termorociado de  
Ollas de Aluminio



**Beneficios:**

- Costo de re-manufactura de olla 10 USD, costo olla nueva 45 USD (Ref.: olla 5Ltr. económica)
- Costo de construcción de la máquina 3944 USD.
- Utilidad mensual aproximada de 3500 USD por 200 ollas diarias.
- Recuperación de la inversión, en 1 año o menos
- Alta rentabilidad para crear micro-empresas en varias partes del país, proyecto de Eficiencia Energética

**Características**

- Fácil transportabilidad, desmontable
- Dos estaciones de trabajo
- Tiempo de montaje y desmontaje, 40 segundos
- Spray Torch Gun se desliza a lo largo del diámetro de la olla
- Descentrado (Punta torcha-base olla) de 2cm para un rociado uniforme en toda la base de la olla
- Capacidad Aproximada de 280 ollas diarias
- Garantía de 5 años

● Rotación Anti horaria

● Deslizamiento Izquierda-Derecha

● Deslizamiento Adelante-Atrás

**Figura 1** Flyer para la Máquina SSO3-SST1

**Fuente:** Propia

## ABSTRACT

Create a structural design for the thermal spray process of ferromagnetic particles in aluminum pots. The purpose of the machine is to re-manufacture the existing aluminum pots for homes induction cookers and, create microenterprises in several parts of the country, at a cost of remanufacturing for 5 liter pots is 10 USD face a new pot cost is 45 USD; to become part Energy Efficiency Program for Induction cooking and water heating Electricity Replacing the LPG in the residential sector proposed by the Ecuadorian government. The design is subject to the description of Technical Design Requirements (TDR) Preliminary Design Review (PDR) and Critical Design Review (CDR). First, the TDR is written with all the technical, economic and physical limitations of project. Then the PDR through a sectional market study, three options where design in 3D and then selected. With a SWOT analysis the best option was selected. Finally, the CDR presents a structural design of critical elements for static and dynamic analysis; materials were selected, through mathematical analysis and finite element simulations. Thicknesses, shapes and machine parts where carefully chosen depending of the element and general assembly process.

Key words: Etatics, dynamics, fatigue, ED-Goodman, yield strength, ultimate strength, stress, strain, life cycles, finite element simulation.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	12
DESARROLLO DEL TEMA.....	14
1. Fundamento teórico.....	14
1.1. Selección del Material para el Diseño del Mecanismo SSO 3/SST1 .....	14
1.1.1. Análisis de Selección de Materiales.....	15
1.2. Análisis Estático.....	16
1.3. Análisis Dinámico .....	17
1.3.1. Criterio de Falla de ED-Goodman .....	17
1.3.2. Límite de Resistencia a la Fatiga.....	20
1.3.3. Factores que Modifican el Límite de Resistencia a la Fatiga .....	21
1.3.4. Estimación de Vida por Resistencia a la Fatiga.....	23
1.4. Potencia del Motor .....	25
2. Descripción de requerimientos técnicos TDR .....	26
2.1. Alcance .....	26
2.2. Requerimientos de Diseño y Fuerzas.....	26
2.2.1. Características detalladas de funcionamiento .....	26
2.2.2. Sobre de funcionamiento y posicionamiento .....	27
2.2.3. Características de seguridad.....	28
2.2.4. Pesos máximos .....	28
2.2.5. Dimensiones máximas o mínimas .....	28
2.2.6. Requerimientos de cargas .....	28
2.2.7. Deformaciones máximas o mínimas .....	29
2.3. Requerimientos de Pruebas y Certificaciones .....	29
2.3.1. Planes de pruebas y requerimientos de número de ciclos .....	29
2.3.2. Requerimientos de pruebas específicos.....	29
2.4. Requerimientos de Confiabilidad y Garantía.....	29
2.4.1. Vida Útil .....	29
2.4.2. Ciclos que debe cumplir sin problemas.....	30
2.4.3. Definir una garantía funcional que se pueda otorgar .....	30

2.5.	Requerimientos de Mantenimiento .....	30
2.5.1.	Requerimientos de mantenimiento .....	30
2.5.2.	Costos máximos de mantenimiento.....	30
2.6.	Requerimientos Financieros .....	31
2.6.1.	Costo máximo .....	31
2.6.2.	Retorno de inversión (ROI) .....	31
2.6.3.	Periodo de Recuperación .....	32
2.6.4.	Plan Financiero básico del proyecto.....	32
2.7.	Requerimientos de tiempo .....	32
2.7.1.	Cronograma de entrega de cada etapa.....	32
3.	Revisión de diseño preliminar PDR .....	33
3.1.	Estudio de Mercado .....	33
3.1.1.	Tamaño del Mercado.....	33
3.1.2.	Consumo Aparente .....	34
3.1.3.	Participación de la Competencia en el Mercado.....	34
3.1.4.	Mercado Objetivo y Encuestas .....	34
3.1.4.1.	Objetivo del Estudio de Mercado.....	34
3.1.4.2.	Modelo de Encuesta .....	35
3.1.4.3.	Sectorización de las Encuestas .....	35
3.1.4.4.	Resultados .....	35
3.1.5.	Conclusiones de Estudio .....	36
3.2.	Documento Análisis FODA .....	37
3.2.1.	Sistema de Sujeción de Ollas de Aluminio SSO .....	37
3.2.1.1.	Diseño Conceptual SSO 1 .....	37
3.2.1.2.	Diseño Conceptual SSO 2 .....	38
3.2.1.3.	Diseño Conceptual SSO 3 .....	39
3.2.1.4.	Resultados .....	40
3.2.2.	Sistema de Sujeción y Desplazamiento de Torcha SST .....	41
3.2.2.1.	Diseño Conceptual SST 1 .....	41
3.2.2.2.	Diseño Conceptual SST 2 .....	42
3.2.2.3.	Diseño Conceptual SST 3 .....	43

3.2.2.4.	Resultados .....	43
3.3.	Documento de Patentes .....	44
3.4.	Diseño Conceptual Final SSO 3/ SST 1 .....	44
3.4.1.	Análisis FODA del Diseño Conceptual Final .....	45
3.4.2.	Componentes y Pruebas del Diseño Conceptual Final SSO3/ SST1 .....	46
3.4.2.1.	Lista de Componentes .....	46
3.4.2.2.	Identificación de Todos los Componentes Críticos .....	47
3.4.2.3.	Planes Técnicos de Pruebas o Estudios .....	48
4.	Revisión de diseño crítico CDR .....	49
4.1.	Partes críticas de estudio del mecanismo SSO3/SST1 .....	49
4.1.1.	Elemento Crítico Principal .....	49
4.1.2.	Elemento Crítico Secundario .....	50
4.1.3.	Descripción de Masas de los Elementos de Estudio .....	52
4.2.	Cálculos para el diseño del mecanismo SSO3/SST1.....	52
4.2.1.	Diseño del Eje .....	52
4.2.1.1.	Análisis Estático .....	53
4.2.1.2.	Análisis Dinámico por Fatiga .....	55
4.2.1.3.	Estimación de Vida por Resistencia a la Fatiga .....	57
4.2.2.	Potencia del Motor .....	57
4.2.3.	Simulación por Elementos Finitos de Partes Criticas de Estudio .....	58
4.2.3.1.	Eje .....	60
4.2.3.2.	Sujetador Torcha .....	61
4.2.3.3.	Base Sujetador Torcha.....	62
4.2.3.4.	Estructura de Soporte del Mecanismo SSO 3/SST 1.....	63
5.	Pruebas del elemento crítico principal .....	63
6.	Análisis de resultados y justificación de materiales.....	65
6.1.	Análisis de Resultados del elemento Critico Principal (eje).....	65
6.2.	Análisis de Resultados de los Elementos Críticos Secundarios.....	66
7.	Planos y ensamble del mecanismo .....	66
7.1.	Planos de Piezas en general del Mecanismo .....	66
7.1.1.	Sistema Longworth .....	66



7.1.2. Sistema Sujeción de Torcha.....	66
7.1.3. Mesa Estructural.....	66
7.2. Ensamble del Mecanismo .....	66
CONCLUSIONES .....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	69
ANEXO A: Tipo de Encuesta formulada en Pichincha y Cotacachi .....	71
ANEXO B: Ollas de aluminio usadas en los hogares.....	72
ANEXO C: FODA SSO.....	74
ANEXO D: FODA SST .....	75
ANEXO E: Patente Longworth .....	76
ANEXO F: Sistema Longworth .....	77
ANEXO G: Sistema Sujeción de Torcha .....	78
ANEXO H: Mesa Estructural .....	79
ANEXO I: Ensamble del Mecanismo .....	80

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades Mecánicas del Acero A36, Al 99% y Inox 304.....	15
<b>Tabla 2</b> Calificación de los parámetros 0=difícil, 5= fácil .....	15
<b>Tabla 3</b> Primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo $k_t$ .....	19
<b>Tabla 4</b> Parámetros en la condición superficial de Marín .....	22
<b>Tabla 5</b> Efecto de la temperatura en operación del acero .....	23
<b>Tabla 6</b> Factores de Confiabilidad .....	23
<b>Tabla 7</b> Costos aproximados de una estación de sujeción .....	31
<b>Tabla 8</b> Cronograma del TRD para entregables .....	32
<b>Tabla 9</b> Masas de los elementos estructurales del Mecanismo SSO 3/SST 1.....	52
<b>Tabla 10</b> Inercia del sistema longworth .....	58
<b>Tabla 11</b> Resultados del Análisis del eje de Autodesk Inventor .....	60
<b>Tabla 12</b> Resultados del Análisis del Sujetador de la Torcha, Autodesk Inventor.....	61
<b>Tabla 13</b> Resultados del Análisis de la Base, Autodesk Inventor .....	62
<b>Tabla 14</b> Resultados del Análisis de la Estructura, Autodesk Inventor .....	63
<b>Tabla 15</b> Análisis FODA para el sistema SSO .....	74
<b>Tabla 16</b> Análisis FODA para el sistema SST.....	75
<b>Tabla 17</b> Patente Longworth.....	76

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Flyer para la Máquina SSO3-SST1 .....	4
<b>Figura 2</b> Propiedad de la sección del círculo, Momentos de Inercia y Polar .....	17
<b>Figura 3</b> Sensibilidad a la muesca sometidas a flexión inversa.....	20
<b>Figura 4</b> Sensibilidad a la muesca sometidos a torsión inversa.....	20
<b>Figura 5</b> Diagrama S-N de fatiga axial completamente invertido para Aceros.....	24
<b>Figura 6</b> Fracción de resistencia a la fatiga, $f$ , de $S_{ut}$ a los $10^3$ ciclos.....	25
<b>Figura 7</b> Combustible utilizado por los hogares para cocinar INEC 2010 .....	33
<b>Figura 8</b> Diseño Conceptual SSO1, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor .....	38
<b>Figura 9</b> Diseño Conceptual SSO2, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor .....	39
<b>Figura 10</b> Diseño Conceptual SSO1, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor .....	40
<b>Figura 11</b> Diseño Conceptual SST 1, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor.....	41
<b>Figura 12</b> Diseño Conceptual SST 2, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor.....	42
<b>Figura 13</b> Diseño Conceptual SST 2, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor.....	43
<b>Figura 14</b> Sistema SSO3/SST1, Autodesk Inventor.....	44
<b>Figura 15</b> Designación de nomenclatura para piezas .....	47
<b>Figura 16</b> Sistema Longworth acoplado al eje .....	49
<b>Figura 17</b> Sujetador de Torcha Rociadora.....	50
<b>Figura 18</b> Base Sujetador de Torcha Rociadora .....	51
<b>Figura 19</b> Estructura de Soporte del Mecanismos SSO 3/SST 1.....	51
<b>Figura 20</b> Configuración del Eje Longworth de transmisión .....	53
<b>Figura 21</b> Diagrama Cortante y Momento Flector para el Eje $d=32\text{mm}$ .....	55
<b>Figura 22</b> Assign Materials, Autodesk Inventor .....	59
<b>Figura 23</b> Herramientas de Autodesk Inventor para el Análisis de esfuerzos .....	59
<b>Figura 24</b> Simulación del eje, $d=0.03175\text{m}$ , Acero A36 .....	60
<b>Figura 25</b> Simulación del Sujetador de torcha, Acero A36 .....	61
<b>Figura 26</b> Simulación de la Base Sujetador de torcha, Acero A36 .....	62
<b>Figura 27</b> Simulación de la Estructura de Soporte del Mecanismo, Acero A36 .....	63
<b>Figura 28</b> Prueba ollas menores de 20cm de diámetro .....	64
<b>Figura 29</b> Prueba de sujeción de ollas mayor a 20cm de diámetro.....	64

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, por el alto costo de la importación y el aumento progresivo del uso de gas licuado GLP (700 millones de dólares) en el país [5], el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador promueve el uso eficiente y sustentable de la energía eléctrica a través de la generación e implementación de planes y proyectos, es así que, se crea el Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad para dejar de utilizar las cocinas que usan GLP y sustituirlas con las modernas cocinas de inducción [8]. Con el programa en vigencia CENELEC proyecta que el estado ecuatoriano pretende entregar 3.5 millones de cocinas hasta el 2017 a nivel nacional [3]. Sin embargo, este cambio implica adquirir ollas especiales de inducción, las mismas que tienen un costo elevado debido a que poseen propiedades ferromagnéticas. Por esta razón, se ve la necesidad de crear alternativas económicas con el fin de reutilizar las ollas de aluminio.

En el presente proyecto de titulación se pretende crear un diseño estructural y funcional de una máquina para el proceso de termorociado de partículas ferromagnéticas en la base de las ollas de aluminio. Para esto, primero se formula un estudio de mercado seccional guiado a las familias de dos provincias del país (Imbabura y Pichincha), con el propósito de optimizar un diseño que ajuste la forma física de las ollas y también un sondeo para la aceptación del proceso en la población.

En segundo lugar, se crea prototipos que se ajusten a las demandas del mercado y mediante un análisis FODA, llegar a un diseño conceptual final. Este sistema consta de dos partes; el primero tiene que poseer la facilidad de colocar las ollas de aluminio de algunos

diámetros, y además, un segundo mecanismo para a una pistola Arc Tafa 8830 que tendrá que facilitar el desplazamiento en tres direcciones para termo-rosear el material adecuado con propiedades ferromagnéticas.

Por último, se provee la creación de micro empresas en varias partes del país, con un costo de re-manufacturación para ollas de 5 litros de 10 USD frente a un costo por olla nueva de 45 USD a través de la funcionalidad y factibilidad de cálculos estáticos y dinámicos, en donde se calcula los esfuerzos máximos de trabajo, el dimensionamiento de las piezas expuesta a cargas cíclicas por fatiga teórica y por simulación, así como también la estimación de vida útil por resistencia a la fatiga y una guía para el proceso de fabricación de la máquina.

## DESARROLLO DEL TEMA

### 1. Fundamento teórico

A lo largo del tiempo el ser humano ha ido evolucionado en el uso de materiales para el desarrollo de máquinas y herramientas; mejorando cada día las características mecánicas según la utilidad que se le desee dar al elemento. En la actualidad existe una diversidad de materiales y sus aleaciones. Es por ello que para el diseño de máquinas se realiza una selección adecuada del tipo del material para su estudio y uso, en el cual se considerará aspectos importantes en características, propiedades y costos.

Además, para la evaluación de efectos de soporte del mecanismo se realiza un estudio de cargas estáticas de los elementos gobernadas por fuerzas influenciadas por la gravedad en estado estacionario, así como también, se considera un estudio de cargas dinámicas causadas por esfuerzos cíclicos de fatiga y efectos que podrían modificar los límites de resistencia de los materiales de las partes del mecanismo.

#### 1.1. Selección del Material para el Diseño del Mecanismo SSO 3/SST1

Para la selección del material se elige tres materiales que cumplan con los requisitos propuestos a continuación

- Propiedades Mecánicas,
- Accesibilidad de adquisición en el mercado,
- Facilidad del maquinado y
- Costo

Los materiales que se aproximan a estas características son: Acero A36, Aluminio 99%, Acero Inoxidable Serie 304

### 1.1.1. Análisis de Selección de Materiales

Propiedades Mecánicas de los Materiales a seleccionar:

		Acero A36	Aluminio 99%	Inox 304
<b>Propiedades mecánicas</b>	R. Ultima [MPa]	400	110	620
	R. Fluencia [MPa]	250	95	310
	M. Elasticidad [GPa]	200	70	200
	M. Rigidez [GPa]	77.2	26	77

**Tabla 1** Propiedades Mecánicas del Acero A36, Al 99% y Inox 304

**Fuente:** Beer, Apéndice B

Para la selección del material se elabora una puntuación de 0 difícil-caro a 5 fácil-económico

	Acero A36	Aluminio 99%	Inox 304
<b>Propiedades Mecánicas</b>	4	2	5
<b>Adquisición</b>	5	2	2
<b>Maquinado</b>	5	4	3
<b>Costo</b>	5	4	1

**Tabla 2** Calificación de los parámetros 0=difícil, 5= fácil

**Fuente:** Propia

Con este pequeño análisis de la tabla 2 se puede elegir al acero A36 como una mejor elección; a pesar de no tener las mejores propiedades mecánicas en comparación con el Acero Inoxidable 304, tiene unas propiedades mecánicas ideales para el mecanismo; incluso

se puede apreciar que la facilidad de adquisición, el maquinado y el costo en comparación al Aluminio y al Acero Inoxidable es mejor.

## 1.2. Análisis Estático

Una carga estática es una fuerza estacionaria que se aplica a un elemento, y para cumplir esto no debe cambiar su magnitud, punto de apoyo o aplicación y su dirección [2]. En este mecanismo se producen cargas flexionantes y de compresión a causa de su propio peso y de sus elementos, que serán representadas en un diagrama de corte y momento para determinar la capacidad que soportan los elementos diseñados.

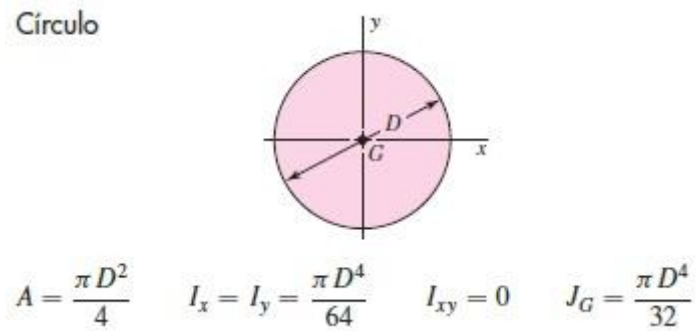
Debido a que la distribución de los esfuerzos normales en una sección dada depende solo del valor del Momento flector máximo y de la geometría de la sección transversal de la sección, el esfuerzo máximo de trabajo admisible en cualquier punto dado puede determinarse, a partir de la ecuación (1.1) [1]:

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|c}{I} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

De donde  $I$  es el Momento de Inercia de la sección transversal (Figura 1) y  $c$  es la distancia que comprende desde la superficie neutra hasta el punto máximo. Sin embargo, reemplazando el módulo de sección elásticas  $S = I/c$ , [1] el esfuerzo máximo puede expresarse de la siguiente manera,

$$\sigma_{max} = \frac{|M_{max}|}{S} \quad \text{Ec. (1.2)}$$





**Figura 2** Propiedad de la sección del círculo, Momentos de Inercia y Polar

**Fuente:** Budynas, R., Tabla A-18

### 1.3. Análisis Dinámico

A pesar de que se puede diseñar elementos a través de un análisis de cargas estáticas; para elementos críticos, que tienen un comportamiento sometido a cargas que varían en el tiempo es necesario realizar un análisis de cargas dinámicas, puesto que este fenómeno de falla puede aparecer súbitamente y sin previo aviso.

#### 1.3.1. Criterio de Falla de ED-Goodman

Para el análisis de falla por cargas dinámicas que varían en el tiempo, se considera el criterio de ED-Goodman, puesto que propone una relación con el límite de resistencia a la fatiga modificada ( $S_e$ ), la resistencia última de diseño ( $S_{ut}$ ) y el factor de seguridad, para una resistencia de vida infinita según el caso del elemento [2].

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec.(1.3)}$$

De esta manera al combinar esfuerzos de acuerdo a la teoría de falla por energía de distorsión, a través de los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios, redondos y sólidos

[2]; al criterio de Goodman se le puede sustituir los esfuerzos alternantes y medios de Von Mises y se obtiene la expresión,

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad \text{Ec.(1.4)}$$

Con la expresión de la ecuación (1.4), para propósitos de diseño se despeja el diámetro obteniendo una expresión en función del diámetro.

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \text{Ec.(1.4)}$$

Dónde,

- $M_m$  y  $M_a$  son momentos flexionantes medio y alternante,
- $T_m$  y  $T_a$  son pares de torsión medio y alternante
- $k_f$  y  $k_{fs}$  son los factores de concentración de esfuerzo por fatiga de flexión y tensión de un valor reducido de  $k_t$  y  $k_{ts}$
- $S_e$  es el límite de resistencia a la Fatiga de la parte

Si se tiene el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constante, el esfuerzo flexionante es completamente reversible, entonces  $M_m$  y  $T_a$  es igual a cero [2], y la ecuación 1.4 queda,

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad \text{Ec.(1.5)}$$

Para resolver la ecuación 1.5 es necesario conocer el par de torsión permisible [1]

$$T_m = \frac{J\tau_{max}}{c} \quad \text{Ec.(1.6)}$$

Siendo  $\tau_{max} = \frac{4V}{3A}$  el esfuerzo cortante máximo para una sección transversal circular [1] y  $J$  el momento polar.

Además, las ecuaciones (1.7) y (1.8) son los factores de concentración de esfuerzo por fatiga de flexión y tensión [2]:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \text{Ec. (1.7)}$$

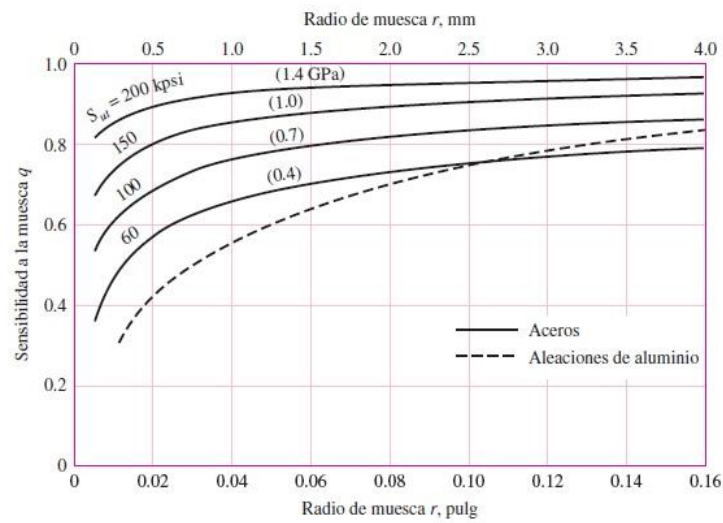
$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) \quad \text{Ec. (1.8)}$$

Donde  $q$  es la sensibilidad a la muesca. Los valores de  $k_t$  se obtienen de la tabla 3 y los valores de  $q$  y  $q_{cortante}$  de las figuras 2 y 3 respectivamente.

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ( $r/d = 0.02$ )	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ( $r/d = 0.1$ )	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ( $r/d = 0.02$ )	2.2	3.0	----
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	----	----
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

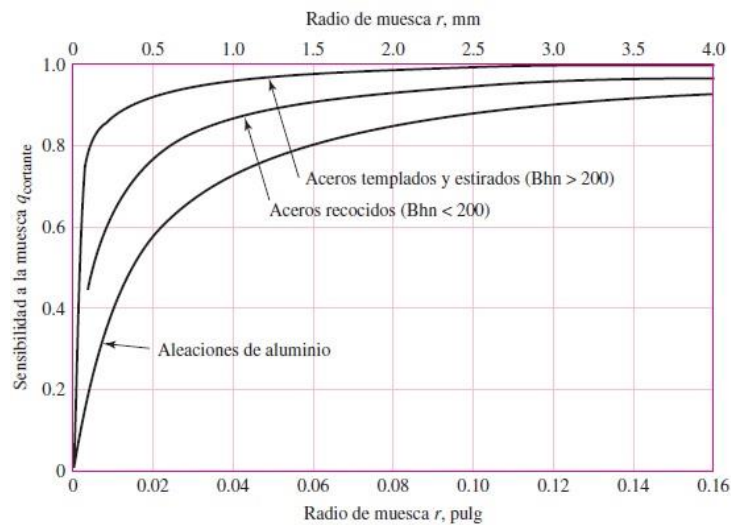
**Tabla 3** Primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo  $k_t$

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 361



**Figura 3** Sensibilidad a la muesca sometidas a flexión inversa

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 287



**Figura 4** Sensibilidad a la muesca sometidos a torsión inversa

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 288

### 1.3.2. Límite de Resistencia a la Fatiga

El límite de resistencia a la fatiga son estimaciones de una amplia dispersión resumidas en la ecuación (1.9), en base a valores de la resistencia última a la tensión mínima  $S_{ut}$  [2].

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ [kpsi]} \text{ (1400 [MPa])} \\ 100 \text{ [kpsi]} & S_{ut} > 200 \text{ [kpsi]} \\ 700 \text{ [MPa]} & S_{ut} > 1400 \text{ [MPa]} \end{cases} \quad \text{Ec. (1.9)}$$

### 1.3.3. Factores que Modifican el Límite de Resistencia a la Fatiga

Para el análisis de los factores se considera que existen una serie de factores que modifican o afectan el límite de resistencia a la fatiga, como el tipo de material, la manufactura, entorno, diseño, etc.; fue Marín quien identificó estos parámetros mediante la ecuación (1.10) para estimar una resistencia a la fatiga real del material [2].

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e \quad \text{Ec. (1.10)}$$

Dónde:

$k_a$  = factor de modificación de superficial

$k_b$  = factor de modificación de tamaño

$k_c$  = factor de modificación de carga

$k_d$  = factor de modificación de 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

- **Factor Superficial  $k_a$ :** Dependerá de los valores del tipo de acabado superficial y la ecuación (1.11)[2]

Acabado Superficial	Factor a		Exponente b
	S <sub>ut</sub> kpsi	S <sub>ut</sub> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	27.2	-0.995

**Tabla 4** Parámetros en la condición superficial de Marín

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 280

$$k_a = aS_{ut}^b \quad \text{Ec. (1.11)}$$

- **Factor de Tamaño  $k_b$ :** Para flexión y torsión, de la ecuación (1.12) [2]

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2in \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10in \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51mm \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254mm \end{cases} \quad \text{Ec. (1.12)}$$

Y para una carga axial no hay efecto de tamaño, así que  $k_b = 1$  [2]

- **Factor de Carga  $k_c$ :** de la ecuación (1.13)[2]

$$k_c = \begin{cases} 1.00 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad \text{Ec. (1.13)}$$

- **Factor de Temperatura  $k_d$ :** La temperatura de operación de elementos es importante al momento de diseñar las partes que están expuestas a fatiga, por ello a continuación se presenta la tabla 5 de factores de temperatura para el acero [2].

Temperatura, °C	S <sub>T</sub> / S <sub>RT</sub>
20	1.000
50	1.010

100	1.020
150	1.025
200	1.020
250	1.000
300	0.975

**Tabla 5** Efecto de la temperatura en operación del acero

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 283

- **Factor de confiabilidad  $k_e$ :** Una análisis de ensayos de fatiga presentan una dispersión de datos donde la aceptabilidad de resistencia a la fatiga se muestra en la tabla 6 [2],

Confiabilidad, %	Factor $k_e$
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659

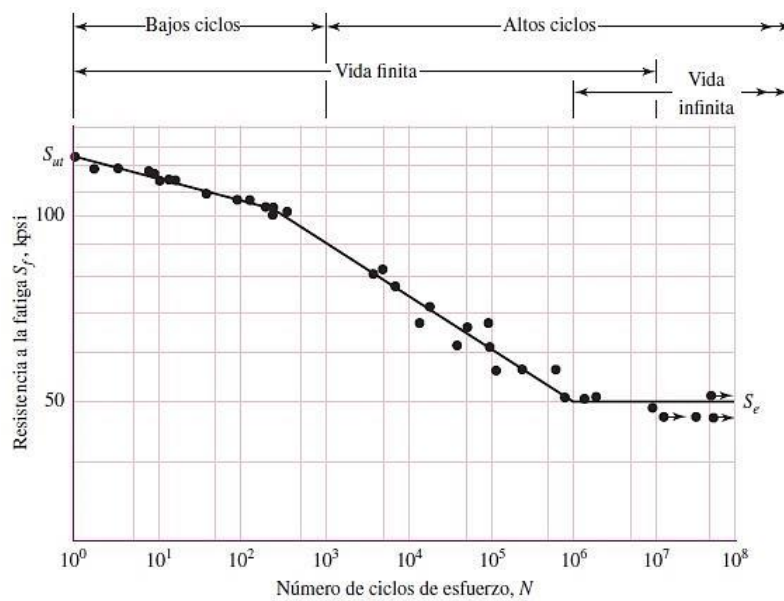
**Tabla 6** Factores de Confiabilidad

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 285

- **Factor de efectos varios  $k_f$ :** Existen otros factores que pueden llegar a modificar la resistencia a la fatiga, sin embargo para el estudio del mecanismo SSO 3/SST1 el valor de  $k_f$  será igual 1 [2].

#### **1.3.4. Estimación de Vida por Resistencia a la Fatiga**

Por datos estadísticos de ensayos de resistencia a la fatiga, en relación al número de ciclos, se realiza un diagrama S-N (figura 4) el cual determina dos regiones, vida finita y vida infinita, que para el acero se encuentra entre 0 a  $10^3$  y  $10^6$  a  $\infty$  ciclos respectivamente [2].



**Figura 5** Diagrama S-N de fatiga axial completamente invertido para Aceros

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 266

Para estimar el número de ciclos, siempre y cuando se produzca un esfuerzo completamente invertido se puede determinar a través de la siguiente expresión [2],

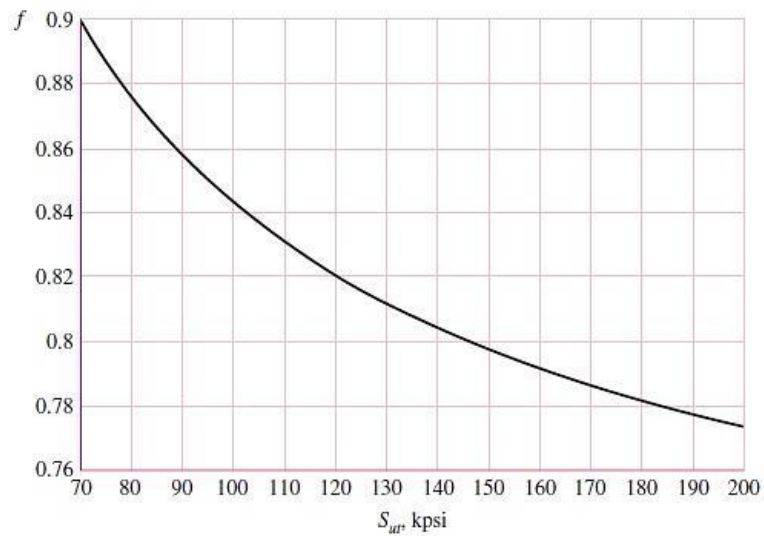
$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{1/b} \quad \text{Ec. (1.14)}$$

Donde  $a$  y  $b$  constantes, y dependerá de los valores de resistencia última de diseño ( $S_{ut}$ ), el límite de resistencia a la fatiga ( $S_e$ ) y la fracción de resistencia a la fatiga  $f$ , se determinara a través de la figura 5, y si el valor de  $S_{ut} < 70$  kpsi, entonces  $f = 0.9$  [2].

$$a = \frac{(f S_{ut})^2}{S_e} \quad \text{Ec. (1.15)}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{f S_{ut}}{S_e}\right) \quad \text{Ec. (1.16)}$$





**Figura 6** Fracción de resistencia a la fatiga,  $f$ , de  $S_{ut}$  a los  $10^3$  ciclos

**Fuente:** Budynas, R., pág.: 277

#### 1.4. Potencia del Motor

Para el cálculo de la potencia de motor (ecuación 1.17) [2] es necesario determinar la Inercia de masas de un cilindro (ecuación 1.18) [1] para romper el momento estático, así como la aceleración angular (ecuación 1.19) [6] y el torque (ecuación 1.20) [7]. El valor de inercias de cilindros se lo calcula por piezas separadas para sumarlas al final obteniendo la inercia de total del sistema.

$$H = \frac{T[\text{lb in}] \cdot \text{rpm}}{63000} \quad \text{Ec. (1.17)}$$

$$I = \frac{1}{8} m \cdot d^2 \quad \text{Ec. (1.18)}$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad \text{Ec. (1.19)}$$

$$T = \sum I \cdot \alpha \quad \text{Ec. (1.20)}$$

## 2. Descripción de requerimientos técnicos TDR

### 2.1. Alcance

Para este proyecto de diseño se tendrá énfasis en la creación de dos mecanismos unificados de bajo costos de construcción y mantenimiento para la re-manufacturación de ollas de aluminio, con el único propósito de reutilizar las ollas de aluminio existentes para formar parte del Programa de Eficiencia Energética del estado ecuatoriano. El mecanismo debe ajustarse al proceso de termorociado de partículas ferromagnéticas por Arc Spray Gun 8830, que es el proceso por el cual se deposita una capa de material aleado y fundido para luego ser depositado en la base de las ollas de aluminio. Por otro lado, el diseño del mecanismo tendrá q ser capaz de proporcionar sujeción y rotación a las ollas, mientras que la torcha será capaz deslizarse en tres direcciones ajustables para depositar el material en la olla.

### 2.2. Requerimientos de Diseño y Fuerzas

#### 2.2.1. Características detalladas de funcionamiento

El diseño presenta dos mecanismos unificados:

#### 1. Sistema de sujeción y rotación de las ollas

- El mecanismo tendrá un juego en serie de 3 ollas de montaje manual.
- La máquina será capaz de sujetar a ollas de 16 hasta 32 cm de diámetro sin deformarla (tipo de olla según estudio de campo), ajuste manual.
- La rotación de la olla no debe permitir deslizamientos perjudiciales al momento de rociar el material en la base de la olla.
- La máquina tiene que soportar el movimiento de rotación de 200 a 400 rpm

- Montaje de las ollas de aluminio debe ser manual.

## 2. Sistema de Sujeción de Torcha

- El soporte debe ser capaz de garantizar el desplazamiento de la torcha desde el centro hacia el borde de la olla, de 1 a 15cm/s.
- Peso aproximado de la torcha es de 7lbs (3.1kg, 8830 Arc Spray Gun)
- Las dimensiones de la tocha son: 29.2 cm alto, 8.8 cm ancho, 30.4 cm largo.
- El sistema de la torcha tiene que separarse de la olla para una fácil colocación de nuevas ollas al sistema.
- Distancia de termorociado, base de olla-punta de torcha, de 5 a 7 pulgadas, con calibración manual.
- La relación entre material-avance-desplazamiento-rotación será empírico, se dejará bajo la responsabilidad del patrocinador realizar las debidas mediciones y experimentos para la correcta aleación del material-olla.

### **2.2.2. Sobre de funcionamiento y posicionamiento**

El mecanismo debe proporcionar los requerimientos de demanda de re-manufacturación de las ollas de aluminio, que según CENELEC se entregará 3,5 millones de cocinas hasta el 2017 en el país [3] y de las cuales un porcentaje recurrirá al termorociado. Con esto el mecanismo tendrá que soportar una demanda de alta producción de 200 ollas al día como meta. Esto significa que la máquina tendrá que funcionar las 8 horas laborales por día.

El segundo propósito es tratar de diseñar una máquina que sea de fácil posicionamiento y transportable, puesto que se pretende a futuro crear mini-empresas con el fin de prestar el servicio en varios lugares del país.

### ***2.2.3. Características de seguridad***

En el diseño se tendrán que considerar mantenimientos preventivos por cuestiones de seguridad integral. Además, se deberá sugerir un plan de seguridad industrial para el uso correcto de la máquina para riesgos frente al calor, amenaza mecánica y expulsiones de material en forma de polvo o desprendimiento violento.

### ***2.2.4. Pesos máximos***

La estructura del mecanismo de sujeción y rotación debe garantizar el soporte de las ollas así como los de su propio peso. De igual manera el mecanismo de soporte de la torcha debe garantizar la estabilidad, deslizamiento y el soporte del peso de la torcha Arc Spray Gun 8830.

### ***2.2.5. Dimensiones máximas o mínimas***

Las dimensiones requeridas son: cubrir el diámetro del juego de ollas incluidos los mangos de las mismas ollas; el deslizamiento de la torcha debe ir en conjunto con la longitud lineal del mecanismo de sujeción y rotación.

### ***2.2.6. Requerimientos de cargas***

La estructura, ejes, sistema de engranajes, soportes estructurales, deben soportar las cargas del peso, momentos, rotación, esfuerzos estáticos y dinámicos por fatiga; así como también los requerimientos de trabajo de alta producción, para una vida útil de 5 años.

### **2.2.7. Deformaciones máximas o mínimas**

Para el diseño se considerara la acción de las cargas exteriores que actúan en el sistema las cuales no debería sobrepasar la zona elástica de la resistencia de los materiales ocupados para la fabricación de la estructura y elementos estructurales. El espesor mínimo de las ollas debe ser de 1 mm para no sufra deformación por la sujetadora.

## **2.3. Requerimientos de Pruebas y Certificaciones**

### **2.3.1. Planes de pruebas y requerimientos de número de ciclos**

Se elaborará un plan de pruebas que permitirá probar y ejecutar cambios o modificaciones de áreas críticas que serán construidas; en este caso, se pretende realizar un prototipo del sistema de sujeción y rotación de las ollas para realizar experimentos de rotación y sujeción con ollas de aluminio reales, en el que se pondrán a prueba la sujeción de la olla durante la rotación. El prototipo deberá sujetar durante al menos 6 minutos cada olla de varios diámetros, puesto que la máquina en la realidad sujetará a la olla por 2 minutos.

### **2.3.2. Requerimientos de pruebas específicos.**

- Examen visual de deformación de las ollas usadas en el sistema de sujeción.
- Examen de fatiga del prototipo de sujeción y rotación.
- Inspección visual de los mandriles después de varios ciclos de trabajo.

## **2.4. Requerimientos de Confiabilidad y Garantía**

### **2.4.1. Vida Útil**

La vida útil de la máquina debería ser al menos de 5 años para al menos la mayoría de los componentes.

#### ***2.4.2. Ciclos que debe cumplir sin problemas***

- Rotación de ollas 200rpm-400rpm
- Resistencia al desplazamiento 1 cm/seg-15 cm/seg
- Más de 10<sup>6</sup> ciclos para ejes expuestos a fatiga
- Sujeción de las ollas por más de 2 minutos

#### ***2.4.3. Definir una garantía funcional que se pueda otorgar***

- Para el funcionamiento de la rotación pedida por el cliente entre 200rpm-400rpm
- Para el desplazamiento 1 cm/seg-15cm/seg
- Para el ajuste de las ollas sin deformación

### **2.5. Requerimientos de Mantenimiento**

#### ***2.5.1. Requerimientos de mantenimiento***

- Piezas desmontables para la fácil limpieza y mantenimiento diario
- Mantenimiento de ejes de rotación
- Mantenimiento del sistema de sujeción de las ollas
- Mantenimiento preventivo 1 vez al mes
- Limpieza diaria

#### ***2.5.2. Costos máximos de mantenimiento***

Los costos máximos de mantenimiento para un correcto funcionamiento del equipo no deben sobrepasar los 20 dólares mensuales.

## 2.6. Requerimientos Financieros

### 2.6.1. Costo máximo

- Prototipo

Materiales y equipos necesarios para una sola estación del sistema de rotación y sujeción.

Equipos/Materiales	Costo USD
Motor 2hp 1800rpm	250
Caja reductora	450
Sistema sujeción de mordazas	100
Sistema integrado de rotación	50
Controlador de rpm	300
Gastos Operativos	50
<b>TOTAL</b>	<b>1200</b>

**Tabla 7** Costos aproximados de una estación de sujeción de ollas

**Fuente:** BKB; Importcom

Estos costos pueden variar según el mercado y disponibilidad

### Producción Mensual

Se estima que la máquina termorociará 200 unidades diarias, dando una producción mensual de 4000 ollas al mes, y un costo aproximado de la máquina de 4000USD.

### 2.6.2. Retorno de inversión (ROI)

- Gasto mensual de Mantenimiento: .....20 USD
- Costo Termorociado en 200 ollas/día, 10USD/olla: .....40 000 USD
- Gastos operativos, Materiales, Infraestructura: .....36 000 USD
- Costo mensual de la máquina  $i=15\%$ : .....383 USD
- Utilidad mensual: .....3 597 USD

$$ROI = \frac{\text{Utilidad neta o Ganancia}}{\text{inversion}} \times 100$$

$$ROI = \frac{3597 \text{ USD}}{40000 \text{ USD}} \times 100 \approx 9\%$$

Lo cual significa que la empresa es rentable y por cada dólar invertido se obtiene 9 centavos de ganancia.

### **2.6.3. Periodo de Recuperación**

El periodo de recuperación es de 1 un año ya que la inversión de la maquina se logra pagar en 12 meses.

### **2.6.4. Plan Financiero básico del proyecto**

En el país existen aproximadamente 5 millones de viviendas [9], para las cuales el gobierno piensa incorporar 3,5 millones de cocinas de inducción por etapas hasta el 2017[3], entregando 100 000 cocinas al mes, lo cual implica que por cada cocina de inducción entregada un porcentaje deseara re-manufacturar su olla. Si solo por cada hogar re-manufactura una olla existirá una demanda de 100 mil ollas al mes en el país con un flujo de dinero de un millón de dólares al mes.

## **2.7. Requerimientos de tiempo**

### **2.7.1. Cronograma de entrega de cada etapa.**

<b>Fecha:</b>	<b>Contenido:</b>
17-Sep-2015	TDR, firma de Definición De Requerimientos Técnicos
30-Oct-2015	Entrega de diseño en software (Modelado y cálculos)
30-Nov-2015	Entrega de prototipo de área crítica de diseño (Construcción física)
15-Dic-2015	Entrega de pruebas, resultados y manuales.

**Tabla 8** Cronograma del TRD para entregables



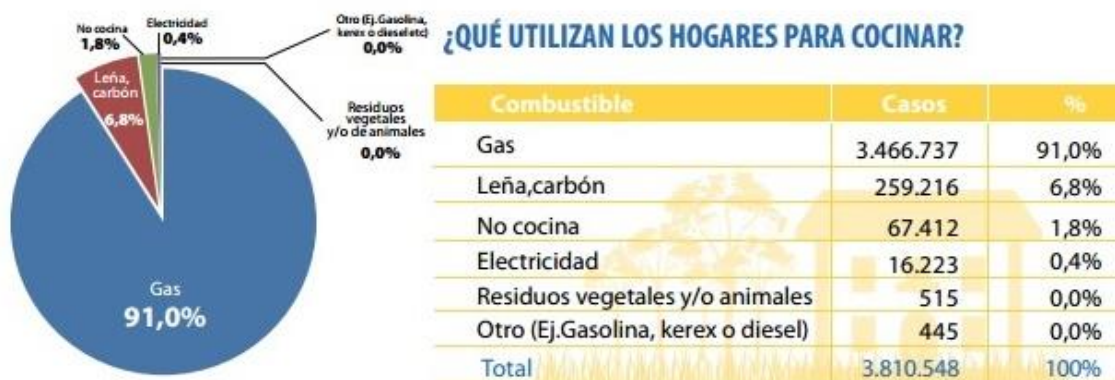
Fuente: Propia

### 3. Revisión de diseño preliminar PDR

#### 3.1. Estudio de Mercado

##### 3.1.1. Tamaño del Mercado

Población objetivo: Se creará este producto para a las familias ecuatorianas sin importar su nivel socioeconómico; se tratará de elaborar un sistema efectivo y de bajo costo utilizando los métodos actuales para re-manufacturar las ollas de aluminio en lugar de comprar nuevas ollas.



**Figura 7** Combustible utilizado por los hogares para cocinar INEC 2010

Fuente: INEC

De esta manera observando los datos del INEC existen 3.810.548 hogares. De igual manera, se conoce que existen 3.466.737 hogares que cocinan con gas doméstico y tan solo 16.223 hogares que utilizan electricidad para cocinar hasta el año 2010 [9]. A continuación se presenta un estudio de mercado en 2 provincias del norte del país, la primera Pichincha y la segunda en Imbabura para medir la aceptación del Programa de Eficiencia Energética y el

cambio de ollas de inducción para tener el posible consumo aparente de las re-manufacturación de ollas de aluminio.

### ***3.1.2. Consumo Aparente***

Según datos estimados de CONELEC se espera una facturación total de energía en el país con un crecimiento anual de al menos 5% en el sector residencial [11], con esto el estado ecuatoriano proyecta un cambio del 80% hasta el 2017 a cocinas de inducción con una entrega de 3.5 millones de cocinas a nivel nacional [3]. Es decir que para el 2017 se espera que 3 millones de hogares se cambien a cocinas de inducción, creando una demanda 12 millones de ollas de inducción.

### ***3.1.3. Participación de la Competencia en el Mercado***

Al investigar la oferta, se puede decir que el producto propuesto de re-manufacturación no existe en el país. Sin embargo, en cuanto a la oferta de productos nuevos, existen grandes cadenas de distribución de electrodomésticos que venden este tipo ollas de inducción, como por ejemplo las ollas económicas chinas marca Shenhua que están a \$36 dólares por olla y \$81 dólares por el juego de 3 en ollas de inducción[4].

### ***3.1.4. Mercado Objetivo y Encuestas***

#### ***3.1.4.1. Objetivo del Estudio de Mercado***

El objetivo del estudio de mercado es conocer la opinión de la gente en cuanto a la percepción del cambio de cocinas de inducción y además la aceptación del servicio de re-manufacturar las ollas de aluminio.

### 3.1.4.2. Modelo de Encuesta

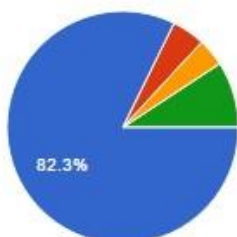
El modelo de encuesta formulada a la sección de la población se encuentra en el ANEXO A.

### 3.1.4.3. Sectorización de las Encuestas

La aplicación de la encuesta se realizó de manera online con la aplicación de Google Drive a hogares de la ciudad de Quito. En total se encuestaron a 100 personas, y los datos se obtuvieron aproximadamente en dos semanas. Además, se realizó una encuesta con registro presencial a hogares en la provincia de Imbabura en los cantones de Otavalo y Cotacachi, obteniendo 60 hogares encuestados.

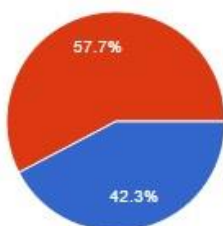
### 3.1.4.4. Resultados

#### ¿Qué tipo de cocina se utiliza en tu hogar?



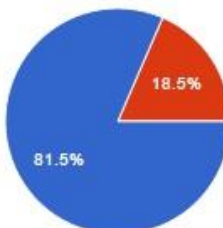
Cocina a gas	107	82.3%
Cocina a inducción	6	4.6%
Cocina a leña	5	3.8%
Cocina electrica	12	9.2%

#### ¿Estarías dispuesto a cambiar tu cocina por una de inducción?



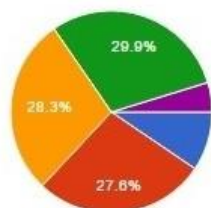
Si	55	42.3%
No	75	57.7%

#### ¿Desearías que tus ollas de aluminio se puedan utilizar con las cocinas de inducción?



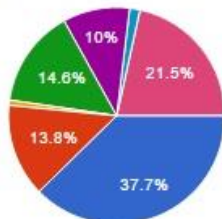
Si	106	81.5%
No	24	18.5%

¿Cuanto estarías dispuesto a pagar por la re-manufacturar tus ollas de aluminio, sabiendo que comprar una olla de inducción económica vale más de \$20 USD?



\$3	12	9.4%
\$5	35	27.6%
\$8	36	28.3%
\$10	38	29.9%
\$15	6	4.7%

¿Cuál es la marca de ollas más común en tu hogar?



Umco	49	37.7%
Royal Prestige	18	13.8%
T-fal	1	0.8%
Tramontina	19	14.6%
Imusa	13	10%
Kuhn Rikon	2	1.5%
Otros	28	21.5%

### 3.1.5. Conclusiones de Estudio

En base al estudio de mercado realizado, el 82.3% de las personas encuestadas utiliza la cocina de gas como método de cocción; por otro lado, el 42.3% de esa población estaría dispuesta a cambiarse a cocinas de inducción. A nivel de Pichincha e Imbabura el 81.5% desearían que sus ollas de aluminio sean re-manufacturadas. Incluso, con los resultados obtenidos referente al costo de re-manufactura el 50% de los hogares están dispuestos a pagar aproximadamente hasta \$8 dólares americanos. Sin embargo, existe un grupo poblacional que no pagaría, o no podría pagar más de \$3 dólares por olla re-manufacturada. Finalmente, se aprecia que la población ecuatoriana utiliza distintos modelos y marcas de ollas, como por ejemplo un 37.7% utiliza Umco, un 14.6% usa Tramontina, y un 21.5% utiliza otras marcas; en el Anexo B se presentan algunos tipos de ollas usadas actualmente en los hogares encuestados.

### 3.2. Documento Análisis FODA

Con el fin de desarrollar una máquina ideal para satisfacer las demandas actuales se hará un análisis FODA en base a tres diseños conceptuales, en donde se identificarán las amenazas, oportunidades, fortalezas y debilidades de los diseños planteados. El proyecto tendrá como objetivo centrarse en dos mecanismos unificados de bajo costo de construcción y mantenimiento, con el único propósito de reutilizar las ollas de aluminio existentes. El diseño del mecanismo tendrá que ser capaz de proporcionar sujeción y rotación a las ollas, mientras que la torcha Arc Tafa será capaz deslizarse en las direcciones necesarias para depositar el material en la base de olla de aluminio. La calificación se establecerá como 0 = bajo y 10 = alto (0=difícil; 10=Fácil).

#### **3.2.1. Sistema de Sujeción de Ollas de Aluminio SSO**

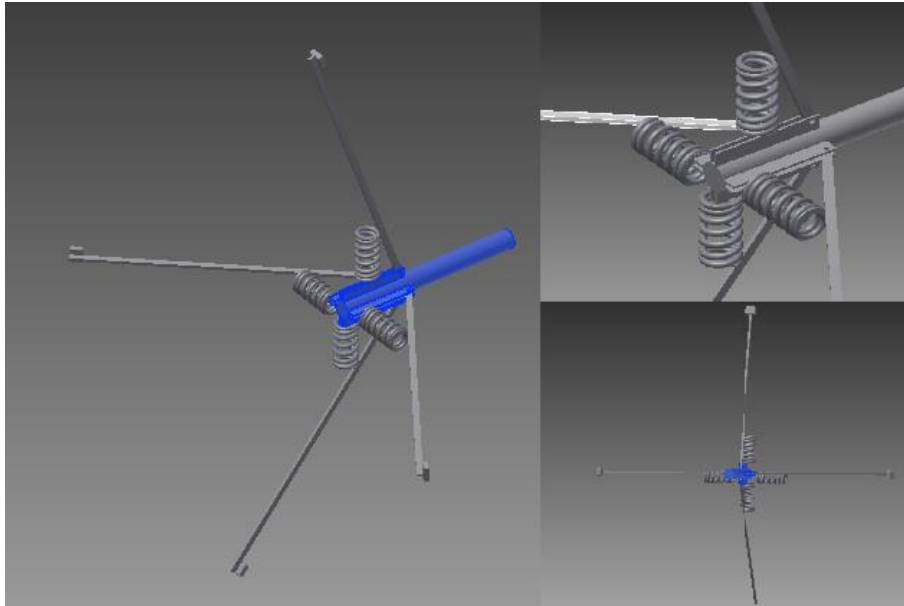
##### *3.2.1.1. Diseño Conceptual SSO 1*

El primer diseño consiste en un sistema de ajuste gradual determinado por cuatro resortes unidos sus ejes y patas correspondientes.

Características:

- La rapidez de sujeción de las ollas será dificultosa debido a que las patas tienen un ángulo de 24 grados con el eje y una distancia de 16cm en su extremo entre eje y diámetro de la olla, es decir el operario tendrá que aplastar cada uno de las patas para asegurar la olla a su diámetro.
- Para este diseño se requiere un espacio útil de eje de al menos 40cm de libertad para obtener una maniobrabilidad de ajuste para las ollas.

- Debido a que los resortes expulsan una fuerza contraria al de la olla se obtiene una adherencia concéntrica en la misma.
- La dificultad de construcción es fácil, puesto que serán fijados a través de pines de sujeción.



**Figura 8** Diseño Conceptual SSO1, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

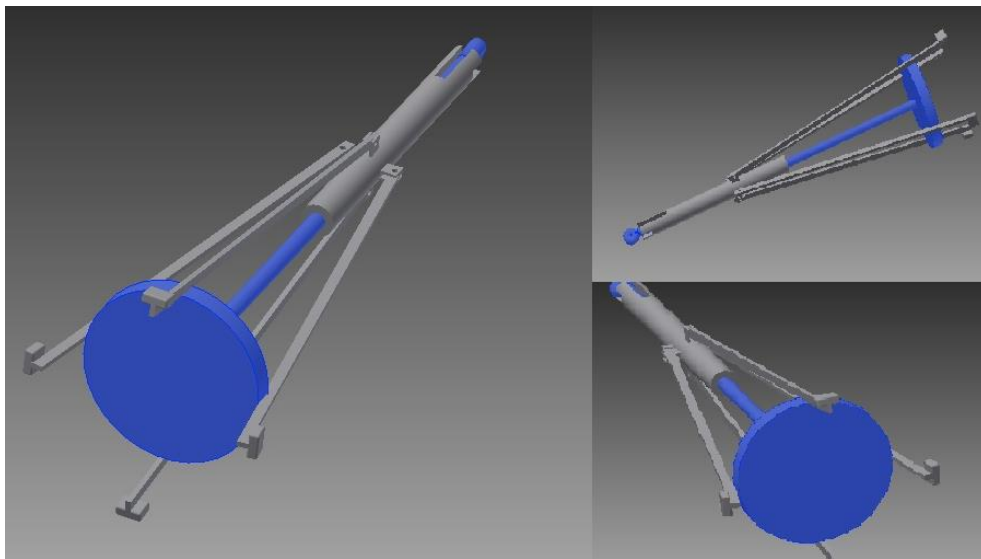
#### 3.2.1.2. *Diseño Conceptual SSO 2*

Este diseño es semejante al diseño conceptual I, su diferencia es que tiene un sistema de ajuste extremo regulado por un tornillo.

Características:

- La rapidez de sujeción de las ollas será algo dificultosa debido a que las patas tienen un cierto ángulo entre las patas y el eje, el cual tendrá una brida de ajuste en el extremo para ajustar el diámetro de la olla en su exactitud.

- Para este diseño se requiere un espacio útil de eje de al menos 40cm de libertad.
- La brida de ajuste será regulada por un tornillo, el mismo que brindará facilidad y seguridad al momento de sujetar la olla.
- La dificultad de construcción es medio alto, puesto que se necesitara diseñar tornillos de alivio rápido y sistemas deslizables para las patas.



**Figura 9** Diseño Conceptual SSO2, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

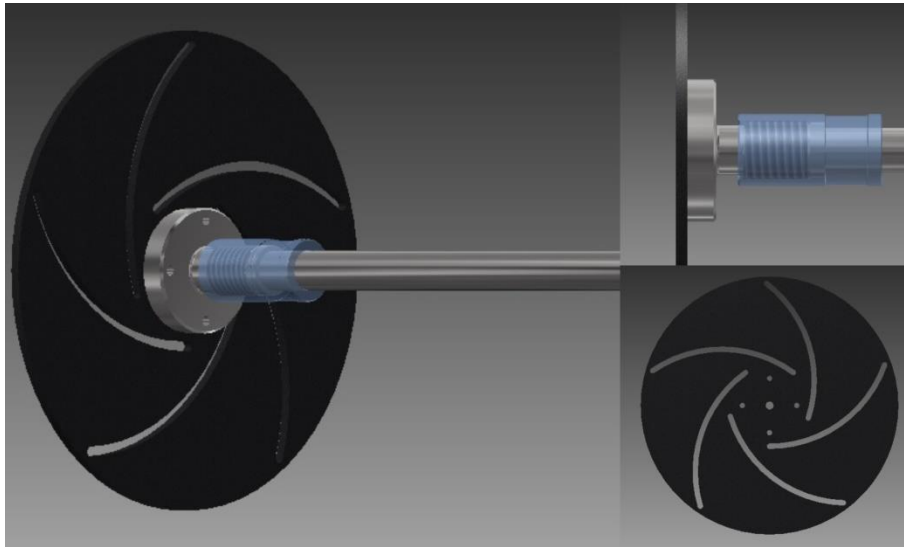
### 3.2.1.3. *Diseño Conceptual SSO 3*

Aquí se presenta un diseño incorporado de ajuste rápido y acople rápido del sistema longworth para un ajuste óptimo y seguro para las ollas.

Características:

- La rapidez de sujeción de las ollas será fácil y rápida puesto que hay que rotar las placas en sentido opuesto y presionar los sujetadores tipo mariposa, además el sistema longworth es capaz de desacoplarse del eje.

- Para este diseño se requiere un espacio útil de eje de 20cm de libertad.
- Los tornillos sujetadores tipo mariposa poseen un caucho que adhiere a la olla al sistema desde el extremo opuesto de la base.
- La dificultad construcción es medio, puesto que se trabajara con cilindros para su construcción y se necesitara mano de obra experta en tornería y fresado.



**Figura 10** Diseño Conceptual SSO1, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

#### 3.2.1.4. Resultados

Con los resultados de un análisis FODA del Anexo C de los diferentes diseños conceptuales, la propuesta más viable y el que presenta mejores panoramas de diseño estructural y mejores oportunidades en el mercado es el diseño conceptual SSO 3 con un sistema longworth acoplado a un eje para ajuste simple, rápido y seguro para ollas de aluminio.



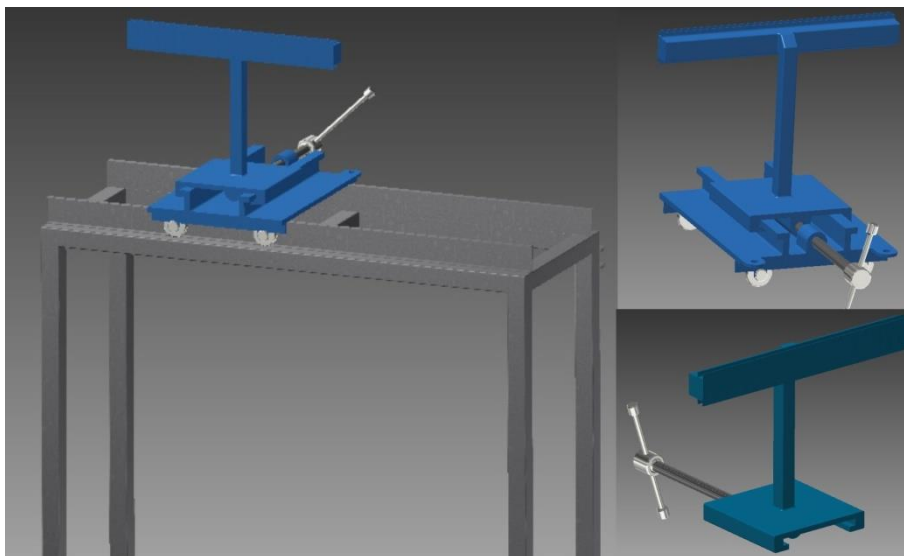
### 3.2.2. Sistema de Sujeción y Desplazamiento de Torcha SST

#### 3.2.2.1. Diseño Conceptual SST 1

El SST 1 es un sistema con la capacidad de realizar tres desplazamientos, de los cuales dos son manuales y uno es semiautomático.

Características:

- El movimiento semiautomático es controlado por un motor paso a paso para garantizar el esparcimiento homogéneo de la aleación en la base de las ollas y se encargara de soportar la torcha.
- Tiene un movimiento manual de tope a tope para un grupo de dos trenes de alimentación de ollas
- Cuenta con un acercamiento manual desde la torcha a la base de la olla.



**Figura 11** Diseño Conceptual SST 1, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor

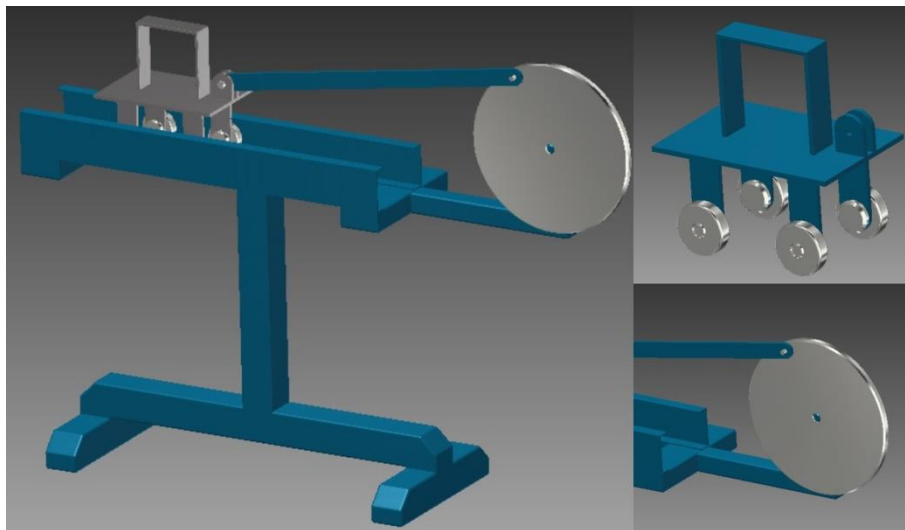
**Fuente:** Propia

### 3.2.2.2. *Diseño Conceptual SST 2*

El SST 2 tiene la capacidad de realizar un desplazamiento controlado semiautomático, el mismo que dará a la torcha un movimiento controlado de derecha a izquierda.

Características:

- El movimiento semiautomático es controlado por un motor de bajas revoluciones el mismo que transmitirá el movimiento a través de una polea.
- Debido a que es estacionario, la desventaja es que tendrá que trasladarse manualmente de un tope a otro tope hasta llegar al punto central determinado.
- Presenta una única estructura en vertical



**Figura 12** Diseño Conceptual SST 2, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor

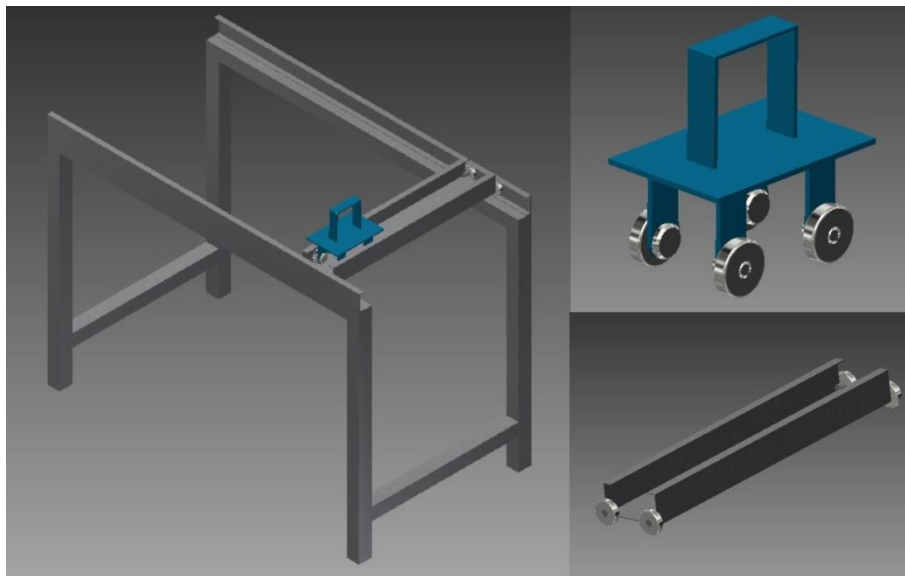
**Fuente:** Propia

### 3.2.2.3. *Diseño Conceptual SST 3*

El SST 3 es un sistema de desplazamiento en 2D, el cual permite abarcar un número determinado de ollas según la necesidad, este tipo de sistema será controlado automáticamente puesto que su recorrido será independiente de la programación generada.

Características:

- El SST 3 tendrá dos tipos de carritos, en el cual el carrito azul desplazará a la torcha mientras que el segundo carrito de color gris desplazara a la torcha en el sentido perpendicular al carrito azul.
- Este sistema tendrá que ser acoplado de manera distinta a los sistemas SST 1 y SST 2.



**Figura 13** Diseño Conceptual SST 2, Ilustración gráfica en 3D Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

### 3.2.2.4. *Resultados*

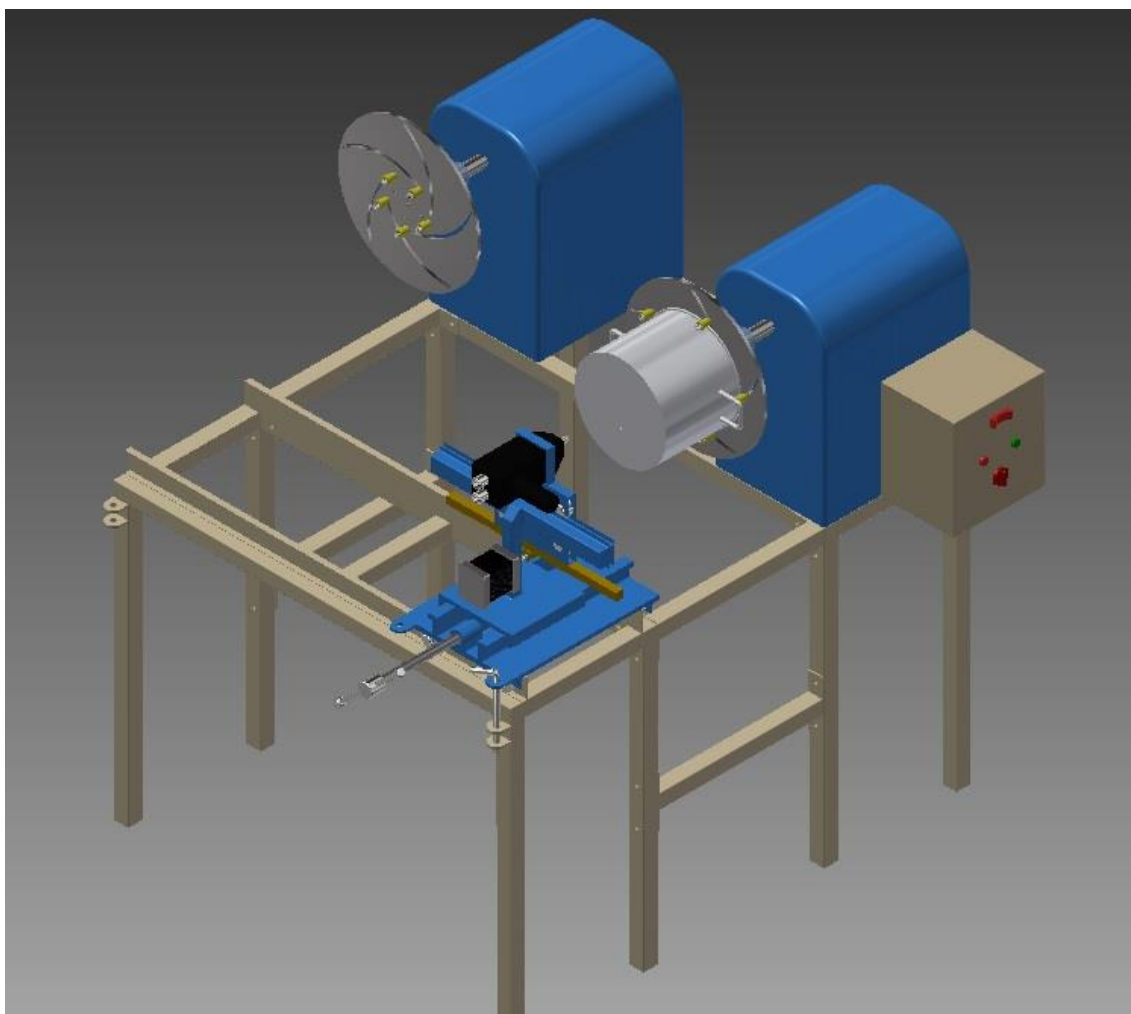
Los resultados obtenidos de un análisis FODA del Anexo D, determinan que la propuesta más viable con un diseño estructural adecuado es la el diseño conceptual SST 1, el

cual presenta un desplazamiento en tres direcciones fijas y ajustables a los parámetros de cada olla.

### 3.3. Documento de Patentes

El sistema Modern Longworth Chuck del Anexo E, es un concepto de Sutter, Michael. Su patente está localizada en U.S federal trademark, y registrada el 13 de Julio, 2012, con código 85676288 [13].

### 3.4. Diseño Conceptual Final SSO 3/ SST 1



**Figura 14** Sistema SSO3/SST1, Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

### **3.4.1. Análisis FODA del Diseño Conceptual Final**

#### **Fortalezas**

El SSO 3 presenta un ajuste y acople rápido del sistema longworth para las ollas, incluso el diseño muestra una adaptación favorable con el SST 1. El sistema SST 1 brindará al sistema unificado la capacidad de realizar 3 deslizamientos para una calibración manual exacta.

Características del sistema:

- La rapidez con que se realiza el cambio de ollas será fácil y rápida con el sistema longworth, a esto se incorpora tres deslizamientos semiautomáticos para la deposición del material aleado en las base de las ollas
- El sistema longworth facilita la sujeción puesto que tiene tornillos sujetadores tipo mariposa con un caucho en su extremo que adhiere y presiona a la olla contra el longworth.
- Se requiere un espacio libre de 25 cm entre mesas de trabajo y posee capacidad de acercamiento y alejamiento de la base de la olla hasta la punta de la torcha de 10 hasta 20 cm.

#### **Oportunidades**

A través de los planes y proyectos de Eficiencia Energética en el país se espera que con este proyecto se incentive a la inversión y apoyo de empresas privadas e incluso del Gobierno ecuatoriano. Además, se aspira crear una microempresa a nivel nacional, dedicada

a la re-manufacturación de ollas de aluminio con bajo costo para el mercado, así como también el propósito es fortalecer y generar competitividad a la industria nacional.

### **Debilidades**

- Se requerirá un adiestramiento para el manejo del sistema debido a la complejidad relativamente medio que tiene la máquina.
- Los costos de mantenimiento pueden superar los 20 dólares mensuales puesto que se dependerá de la calidad y garantía de los equipos electrónicos adquiridos.

### **Amenazas**

- La inexistencia de prototipos o modelos de un sistema para depositar un material ferromagnético puede incurrir en la copia indiscriminada del sistema, además, no se puede pronosticar un mercadeo veraz puesto que no existe en el mercado.
- Mantenimiento preventivo para las piezas mecánicas periódicas para garantizar la vida útil de la máquina, la maquina dependerá del buen uso y cuidado puesto que funciona con equipos electrónicos.

### **3.4.2. Componentes y Pruebas del Diseño Conceptual Final SSO3/ SST1**

#### *3.4.2.1. Lista de Componentes*

A continuación se presenta un listado de componentes principales con sus respectivas nomenclaturas.

TIPO	PIEZA	DESIGNACIÓN
<b>ESTRUCTURAL (E)</b>	Mesa Estructural	EME
	Longworth	EL
	Brida Longworth	EB
	Sujetador de Torcha	EST
	Base Sujetador de Torcha	EBS
	Caja Sistema Longworth	ECL
	Caja variador de frecuencia	ECV
<b>TRANSMISIÓN EJES (TE)</b>	Eje Longworth	TEE
	Eje-Brida	TEB
	Eje Roscado	TER
<b>TRANSMISIÓN DE POTENCIA (TP)</b>	Motor 1/3 hp	TPM 2hp
	Variador Frecuencia	TPV

**Figura 15** Designación de nomenclatura para piezas

**Fuente:** Propia

#### 3.4.2.2. Identificación de Todos los Componentes Críticos

Con un corto análisis se identificó los componentes críticos que se deberán analizar para que el funcionamiento de rotación de ollas y soporte/deslizamiento de la pistola Arc Tafa 8830 no se vea afectado por fallas. Las partes se describen a continuación:

- Estructura metálica: Debe soportar las cargas estáticas a las cuales esta se verá sometida.
- Ejes: Estos componentes serán sometidas a fricción, pandeo, esfuerzos cíclicos y esfuerzos cortantes. Deberán cumplir el tiempo estimado de vida útil en ciclos de trabajo.

- RPM: El cálculo de rpm y torque necesarios de motores para la rotación de ollas y translación de la pistola deberá cumplir con los requerimientos antes predeterminados en el TRD.

#### 3.4.2.3. Planes Técnicos de Pruebas o Estudios

- Pruebas de Compresión y Tracción de la Estructura
  - **Descripción:** El mecanismo de movimiento de la torcha no deberá afectar la funcionalidad. El sistema deberá soportar 5kg y moverse con facilidad sin deformación alguna.
  - **Aprobación:** La prueba se considerará válida si el mecanismo funciona luego de soportar los esfuerzos estáticos por simulación.
  - **Falla:** Cuando uno de los componentes de la estructura supera el límite de fluencia del Acero A36.
- Pruebas de la Vida Útil del Mecanismo Critico Longworth y sus Componentes
  - **Descripción:** Se someterá al longworth a una prueba de rotación para asegurar el ajuste del eje con la brida y también el ajuste de la olla de aluminio. Deberá rotar una velocidad 500 rpm por unos 15 min como mínimo.
  - **Desarrollo:** La prueba se la realizará colocando el eje con el sistema Longworth a una velocidad 500 rpm por un tiempo de 15 minutos sin parar la rotación.
  - **Falla:** Cuando uno o más componentes han sufrido daños a simple vista, luego de la prueba.
  - **Aprobación:** La prueba se considera aprobada si es que todos los componentes soportan y resisten el tiempo de 15 minutos sin desprendimiento o falla.



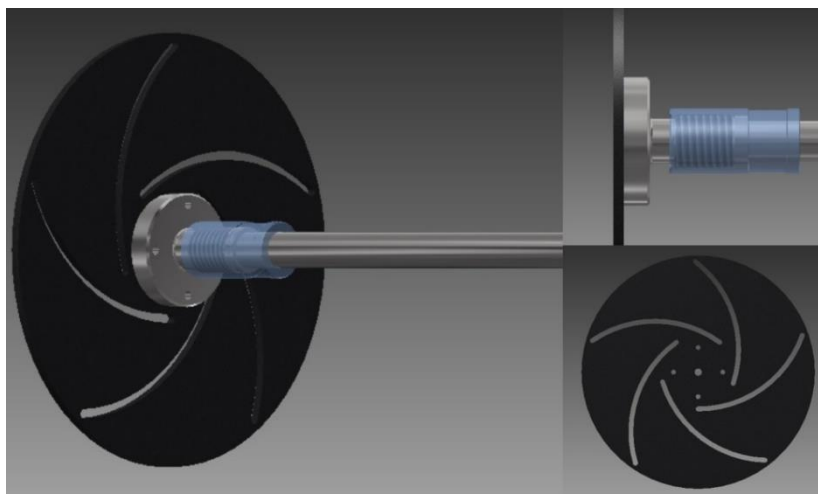
## 4. Revisión de diseño crítico CDR

### 4.1. Partes críticas de estudio del mecanismo SSO3/SST1

Para el mecanismo SSO 3/SST 1 se presenta dos elementos críticos de diseño, el elemento crítico principal y el elemento crítico secundario; en el cual, al elemento crítico principal se le considera como una parte del mecanismo que no permite deformaciones y requiere de cálculos y simulaciones de software para garantizar su diseño, funcionamiento y seguridad operacional. Por otro lado, el elemento crítico secundario corresponderá a las partes del mecanismo que solo necesiten ser verificados por simulación de software para garantizar su diseño.

#### 4.1.1. Elemento Crítico Principal

La parte del mecanismo que será considerada como elemento crítico principal, que tiene que garantizar su funcionalidad y estará sometida a cargas estáticas y dinámicas, es el eje del longworth. Además, es la única parte del mecanismo que estará interactuando con el operador y estará sometido a un trabajo continuo que las demás partes del mecanismo.

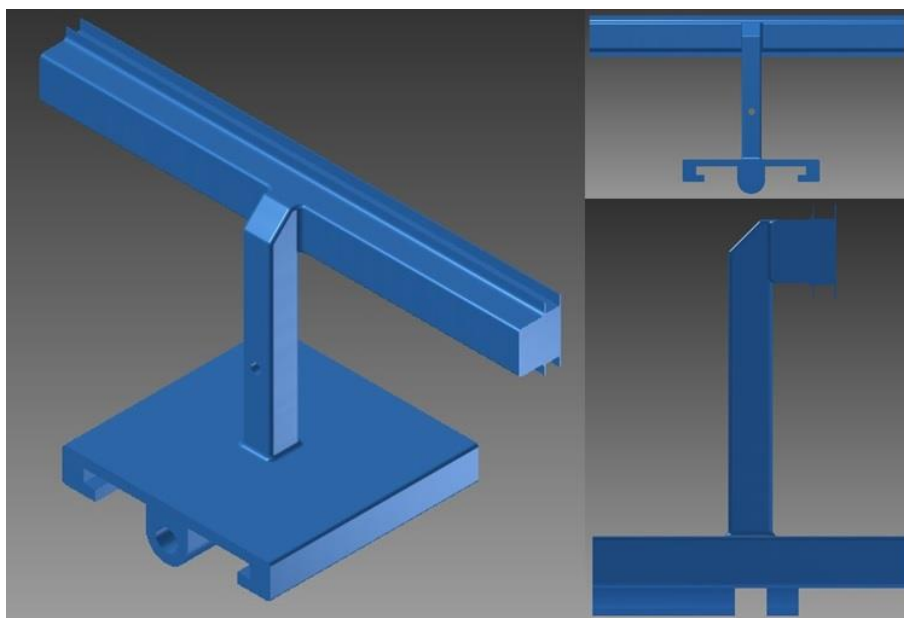


**Figura 16** Sistema Longworth acoplado al eje  
**Fuente:** Propia, Software Autodesk Inventor

#### 4.1.2. Elemento Crítico Secundario

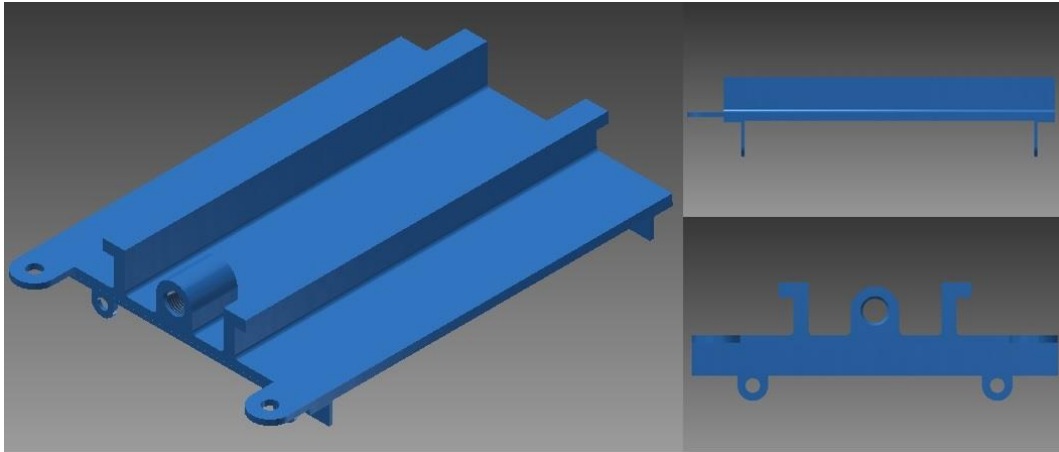
Los elementos críticos secundarios estarán sometidos a cargas estáticas y tendrán una base de apoyo considerable para su maniobrabilidad. Estas partes del mecanismo son:

- Sujetador Torcha (Figura 15)
- Base Sujetador Torcha (Figura 16)
- Estructura de Soporte del Mecanismos SSO 3/SST 1 (Figura 17)



**Figura 17** Sujetador de Torcha Rociadora

**Fuente:** Propia, Software Autodesk Inventor



**Figura 18** Base Sujetador de Torcha Rociadora

**Fuente:** Propia, Software Autodesk Inventor



**Figura 19** Estructura de Soporte del Mecanismos SSO 3/SST 1

**Fuente:** Propia, Software Autodesk Inventor

#### 4.1.3. Descripción de Masas de los Elementos de Estudio

No	Elemento	Tipo	Parte	Masa (Kg)
1	Longworth	E	EL	14,26
2	Eje-Brida	TE	TEB	1,83
3	Eje-Sujetador	TE	TES	2,38
4	Eje Longworth (aproximado)	TE	TEE	3,22
5	Olla de AL			0,76
	<i>Elemento crítico principal</i>		<b>TOTAL</b>	<b>22,46</b>
6	Sujetador de Torcha	E	EST	12,00
7	Base Sujetador de Torcha	E	EBS	14,89
8	Estructura de Soporte del Mecanismo	E	EES	35,28
9	Caja Longworth	E	ECL	2,00
	<i>Solo Estructura en Acero A36</i>		<b>TOTAL</b>	<b>84,63</b>

**Tabla 9** Masas de los elementos estructurales del Mecanismo SSO 3/SST 1

**Fuente:** Propia

#### 4.2. Cálculos para el diseño del mecanismo SSO3/SST1

A continuación se presenta un estudio de diseño de ejes estático y dinámico por fatiga. Por otro lado, también, para garantizar la investigación se analiza a través de un análisis de la energía de la distorsión de Von Mises que arroja Autodesk Inventor, por un análisis de elementos finitos.

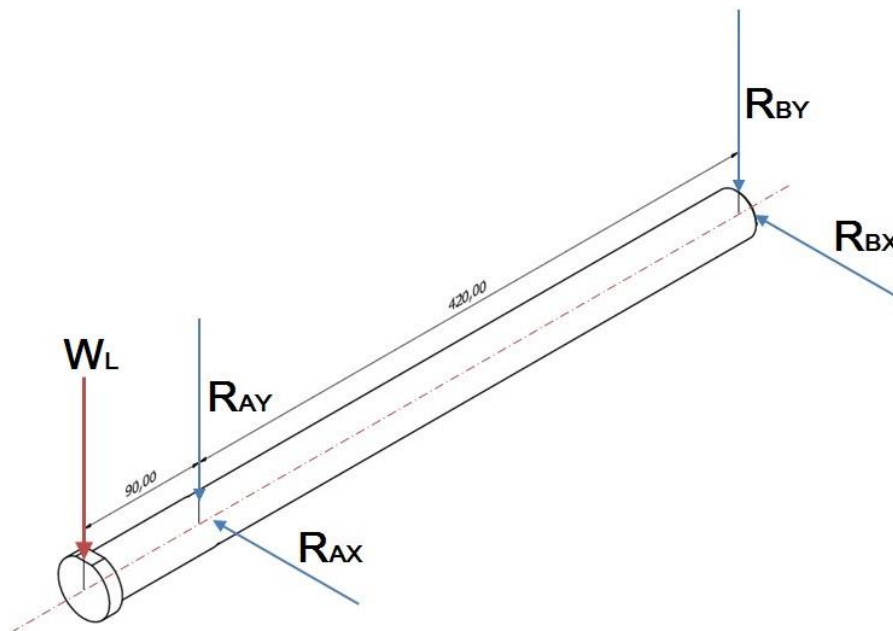
##### 4.2.1. Diseño del Eje

Como se mencionó en la sección 2.1, el elemento crítico principal (eje) requiere un estudio y análisis profundo. Los parámetros que se consideran para los cálculos de la fuerza gravitacional que se ejerce en el elemento, es  $9.8 \text{ m/s}^2$ ; con la tabla 7 determinamos que el eje soporta una fuerza de 220,1 [N] en su extremo. Además para el análisis estático de

esfuerzo máximo se considera un eje de diámetro de 1 pulgada, que más adelante, mediante el análisis de esfuerzos dinámicos de fatiga se calculará el diámetro verdadero.

#### 4.2.1.1. Análisis Estático

En la figura 10 se observa la configuración del eje longworth de transmisión con sus respectivos parámetros y aplicación de fuerzas. En primer lugar se analiza las reacciones en los puntos A y B para el eje de las ordenadas, puesto que no existen fuerzas que actúen en el eje de las abscisas.



**Figura 20** Configuración del Eje Longworth de transmisión

**Fuente:** Propia

$$\sum F_y = 0$$

$$-W_L + R_A - R_B = 0$$

$$R_A - R_B = -220.1 \text{ [Nm]}$$

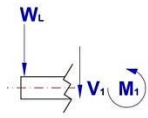
$$\sum M = 0$$

$$+W_L(0.51) - R_A(0.42) - R_B(0) = 0$$

$$R_A = \frac{W_L(0.51)}{0.42} = 267.26 \text{ [Nm]}$$

$$\therefore R_B = 47.16 \text{ [Nm]}$$

Las Fuerzas y Momentos Máximos son determinados por un análisis del Diagrama de corte y momento flector [1].



$$\sum F_y = 0$$

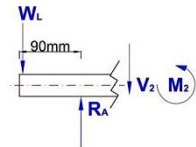
$$-W_L - V_1 = 0$$

$$\rightarrow V_1 = -220.1 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0$$

$$+W_L(0) + M_1 = 0$$

$$\rightarrow M_1 = 0$$



$$\sum F_y = 0$$

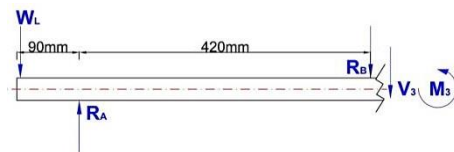
$$-W_L + R_A - V_2 = 0$$

$$\rightarrow V_2 = 47.16 \text{ [N]}$$

$$\sum M = 0$$

$$W_L(0.09) - R_A(0) + M_2 = 0$$

$$M_2 = -19.81 \text{ [Nm]}$$



$$\sum F_y = 0$$

$$V_3 = 0 \text{ [N]}$$

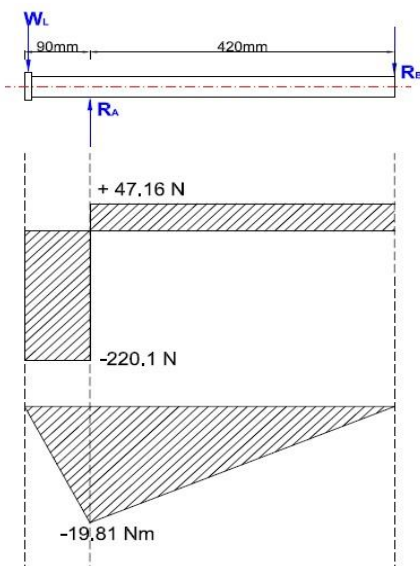
$$\sum M = 0$$

$$M_3 = 0 \text{ [Nm]}$$

Con estos resultados se realiza el diagrama cortante y momento flector para el eje, y a partir de la ecuación 1.2 calculamos el esfuerzo máximo de trabajo al que el eje está expuesto;

pero antes se calcula el módulo de sección transversal  $S = \frac{I}{c}$ , de la figura 1, reemplazamos el

momento de Inercia en el módulo de sección, entonces



$$S = \frac{\pi d^3}{16} = 3.06 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\therefore \sigma_{max} = \frac{19.81}{3.06 \times 10^{-6}} = 6.5 \text{ [MPa]}$$

**Figura 21** Diagrama Cortante y Momento Flector para el Eje  $d=32\text{mm}$

**Fuente:** Propia

#### 4.2.1.2. Análisis Dinámico por Fatiga

En el análisis dinámico por fatiga se busca calcular el diámetro necesario para el eje del mecanismo, para eso primero tendremos que considerar que existe una serie de factores que modifican o afectan el límite de resistencia a la fatiga, como el tipo de material, la manufactura, el entorno, diseño, etc.; para ajustar una resistencia del material real, primero se determina el límite de resistencia a la fatiga con la ecuación 1.9 para  $S_{ut} < 1400 \text{ MPa}$ .

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 125 \text{ [MPa]}$$

A continuación se calcula la ecuación (1.10) de Marín con los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S'_e$$

Enseguida se determina los factores de Marín. Para el factor superficial maquinado, de la ec. (1.11), la tabla 1 y 4 se obtiene

$$k_a = aS_{ut}^b = 4.51(400)^{-0.265} = 0.921$$

Para el factor de tamaño por carga flexionante se supone un valor medio para la ecuación 1.12,  $k_b=0.9$ ; de la ecuación (1.13) el factor de carga por flexión  $k_c=1$ , para el factor de temperatura suponiendo que el acero estará sometido a variaciones de temperatura de 20 a 250 °C de la tabla 5  $k_d=1$ , para una confiabilidad del 99,99%, de la tabla 6  $k_e=0.702$ , finalmente como no se tiene otras condiciones  $k_f=1$ .

Entonces, el límite de resistencia a la fatiga de la parte es,

$$S_e = (0.921) \cdot (0.9) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0.702) \cdot (1) \cdot (125) = 72.74 \text{ [MPa]}$$

De la ecuación (1.5) del criterio de falla de ED-Goodman se determina el diámetro del eje.

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(k_f M_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

En donde  $T_m$  esta expresada por la ecuación (1.6) y sabiendo que el esfuerzo cortante máximo en una sección transversal circular es  $\tau_{max} = \frac{4V}{3A}$ , y el momento polar de la figura 1, se obtiene,

$$T_m = \frac{J\tau_{max}}{c} = \frac{\frac{\pi d^4}{32} \cdot \frac{4W_L}{3A}}{\frac{d}{2}} = \frac{dW_L}{3} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Además se necesita los factores de concentración de esfuerzo por fatiga de flexión y torsión de las ecuaciones (1.7) y (1.8) respectivamente. De la tabla 3 se obtiene  $k_t = 2.7$  y  $k_{ts} = 2.2$  para un filete de hombro agudo, y la sensibilidad de la muesca  $q$ , de la figura 2,  $q = 0.58$  y de la figura 3,  $q_{cortante} = 0.76$ .

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) = 1 + (0.58)(2.7 - 1) = 1.986$$

$$k_{fs} = 1 + q_{cortante}(k_{ts} - 1) = 1 + (0.76)(2.2 - 1) = 1.912$$

Junto con la ecuación (4.1), los valores calculados de  $k_f$  y  $k_{fs}$ , un factor de seguridad  $n=3$  para elementos críticos de diseño, y un momento máximo de la figura 11, de 19.81 [Nm] reemplazamos en la ecuación (1.5) de ED-Goodman.

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{2 \cdot k_f \cdot M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{S_{ut}} \cdot \frac{k_{fs} \cdot d \cdot W_L}{3} \right\} \right)^{1/3}$$



$$d^3 = \frac{16n}{\pi} \left( \frac{2 \cdot k_f \cdot M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{S_{ut}} \cdot \frac{k_{fs} \cdot d \cdot W_L}{3} \right)$$

$$d^3 = \frac{16(3)}{\pi} \left( \frac{2(1.986)(19.81)}{72.74 \times 10^6} + \frac{\sqrt{3}}{250 \times 10^6} \cdot \frac{d(1.912)(2201.1)}{3} \right)$$

$$d^3 - 1.4849 \times 10^{-5}d - 1.6528 \times 10^{-5} = 0$$

Resolviendo el polinomio de tercer grado se obtiene un **diámetro de 0.02567 [m]**.

#### 4.2.1.3. Estimación de Vida por Resistencia a la Fatiga

Para el caso del eje se requiere determinar una vida infinita de ciclos sometidos a fatiga, es decir el número de ciclos debe superar los  $10^6$  ciclos de operación. A partir de la ecuación (1.4) se necesita obtener las constantes  $a$  y  $b$  de las ecuaciones (1.15) y (1.16) respectivamente. Además, hay que recordar que para un valor de  $S_{ut} < 70$  [kpsi] el valor del  $f$  = **0.9** ( $S_{ut \text{ acero } A36} = 58$  [kpsi])

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0.9 \cdot 400)^2}{72.74} = 1781.69$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right) = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{0.9 \cdot 400}{72.74}\right) = -0.2315$$

De la ecuación (1.4), con  $\sigma_a = 19.81$  [Nm],

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{1/b} = \left(\frac{19.81}{1781.69}\right)^{1/-0.2315} = 2.75 \times 10^8 \text{ ciclos}$$

#### 4.2.2. Potencia del Motor

De la ecuación (1.18) se calcula las inercias de los elementos implicados en el eje longworth, los resultados se muestran en la tabla 10.

No	Elemento	Masa (Kg)	Inercia (m <sup>3</sup> )
1	Longworth	14.26	0.128
2	Eje-Brida	1.83	0.0016
4	Eje Longworth (aproximado)	3.22	0.0000406
	$\Sigma$ Elemento crítico principal	<b>19.31</b>	<b>0.258</b>

**Tabla 10** Inercia del sistema longworth

**Fuente:** Propia

Para la obtención de la aceleración angular es necesario tener la velocidad angular al igual que el tiempo determinado por la siguiente ecuación (1.19)

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{41,89^{rad}/seg}{1seg} = 41.89^{rad}/seg^2$$

El torque se consigue con la multiplicación entre la inercia del objeto a moverse y la aceleración desea para eso se utiliza la ecuación (1.20)

$$T = \Sigma I \cdot \alpha = 10.80Nm = 95.65lb \cdot in$$

Con estos valores, de la ecuación (1.17) se determina el cálculo de la potencia requerida del motor.

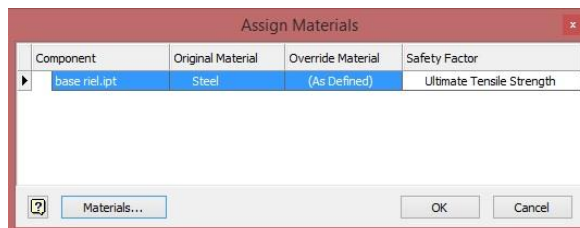
$$H = \frac{T \cdot rpm}{63000} = 0.6hp$$

#### **4.2.3. Simulación por Elementos Finitos de Partes Críticas de Estudio**

Para esta sección se usa el software Autodesk Inventor con la herramienta Stress Analysis, en donde se realiza seis pasos para realizar un análisis de esfuerzos por elementos finitos:

- Create Simulation, que es donde se le crea y da un nombre a la simulación
- Assign, en esta sección elegimos el como Material Original al Steel, en esta opción se despliega una variedad de materiales; en Safety Factor existen dos tipos de

esfuerzos, esfuerzo ultimo a la tensión y el esfuerzo de fluencia, se selecciona el esfuerzo que se utilizó en el diseño.



**Figura 22** Assign Materials, Autodesk Inventor

**Fuente:** Autodesk Inventor

- Constraints, aquí se le da a la pieza la fijación que necesita para su estudio
- Loads, determina el tipo de carga
- Mesh, designa un mallado automático para la pieza.
- Solve, simulación con las condiciones establecidas



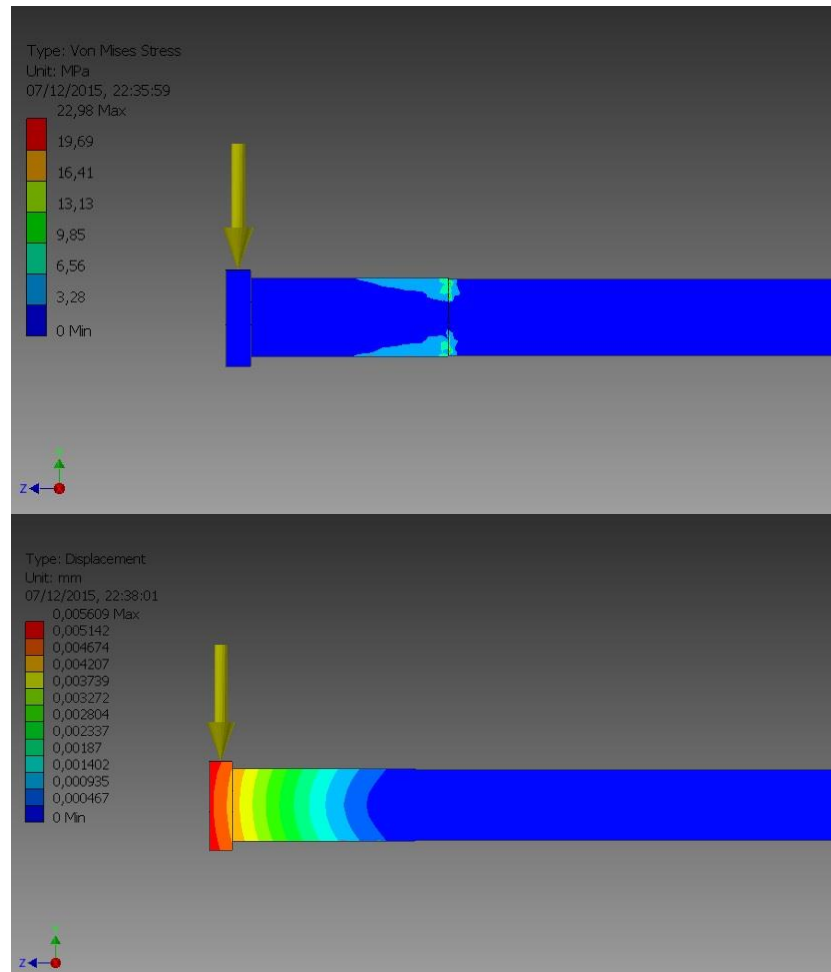
**Figura 23** Herramientas de Autodesk Inventor para el Análisis de esfuerzos

**Fuente:** Autodesk Inventor

A continuación se presenta un resumen de las simulaciones basadas en la teoría de la energía de distorsión de Von Mises y los desplazamientos resultantes de cada pieza.

#### 4.2.3.1. Eje

Con el resultado del diámetro del análisis dinámico se obtiene un eje de 1.25 in.



**Figura 24** Simulación del eje,  $d=0.03175\text{m}$ , Acero A36

**Fuente:** Autodesk Inventor

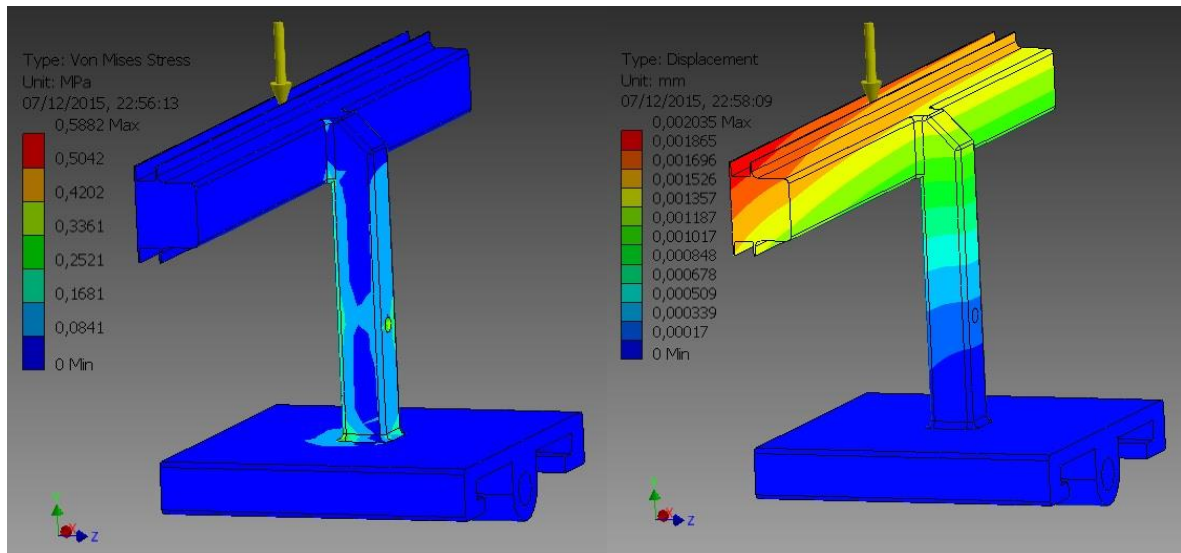
	Mínimo	Máximo
Esfuerzo Von Mises [MPa]	0	22.98
Desplazamiento [mm]	0	$5,61 \times 10^{-3}$
Deformación Unitaria	0	$9,87 \times 10^{-5}$
Factor de Seguridad	13.31	15

**Tabla 11** Resultados del Análisis del eje de Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

#### 4.2.3.2. Sujetador Torcha

El sujetador de torcha tiene que soportar un peso de 12.4 [N], (Peso torcha).



**Figura 25** Simulación del Sujetador de torcha, Acero A36

**Fuente:** Autodesk Inventor

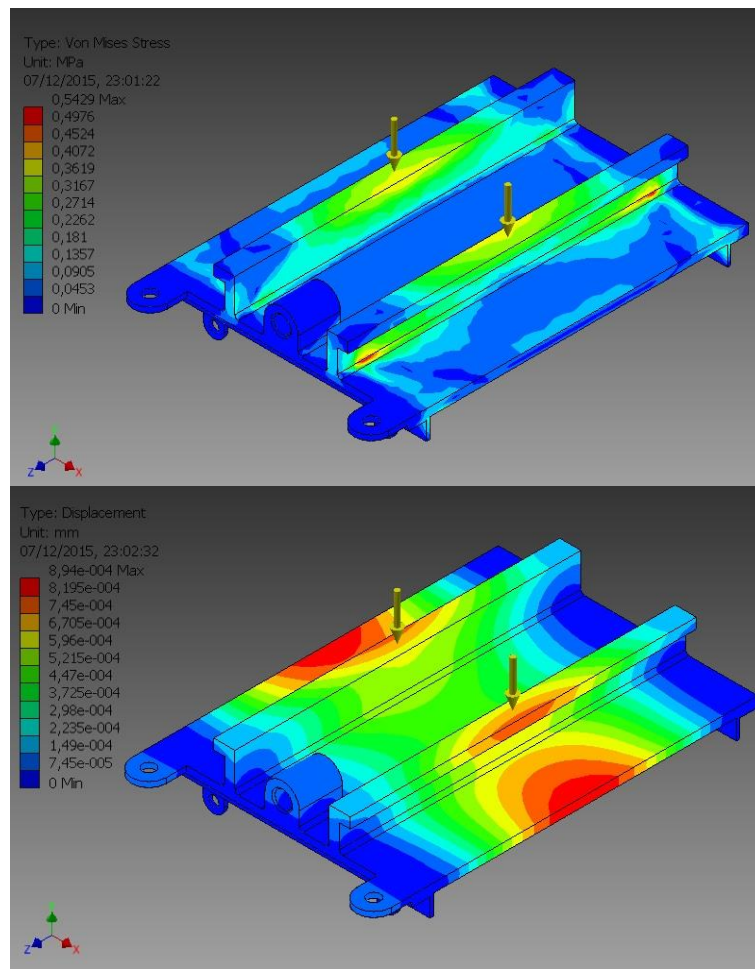
	Mínimo	Máximo
Esfuerzo Von Mises [MPa]	$2,37 \times 10^{-5}$	$5,88 \times 10^{-2}$
Desplazamiento [mm]	0	$2,03 \times 10^{-3}$
Deformación Unitaria	0	$2,62 \times 10^{-6}$
Factor de Seguridad	15	15

**Tabla 12** Resultados del Análisis del Sujetador de la Torcha, Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

#### 4.2.3.3. Base Sujetador Torcha

La base del sujetador de torcha tiene que soportar un peso de 156 [N]



**Figura 26** Simulación de la Base Sujetador de torcha, Acero A36

**Fuente:** Autodesk Inventor

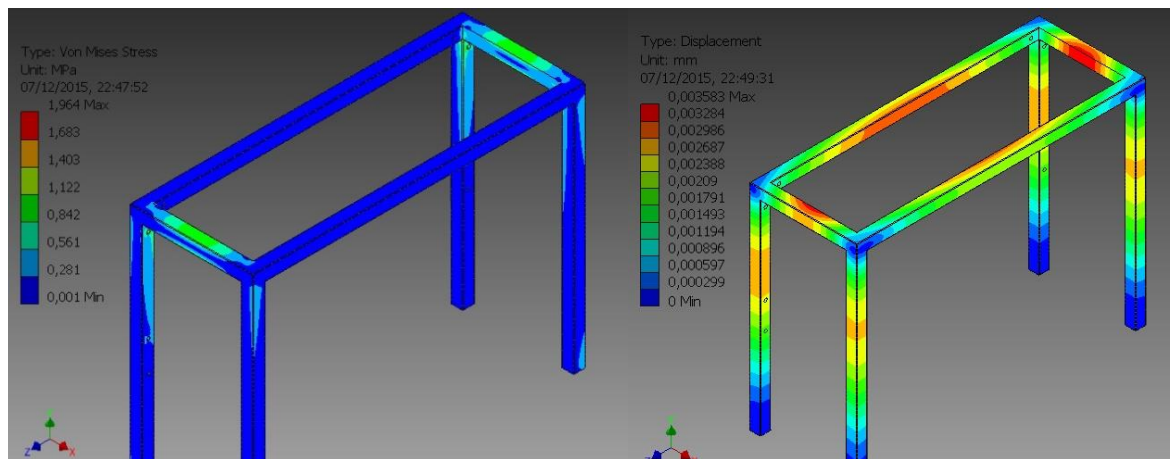
	Mínimo	Máximo
Esfuerzo Von Mises [MPa]	$1,41 \times 10^{-5}$	$5,43 \times 10^{-2}$
Desplazamiento [mm]	0	$8,94 \times 10^{-4}$
Deformación Unitaria	0	$2,48 \times 10^{-6}$
Factor de Seguridad	15	15

**Tabla 13** Resultados del Análisis de la Base, Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

#### 4.2.3.4. Estructura de Soporte del Mecanismo SSO 3/SST 1

La estructura de soporte del mecanismo tiene que soportar un peso de 300 [N].



**Figura 27** Simulación de la Estructura de Soporte del Mecanismo, Acero A36

**Fuente:** Autodesk Inventor

	Mínimo	Máximo
Esfuerzo Von Mises [MPa]	$5,75 \times 10^{-4}$	1,96
Desplazamiento [mm]	0	$3.58 \times 10^{-3}$
Deformación Unitaria	0	$8.38 \times 10^{-6}$
Factor de Seguridad	15	15

**Tabla 14** Resultados del Análisis de la Estructura, Autodesk Inventor

**Fuente:** Propia

## 5. Pruebas del elemento crítico principal

Las pruebas se realizaron en el taller mecánico de la USFQ, en el torno CNC de marca Pinacho; en donde se simuló la sujeción de la olla a 400 rpm. Se realizó varios experimentos de sujeción para ollas de 20 cm y 30 cm de diámetro, como se puede observar en las figuras 26 y 27. Con estas pruebas se puede constatar que el tiempo de montaje y desmontaje no supera los 50 segundos y también que el sistema garantiza la sujeción de la olla sin desprendimiento a velocidades de 400 rpm, por tiempos de prueba de 5 minutos. El examen

visual demostró que el sistema crítico no deforma las ollas al momento de sujetarlas por la base, y finalmente se realizó pruebas en rotación con velocidades de 500rpm por 15 minutos sin tener ninguna falla en el sistema ni en la olla sometida.



**Figura 28** Prueba ollas menores de 20cm de diámetro

**Fuente:** Propia



**Figura 29** Prueba de sujeción de ollas mayor a 20cm de diámetro

**Fuente:** Propia



## 6. Análisis de resultados y justificación de materiales

Para el análisis de resultados se resume todos los datos obtenidos en los cálculos de los estudios estáticos y dinámicos por fatiga así como también las simulaciones realizadas en Autodesk Inventor. Por otro lado, el material se escogido debido a la tabla 2 que adopta al Acero A36 como el material idóneo para el mecanismo en general.

### 6.1. Análisis de Resultados del elemento Critico Principal (eje)

Debido a que el eje es un elemento crítico de diseño el cual no permite deformación alguna se realizó dos análisis, estático y dinámico. Para el análisis estático, el esfuerzo de Von Mises evaluado en la simulación de Inventor es 22.98 MPa, sin embargo, se observa que el esfuerzo máximo calculado teóricamente con un eje de diámetro de 1 pulgada tiene un 70% menos que el simulado en valor, sin embargo, el eje resiste perfectamente las cargas a las que está sometido debido a cargas en estado estacionario.

En segundo lugar, se evaluó el diámetro ideal para el eje por medio de un análisis de resistencia a la fatiga y con un factor de seguridad de 3, dio como resultado un diámetro ideal de 25.67 mm, pero debido a que en el mercado existen diámetros de ejes en acero A36 en pulgadas, se elige el diámetro de 1.25 pulgadas. Además, a través de la resistencia a la fatiga se estimó la vida en ciclos de trabajo con una respuesta de  $2.75 \times 10^8$  ciclos, por la figura 4 del diagrama S-N se puede concluir que el eje se encuentra en la sección de vida infinita.

## 6.2. Análisis de Resultados de los Elementos Críticos Secundarios

- La parte estructural del sujetador de Torcha, de la tabla 9, dio como resultado un esfuerzo máximo de Von Mises de 58 800 Pa de resistencia y un factor de seguridad de 15.
- La parte estructural de la Base sujetadora de la Torcha, de la tabla 10, dio como resultado un esfuerzo máximo de Von Mises de 54 300 Pa de resistencia y un factor de seguridad de 15.
- La parte Estructural de Soporte del Mecanismo SSO 3/ SST 1, de la tabla 11, dio como resultado un esfuerzo máximo de Von Mises de 1.96 MPa de resistencia y un factor de seguridad de 15 para un tubo cuadrado de 40x1.5mm.

## 7. Planos y ensamble del mecanismo

### 7.1. Planos de Piezas en general del Mecanismo

#### *7.1.1. Sistema Longworth*

Anexo F

#### *7.1.2. Sistema Sujeción de Torcha*

Anexo G

#### *7.1.3. Mesa Estructural*

Anexo H

### **Ensamble del Mecanismo**

Anexo I

## CONCLUSIONES

Se seleccionó al Acero A36 por sus características de demanda en el mercado y propiedades mecánicas cumpliendo así mediante cálculos, pruebas de confiabilidad y garantía de los elementos críticos analizados estáticamente y dinámicamente.

La elaboración del diseño planteado cumple los requisitos de diseño estructural de la máquina. Entre estos están considerados dos mecanismos unificados de bajo costo de construcción y mantenimiento. El mecanismo ajusta la torcha Arc Tafa Gun 8830 para el termorociado y permite el desplazamiento en tres direcciones; de la misma forma el mecanismo de sujeción Longworth se acopla de manera eficiente para la rotación y sujeción de ollas en funcionamiento.

Por otra parte el diseño estructural para el sistema de sujeción de torcha cumple los desplazamientos para la calibración de la distancia entre la base de la olla y la punta de la torcha. El mecanismo soporta con tranquilidad las 7 libras de peso de la torcha, y se garantiza la fácil instalación de un step motor para el libre desplazamiento de 1 a 15cm/seg sin sufrir deformaciones ni atascos.

En los requerimientos técnicos TRD se fijó un sistema de sujeción y rotación de 3 estaciones de trabajo para ollas de todo tamaño entre 16 hasta 32cm de diámetro sin defórmalas teniendo un ajuste manual con una base de 200 ollas diarias en una jornada laboral de 8 horas diarias. Sin embargo, con el sistema diseñado de dos estaciones se cumple la meta establecida con tranquilidad debido a que, el tiempo requerido es de 2 minutos en el TRD y con la maquina SSO3/SST1 toma un tiempo de 1 minuto 40 segundos entre el montaje, desmontaje y proceso de termo rociado.

La Potencia requerida para la rotación del mecanismo SSO3 es de 0.6 hp. BKB Maquinaria Industrial distribuidores de motoredutores sugiere un motor 2hp y un reductor con relación 7.14 puesto que los motores de menor capacidad que existen en el mercado no permiten cumplir los requerimientos técnicos preestablecidos.

La vida útil de la máquina depende de los elementos críticos, siendo el eje el elemento crítico principal, se determinó que soporta  $2.75 \times 10^8$  ciclos de vida, es decir posee vida infinita.

Finalmente se puede concluir que para el problema planteado se encontró la solución de un mecanismo de rápido ajuste y sujeción adecuada para las ollas, teniendo como beneficios: un costo de re-manufacturación para ollas de 5 litros de 10 USD por olla, frente a un costo por olla nueva de 45 USD; un costo de construcción de la estructura de 1144 USD y un costo de elementos eléctricos e instalación de 2783 USD, dando un costo total de la máquina de 3944 USD; una utilidad mensual aproximada de 3500 USD al mes, re-manufacturando 200 ollas diarias; un año o menos para la recuperación de la inversión y alta rentabilidad para crear micro-empresas en varias partes del país. Además, la máquina posee las siguientes características de diseño: fácil transportabilidad por ser desmontable; posee dos estaciones de trabajo con una capacidad aproximada de 280 ollas diarias; el tiempo de montaje y desmontaje es de 40 segundos; el Spray Torch Gun se desliza a lo largo del diámetro de la olla con facilidad; descentrado (Punta torcha-base olla) de 2cm para un rociado uniforme en toda la base de la olla y posee una garantía de 5 años

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Beer, F., et al. (2010). *Mecánica de Materiales*, (5ed). México: MacGraw-Hill.
- [2] Budynas, R. & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, (8ed). México: MacGraw-Hill.
- [3] CENELEC. *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Advantlogic Ecuador SA. Cuenca, 2013.
- [4] Corporación Favorita. (2015). SUPERMAXI. Proforma de Ollas de Inducción, Octubre 2015. Quito-Ecuador.
- [5] El Comercio. *El subsidio al gas licuado de petróleo continuara hasta el 2017*. [En línea].  
[Publicado: 20 06 2014] Disponible en:  
<http://www.elcomercio.com/actualidad/subsidio-gas-2017-cocinas-induccion-electricidad.html> [Ultimo acceso: 9 12 2015]
- [6] Giancoli, D. (2009). *Física Para Ciencias e Ingeniería*, (4ed). México: Pearson Pretice Hall.
- [7] Hibbeler, R. (2004). *Mecánica Vectorial Para Ingenieros*, (10ed). México: Pearson Pretice Hall.
- [8] Importcom. (2015). Distribuidor de Aceros Especiales. Proforma, Octubre 2015. Quito-Ecuador.
- [9] INEC. *Resultados del Censo 2010 de población y Vivienda en el Ecuador*. [En línea].  
Disponible en:

[http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculo\\_nacional\\_final.pdf](http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculo_nacional_final.pdf). [Ultimo acceso: 10 11 2015]

[10] Maquinaria Industrial BKB. Distribuidor de Maquinaria Industrial. Asistencia Técnica, Diciembre 2015. Quito-Ecuador.

[11] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. *Balance Energético Nacional 2013*. Quito, 2014.

[12] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. *Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en Sustitución del GLP en el Sector Residencial – PEC*. [En línea]. Disponible en:  
<http://www.cocinasdeinducccion.gob.ec/>. [Ultimo acceso: 10 12 2015]

[13] Sutter, Michael. *Modern Longworth Chuck*. [En línea]. Disponible en:  
<https://trademarks.justia.com/856/76/modern-longworth-chuck-85676288.html>.  
[Ultimo acceso: 10 12 2015]

[14] © 2014 Autodesk, Inc. *Autodesk Inventor Professional 2015*. (2015). [Software].

## ANEXO A: Tipo de Encuesta formulada en Pichincha y

### Cotacachi



Sexo: M F Edad: Ciudad: Provincia: Etnia:

#### *Encuesta para el desarrollo del Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción*

#### No

¿Qué tipo de cocina se utiliza en tu hogar?

- Cocina a gas
- Cocina a leña
- Cocina eléctrica
- Cocina de inducción

¿Estarías dispuesto a cambiar tu cocina por una de inducción?

- Si
- No

¿Desearías que tus ollas de aluminio se puedan utilizar con las cocinas de inducción?

- Si
- No

¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por la re-manufacturar tus ollas de aluminio, sabiendo que comprar una olla de inducción económica vale más de \$20 USD?

- \$3
- \$5
- \$8
- \$10
- \$15

¿Cuál es la marca de ollas más común en tu hogar?

- Umco
- Royal Prestige
- T-fal
- Tramontina
- Imusa
- Kuhn Rikon
- Otros

*Gracias*

## ANEXO B: Ollas de aluminio usadas en los hogares

Siendo **h**: altura y **d**: diámetro:

h:15 cm d:26cm



h:29cm d:40cm



d:29 h:16



d:24,5 h:11,5



d:24,5 ; h: 12



d: 26 ; h:13



d: 25 ; h: 14,5



d: 14,5 ; h:10



d: 19 h: 9,5



d: 25 h: 15



d:25 h:11.5

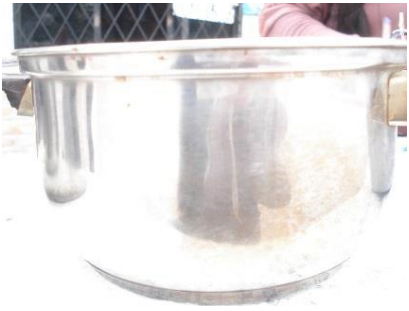


d: 18,5 h: 9





d:23 h:13



d:17 h:8,5



d:24 h:12



d:29 h:21



d:24 h:16,5



d:16,5 h: 10



d:24 h:13



D:22,3 h:12,3



d:31 h:20



d:27,2 h:17,3



d:14,2 h:8



D:28,5 h:22,5



## ANEXO C: FODA SSO

DISEÑO CONCEPTUAL		SSO 1	SSO 2	SSO 3
<b>Importancia</b>	<b>Fortalezas</b>			
4	Rapidez montaje olla	4	6	<b>8</b>
2	Espacio Operación eje	6	6	<b>8</b>
5	Sujeción/Adherencia	20	20	<b>25</b>
2	Dificultad de Construcción	15	20	<b>20</b>
	<b>Oportunidades</b>			
4	Creación microempresa	12	16	<b>20</b>
2	Apoyo empresas Privadas y Estatales	8	8	<b>8</b>
2	Apoyo a la industria nacional	6	6	<b>6</b>
	<b>Debilidades</b>			
4	Complejidad de manejo	12	16	<b>16</b>
4	Vida útil	8	8	<b>8</b>
3	Costo Mantenimiento	9	9	<b>9</b>
	<b>Amenazas</b>			
4	Inexistencia Competencia y prototipos	8	8	<b>8</b>
2	Mal Mantenimiento preventivo	4	4	<b>6</b>
	<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>37</b>	<b>48</b>

**Tabla 15** Análisis FODA para el sistema SSO

**Fuente:** Propia

## ANEXO D: FODA SST

DISEÑO CONCEPTUAL		SST 1	SST 2	SST 3
<b>Importancia</b>	<b>Fortalezas</b>			
5	Desplazamiento para 2 estaciones de ollas y movilidad controlada de la Torcha	25	15	20
5	Acercamiento/ Alejamiento hacia la base de la olla	25	15	25
4	Acoplamiento al SSO	16	12	8
3	Dificultad de Construcción	6	9	9
	<b>Oportunidades</b>			
2	Creación microempresa	8	8	8
3	Apoyo empresas Privadas y Estatales	9	9	9
2	Apoyo a la industria nacional	8	8	8
	<b>Debilidades</b>			
4	Complejidad de manejo	8	12	12
3	Vida útil	6	6	6
3	Costo Mantenimiento	9	9	9
	<b>Amenazas</b>			
2	Inexistencia Competencia y prototipos	8	8	8
3	Mal Mantenimiento preventivo	6	9	9
	<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>43</b>

**Tabla 16** Análisis FODA para el sistema SST

**Fuente:** Propia

## ANEXO E: Patente Longworth

<b>Word Mark:</b>	MODERN LONGWORTH CHUCK
<b>Status/Status Date:</b>	REGISTERED
<b>Serial Number:</b>	85676288
<b>Filing Date:</b>	<a href="#">7/13/2012</a>
<b>Registration Number:</b>	4270132
<b>Registration Date:</b>	1/1/2013
<b>Goods and Services:</b>	Power operated metalworking machine tools, namely, turning tools
<b>Mark Description:</b>	NOT AVAILABLE
<b>Type Of Mark:</b>	TradeMark
<b>Published For Opposition Date:</b>	N/A
<b>Last Applicant/Owner:</b>	<a href="#">Sutter, Michael</a> ; Murfreesboro, TN 37130
<b>Mark Drawing Code:</b>	Standard Character Mark
<b>Design Search:</b>	(NO DATA)
<b>Register Type:</b>	Supplemental
<b>Disclaimer:</b>	("LONGWORTH CHUCK")
<b>Correspondent:</b>	<a href="#">SUTTER, MICHAEL</a>

**Tabla 17** Patente Longworth

**Fuente:** <https://trademarks.justia.com/856/76/modern-longworth-chuck-85676288.html>

## **ANEXO F: Sistema Longworth**

## **ANEXO G: Sistema Sujeción de Torcha**

## **ANEXO H: Mesa Estructural**

## **ANEXO I: Ensamble del Mecanismo**