



**ESPE**

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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR EN  
“V” AUTOMÁTICO DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN  
DE FÁRMACOS SÓLIDOS**

**AUTOR: SOTOMAYOR SALAZAR, FABIÁN ANDRÉS**

**DIRECTOR: ING. QUEZADA, PATRICIO**

**CODIRECTOR: ING. SOTOMAYOR, DANNY**

**SANGOLQUÍ**

**2015**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR EN “V” AUTOMÁTICO DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE FÁRMACOS SÓLIDOS**” fue realizado en su totalidad por Fabián Andrés Sotomayor Salazar, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.

---

**Ing. Patricio Quezada**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Danny Sotomayor**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, Febrero 2015**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR EN “V” AUTOMÁTICO  
DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE FÁRMACOS SÓLIDOS”**

**ELABORADO POR:**

---

**Andrés Sotomayor S.**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

---

**Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica**

**Ing. Francisco Terneus**

**Sangolquí, Febrero 2015**

## DECLARACIÓN

Yo, Sotomayor Salazar Fabián Andrés, declaro que el presente trabajo es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación personal y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento. La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Andrés Sotomayor S.**

**Sangolquí, Febrero 2015**

## AUTORIZACIÓN

Yo, Sotomayor Salazar Fabián Andrés.

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, del proyecto de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MEZCLADOR EN “V” AUTOMÁTICO DE PRECISIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE FÁRMACOS SÓLIDOS” cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad y autoría.

---

**Andrés Sotomayor S.**

**Sangolquí, Febrero 2015**

## DEDICATORIA

*A mis Padres, Fabián y Piedad.*

*Andrés G.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios Padre por su bendición, su presencia en mi vida fortaleció mi espíritu cuando estaba a punto de renunciar y me dio sabiduría para lograr concluir la carrera de Ingeniería. A mis Padres, por enseñarme y brindarme una vida llena de principios y valores, por su apoyo físico y psicológico; su gran ejemplo fue la motivación para seguir adelante y alcanzar mi objetivo de ser profesional. A mi hermana mayor Frishina, quien siempre estuvo apoyándome con su compañía y sus palabras de ánimo en todo momento, al igual que mi hermana menor Cinthya por tener fe en mí y permitirme ser su ejemplo a seguir. Una mención especial al Ing. Víctor Erazo, persona quien me guió y mostró el arte de crear máquinas, de igual manera a mi director Ing. Patricio Quezada por su paciencia, como también a mi codirector Ing. Danny Gotomayor, por su guía y a todos quienes colaboraron para la ejecución del presente proyecto.*

*Andrés S.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iii
DECLARACIÓN.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii

### CAPÍTULO I

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.2.1	Objetivo General .....	2
1.2.2	Objetivos Específicos.....	2
1.3	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.4	ALCANCE DEL PROYECTO.....	4

### CAPÍTULO II

2	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	6
2.1	TIPOS DE MEZCLADORAS INDUSTRIALES.....	6
2.1.1	MEZCLADORES ESTÁTICOS.....	6
2.1.1.1	Mezclador de banda .....	6
2.1.1.2	Mezclador cónico.....	7
2.1.2	MEZCLADORES DE MOVIMIENTO.....	8
2.1.2.1	Mezclador bicónico .....	8
2.1.2.2	Mezclador cilíndrico .....	9
2.1.2.3	Mezclador en “v” .....	9
2.2	SISTEMA DE TRANSMICIÓN DE MOVIMIENTO.....	10
2.2.1	DIRECTO (EJE - CAJA).....	10
2.2.2	POR POLEAS .....	11
2.2.3	POR CADENA.....	11
2.3	ALTERNATIVAS DE CONTROLADOR.....	12
2.3.1	POR CONTACTORES.....	12
2.3.2	POR MICROCONTROLADOR.....	12
2.3.3	POR AUTÓMATA PROGRAMABLE.....	13
2.4	ALTERNATIVAS DE SISTEMAS.....	13

2.4.1	ALTERNATIVAS SISTEMA DE MEZCLADO.....	14
2.4.2	ALTERNATIVAS SISTEMA MOVIMIENTO RECIPIENTE .....	15
2.4.3	ALTERNATIVAS DEL CONTROLADOR.....	16
2.4.4	CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS .....	17
2.4.5	ALTERNATIVAS SISTEMA DE MEZCLADO .....	17
2.4.5.1	Evaluación de cada criterio .....	17
2.4.5.2	Evaluación del criterio de fiabilidad .....	18
2.4.5.3	Evaluación del criterio de manufactura .....	19
2.4.5.4	Evaluación del criterio de costo .....	19
2.4.5.5	Evaluación del criterio de peso .....	20
2.4.5.6	Resultados sistema de mezclado .....	20
2.4.6	ALTERNATIVAS SISTEMA DE MOVIMIENTO.....	20
2.4.6.1	Evaluación de cada criterio .....	20
2.4.6.2	Evaluación del criterio de costo .....	21
2.4.6.3	Evaluación del criterio de fiabilidad .....	22
2.4.6.4	Evaluación del criterio de manufactura .....	22
2.4.6.5	Evaluación del criterio de mantenimiento.....	23
2.4.6.6	Resultados sistema de movimiento .....	23
2.4.7	ALTERNATIVAS DEL CONTROLADOR.....	23
2.4.7.1	Evaluación de cada criterio .....	23
2.4.7.2	Evaluación del criterio de costo .....	24
2.4.7.3	Evaluación del criterio de fiabilidad .....	25
2.4.7.4	Evaluación del criterio de disponibilidad .....	25
2.4.7.5	Evaluación del criterio de mantenimiento.....	26
2.4.7.6	Resultado alternativa del controlador.....	26
2.5	SÍNTESIS DE ALTERNATIVAS.....	27

### **CAPÍTULO III**

3	ESTUDIO DEL DISEÑO .....	28
3.1	CRITERIOS DE DISEÑO.....	28
3.1.1	PARÁMETROS DE DISEÑO .....	29
3.1.2	ANÁLISIS FUNCIONAL .....	31
3.2	DISEÑO DETALLADO.....	31
3.2.1	DISEÑO Y CÁLCULO DEL EJE PRINCIPAL.....	31
3.2.2	DISEÑO DEL RECIPIENTE .....	51
3.2.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE .....	60

3.2.4	DISEÑO DEL SISTEMA PIÑÓN-CADENA .....	66
3.2.5	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CHUMACERAS.....	73
3.2.6	DISEÑO DE LA CHAVETA DEL EJE.....	75

## CAPÍTULO IV

4	IMPLEMENTACIÓN DEL MEZCLADOR .....	79
4.1	SISTEMA MECÁNICO.....	79
4.1.1	SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	79
4.1.1.1	Máquinas y equipos .....	80
4.1.1.2	Herramientas .....	80
4.1.1.3	Instrumentos de medición y verificación .....	81
4.1.1.4	Materia Prima.....	81
4.1.1.5	Materia Normalizada.....	81
4.1.1.6	Elementos a construir .....	82
4.1.2	FABRICACIÓN DE COMPONENTES.....	82
4.1.3	INSTALACIÓN Y MONTAJE .....	98
4.1.3.1	Procedimiento de montaje de cada parte del mezclador .....	98
4.1.3.2	Procedimientos de instalación .....	101
4.2	SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO.....	103
4.2.1	SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	103
4.2.1.1	Motor.....	103
4.2.1.2	Fusible .....	105
4.2.1.3	Disyuntor magneto térmico .....	106
4.2.1.4	Contactador y Relé Térmico .....	108
4.2.2	ALIMENTACIÓN Y MONTAJE ELÉCTRICO .....	110
4.2.2.1	Montaje del tablero eléctrico .....	110
4.2.2.2	Normas del tablero eléctrico .....	112
4.2.2.3	Plano Eléctrico .....	113
4.3	SISTEMA DE CONTROL.....	113
4.3.1	SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL.....	114
4.3.1.1	Sensor.....	114
4.3.1.2	Controlador Lógico Programable .....	116
4.3.2	PROGRAMACIÓN DEL LOGO .....	116
4.3.2.1	Secuencia del funcionamiento del mezclador .....	118
4.3.2.2	Grafcet del programa .....	119

4.3.2.3	Programa Ladder .....	122
4.4	TIEMPOS TOTALES DE DISEÑO E INGENIERÍA.....	126

## **CAPÍTULO V**

5	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	127
5.1	COMPONENTES DEL PRODUCTO FINAL .....	127
5.1.1	COMPONENTES PRINCIPALES EN LA NUTRICIÓN PARENTERAL.....	127
5.1.2	COMPONENTES PRINCIPALES EN LA HARINA.....	128
5.1.2.1	Hidratos de Carbono.....	128
5.1.2.2	Aminoácidos .....	129
5.1.2.3	Minerales (Cenizas).....	129
5.2	PRUEBAS EN EL PRODUCTO FINAL.....	130
5.3	PRUEBAS TÉCNICAS.....	133
5.4	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	134

## **CAPÍTULO VI**

6	ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO.....	135
6.1	PRESUPUESTO GENERAL.....	135
6.2	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	135
6.2.1	COSTOS DIRECTOS.....	135
6.2.2	COSTOS INDIRECTOS .....	138
6.2.3	Costos totales .....	140
6.3	ANÁLISIS FINANCIERO.....	140
6.3.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	141
6.3.1.1	Flujo Neto (FNt) .....	141
6.3.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	143
6.3.3	RELACIÓN COSTO-BENEFICIO (B/C) .....	144
6.4	ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL .....	144

## **CAPÍTULO VII**

7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
7.1	CONCLUSIONES .....	146
7.2	RECOMENDACIONES.....	147
	BIBLIOGRAFÍA.....	148

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 .....	14
Tabla 2 .....	15
Tabla 3 .....	16
Tabla 4 .....	18
Tabla 5 .....	18
Tabla 6 .....	19
Tabla 7 .....	19
Tabla 8 .....	20
Tabla 9 .....	20
Tabla 10 .....	21
Tabla 11 .....	21
Tabla 12 .....	22
Tabla 13 .....	22
Tabla 14 .....	23
Tabla 15 .....	23
Tabla 16 .....	24
Tabla 17 .....	24
Tabla 18 .....	25
Tabla 19 .....	25
Tabla 20 .....	26
Tabla 21 .....	26
Tabla 22 .....	30
Tabla 23 .....	30
Tabla 24 .....	104
Tabla 25 .....	110
Tabla 26 .....	115
Tabla 27 .....	117
Tabla 28 .....	126
Tabla 29 .....	128
Tabla 30 .....	128
Tabla 31 .....	129
Tabla 32 .....	130
Tabla 33 .....	131
Tabla 34 .....	133
Tabla 35 .....	136
Tabla 36 .....	136
Tabla 37 .....	137
Tabla 38 .....	137
Tabla 39 .....	138
Tabla 40 .....	139
Tabla 41 .....	139
Tabla 42 .....	140

Tabla 43.....	142
Tabla 44.....	142

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mezclador de banda .....	7
Figura 2 Mezclador cónico .....	7
Figura 3 Mezclador bicónico .....	8
Figura 4 Mezclador cilíndrico .....	9
Figura 5 Mezclador en “V” .....	10
Figura 6 Conexión eje - caja motoreductora .....	10
Figura 7 Conexión polea – correa.....	11
Figura 8 Conexión piñon - cadena .....	12
Figura 9 Vista frontal mezclador (Recipiente).....	32
Figura 10 Diagrama de cuerpo libre componentes .....	33
Figura 11 Diagrama de cuerpo libre fuerzas.....	34
Figura 12 Diagrama de fuerza cortante y momento flector eje principal.....	35
Figura 13 Dimensiones del eje.....	46
Figura 14 Propiedades físicas del eje principal dado por software .....	49
Figura 15 Centro de masa del recipiente calculado por software .....	50
Figura 16 Centro de masa del eje principal dado por software .....	50
Figura 17 Recipiente con fuerzas aplicadas .....	51
Figura 18 Simulación de expansión del recipiente.....	51
Figura 19 Simulación de compresión del recipiente.....	52
Figura 20 Simulación contracción lateral del recipiente .....	52
Figura 21 Refuerzos frontales del mezclador .....	53
Figura 22 Refuerzos laterales del mezclador.....	54
Figura 23 Dimensionamiento del chavetero.....	54
Figura 24 Dimensión de corte (elipse) dada por software.....	56
Figura 25 Dimensionamiento de una elipse.....	56
Figura 26 Estructura del mezclador .....	60
Figura 27 Cargas sobre estructura (chumacera) .....	61
Figura 28 Diagrama de cuerpo libre fuerzas.....	62
Figura 29 Diagrama de fuerza cortante y momento flector estructura .....	63
Figura 30 Aplicación de fuerzas a la estructura por software .....	65
Figura 31 Simulación factor de seguridad en la estructura por software ....	65
Figura 32 Distancia entre centros comprobada por software.....	70
Figura 33 Comprobación de la distancia hallada analíticamente .....	70
Figura 34 Dimensionamiento de la chaveta.....	75
Figura 35 Proceso de doblado de puntas .....	94
Figura 36 Proceso de rolado de la plancha acero.....	94
Figura 37 Proceso de prensado de tapas para recipiente .....	95
Figura 38 Proceso de corte de tubo cuadrado para estructura.....	95

Figura 39	Proceso final de prensado de fondos y tapas .....	96
Figura 40	Proceso de perforado de fondos del recipiente .....	96
Figura 41	Remoción de viruta de un recipiente .....	97
Figura 42	Soldado del recipiente del mezclador .....	97
Figura 43	Mecanismo de movimiento del motoreductor. ....	104
Figura 44	Curva característica fusible tipo G .....	106
Figura 45	Curva característica de disyuntor magneto térmico tipo C.....	108
Figura 46	Contactador y relé térmico.....	109
Figura 47	Distribución tablero eléctrico (internamente).....	111
Figura 48	Distribución tablero eléctrico (externamente).....	111
Figura 49	Sensor Inductivo .....	114
Figura 50	Programador Lógico Programable LOGO.....	116
Figura 51	Diferencias en el mezclado de sólidos.....	130
Figura 52	Retención de la mezcla vs tiempo en muestras.....	132
Figura 53	Mezclado óptimo de sustancias .....	133

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1	Proceso manufactura del recipiente .....	83
Diagrama 2	Proceso manufactura fondos (tapas soldadas en recipiente)...	84
Diagrama 3	Proceso manufactura de tapas.....	85
Diagrama 4	Proceso manufactura en refuerzos frontales .....	86
Diagrama 5	Proceso manufactura en refuerzos laterales .....	87
Diagrama 6	Proceso manufactura del eje principal.....	88
Diagrama 7	Proceso manufactura del eje motoreductor .....	89
Diagrama 8	Proceso manufactura de estructura.....	90
Diagrama 9	Proceso manufactura de estructura (continuación) .....	91
Diagrama 10	Proceso manufactura del tablero eléctrico .....	92
Diagrama 11	Proceso manufactura del tablero eléctrico (continuación) .....	93
Diagrama 12	Flujograma de ejecución de procedimientos mecánicos .....	102
Diagrama 13	Graficet con descripción general del proceso. ....	120
Diagrama 14	Graficet con descripción operativa del proceso.....	121

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A ENSAYOS A LA TENSIÓN ALGUNOS METALES.
- ANEXO B ENSAYOS A LA TENSIÓN METALES Y FACTORES DE CONFIABILIDAD.
- ANEXO C SENSIBILIDAD A LA MUESCA ACEROS Y EJE REDONDO CON FILETE EN EL HOMBRO (TORSIÓN Y FLEXIÓN)
- ANEXO D CARACTERISTICAS MECÁNICAS PERFIL CUADRADO HUECO.
- ANEXO E PASOS DE CADENAS.
- ANEXO F FACTORES PARA CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO.
- ANEXO G RODAMIENTO Y CHUMACERA DEL CATALOGO SKF
- ANEXO H SELECCIÓN CHAVETA Y CHAVETERO
- ANEXO I DIAGRAMA ELÉCTRICO
- ANEXO J ESPECIFICACIONES DE MOTORES
- ANEXO K SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS
- ANEXO L CATEGORIA DE SERVICIO MOTORES ASINCRONOS
- ANEXO M MANUAL DE OPERACIÓN
- ANEXO N PLANOS PARA CONSTRUCCIÓN

## RESUMEN

El mezclador automático en “V” tiene como objetivo realizar de manera óptima y eficaz la mezcla de diferentes tipos de polvos o sólidos, cuyo tiempo de mezclado puede ser regulado según sea la necesidad, este proceso se debe realizar de forma automática para optimizar el tiempo de producción y mejorar también la calidad del producto final. Para la construcción de la máquina se estudian los sistemas de mezclado tanto estáticos como de movimiento; se obtienen alternativas para el sistema de transmisión de movimiento al igual que los tipos de control usados para gobernar un proceso y se evalúa cada una de las alternativas en base al método ordinal corregido de criterios ponderados. El diseño inicial está basado en los criterios y necesidades de producción; en el transcurso del diseño se realizan cálculos de cada uno de los sistemas eléctricos al igual que mecánicos de la máquina, incluyendo la simulación de los más importantes. Posteriormente se realiza la selección de componentes en base a los cálculos obtenidos junto con la implementación de los mismos. Una vez realizada la construcción e implementación del mezclador industrial se comprueba el correcto mezclado del producto final, produciendo varias muestras las cuales son sometidas a pruebas de tamizado, comprobando homogeneidad. Finalmente se muestran costos directos, indirectos, análisis financiero así como también conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

**PALABRAS CLAVES: SÓLIDOS, DISEÑO, AUTOMÁTICO, HOMOGENEIDAD, TAMIZADO.**

## **ABSTRACT**

The automatic mixer "V" aims at doing optimal mixing and effective are different types of powders or solids, mixing time can be regulated according to need, this process should be performed automatically to optimize the production time and also improve the quality of the final product. In this investigation for the machine construction, the mixing systems both static and motion are studied; also alternatives for the movement transmission system, as well as the control types used for govern a process and evaluate each of the alternative based on the ordinal method corrected of weighted criteria. The initial design is based on the initial criteria and production needs; all components are calculated for electrical and mechanics systems of the machine, including the simulation of the most important analysis. Subsequently component selection based on the estimates obtained with the implementation thereof is made. After the construction and implementation of industrial mixer should be checked proper mix of the final product, testing homogeneity on samples help us for detection of erroneous mixtures. Finally would be obtained direct and indirect cost, financial analysis as well as conclusions and recommendations of this project.

**KEYWORDS: DUST, DESIGN, AUTOMATIC, HOMOGENEITY, SIFTING.**

## **CAPÍTULO I**

### **1 INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Las mezcladoras han existido y se han usado desde que el hombre tuvo uso de razón y pensamiento, dicho artefacto se inventó para facilitar esfuerzo y trabajo con el fin de revolver sustancias y alimentos para satisfacer sus necesidades.

Inicialmente se utilizaba la mano, al avanzar la civilización el hombre evolucionó en todo sentido y por supuesto las mezcladoras no fueron la excepción; se empezó usando componentes mecánicos para hacer girar palas, aspas o hélices, realizando el trabajo pesado y usando poca fuerza por medio del mecanismo obtuvo los productos específicos que necesitaba.

Ya con el descubrimiento de la electricidad, las mezcladoras son aún más fáciles de manejar, gracias al uso de un motor eléctrico que realiza el trabajo. En todo tipo de industria existen numerosas herramientas que ayudan a facilitar las tareas, una de estas herramientas son las mezcladoras.

En la actualidad éstas son utilizadas en la mayoría de industrias tales como: Alimenticia, Farmacéutica, Química, Petroquímica y Plásticos con el propósito de ayudar a los procesos industriales en la homogenización de componentes sólidos y líquidos para la elaboración de productos. Gracias al gran avance tecnológico de los últimos años se ha modernizado la forma de diseño así como también el control y construcción de la maquinaria industrial, conservando los mismos principios de funcionamiento pero mejorando las técnicas de estudios de esfuerzos, transmisiones de movimiento, análisis de flexiones, etc.

Por tal motivo el presente trabajo pretende innovar la forma de diseño de un mezclador en “V” demostrando tanto de manera teórica así como computacional el diseño óptimo del mismo mediante un armazón móvil, prediciendo errores de funcionamiento, errores de construcción, simulando fuerzas, cargas y esfuerzos, escogiendo componentes bajo catálogos y normas, para así optimizar tiempos de fabricación como también recursos económicos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un mezclador en “V” automático de precisión para la fabricación de polvos o sólidos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Analizar los subsistemas que conforman el equipo y seleccionar las mejores alternativas.
- Integrar los subsistemas Mecánicos, Electrónicos y de Control.
- Fabricar la máquina con materiales resistentes y de calidad, que sean capaces de resistir el uso repetido, permitan una fácil limpieza y que pueda funcionar en diferentes tipos de ambiente.
- Contribuir a la industria ecuatoriana con el procesamiento y producción de maquinaria automática para ayudar al crecimiento de la misma.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad, gracias a las políticas renovadas del gobierno Ecuatoriano, se están creando microempresas guiadas por emprendedores, mismos que necesariamente tienen que incorporar maquinaria industrial para la realización su producto. Sin embargo, para obtener alta productividad cumpliendo estándares de calidad es necesario llevar un estricto control en cantidades, proporciones, higiene y normas, las cuales se lograrán adquiriendo equipos automáticos de precisión.

Lamentablemente aún no disponemos de esta tecnología en el país para tales efectos, lo cual provoca importar maquinaria; invirtiendo exuberantes cantidades de dinero para satisfacer sus necesidades.

La finalidad de este proyecto es diseñar una máquina automática capaz de mezclar polvos finos, construir el mencionado modelo bajo las normas de producción internacionales, disminuir el desperdicio de recursos y elevar el rendimiento de producción para lograr estar a la altura del mercado, así como también de la competencia.

Se tiene un sinnúmero de aplicaciones en el ámbito alimenticio se puede elaborar harina de confitería, cremas, café, gelatina, cacao y leche en polvo, chocolate, flan y pudín en polvo, papilas infantiles, féculas; en el ámbito químico pigmentos, colorantes, detergente, pesticidas, herbicidas, abonos artificiales, carbón de electrodos; en el campo farmacéutico varias mezclas de soluciones y/o recetas y finalmente el ámbito cosmético polvos para la piel, maquillaje, etc.

Dicho así, surge entonces en la elaboración de productos sólidos, contar con un adecuado proceso de mezclado que proporcione distribución uniforme de los principios activos y excipientes presentes en determinada formulación y, por lo tanto, se deben realizar ensayos para asegurar una adecuada

caracterización de la mezcla y proceso de mezclado. Si el proceso de mezclado es deficiente; ya sea por escaso o excesivo tiempo de mezclado, malas propiedades de flujo o segregación de la mezcla, puede ocurrir incumplimiento de las especificaciones de calidad y, por lo tanto, la calidad y efectividad de la mezcla obtenida resulta disminuida y los costos de manufactura, tiempos de producción y análisis aumentados debido al reproceso del producto.

En cuanto a la promoción y comercialización del producto puede verse retrasada o cancelada. Por esta razón, resulta esencial tanto para el desarrollo como para la producción de formas fármaco-alimenticias sólidas la caracterización de las propiedades fundamentales de los componentes y sobre todo un adecuado proceso de mezclado involucrado.

#### **1.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

De manera generalizada con el éxito de este proyecto, se beneficiaran de manera directa industrias fármaco-alimenticias dedicadas al procesamiento de polvos finos tales como harina, azúcar, leche en polvo, vitaminas, colorante, de igual manera, el beneficio indirecto será hacia los consumidores de los productos desarrollados por mencionadas empresas.

En la actualidad, varias micro y mediana empresas se dedican a la producción de recetas en polvos de su propia autoría, lo que implica necesariamente que este trabajo de mezcla sea realizado por sí mismos; el problema fundamental es la forma de preparación de mencionadas mezclas, ya que se la realiza de manera artesanal, lo cual resulta ser bastante tedioso, además de tener muchos desperdicios de insumos al igual que tiempos largos de producción, lo cual a la larga se ve reflejado en las ganancias del comerciante.

Mediante la investigación y creación de este proyecto, se estima obtener un mejor tiempo de producción, control en el producto, mezcla homogénea, eliminación de pérdidas de materia prima y sobre todo aumento en la calidad del producto final.

## **CAPÍTULO II**

### **2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

#### **2.1 TIPOS DE MEZCLADORAS INDUSTRIALES**

Se puede definir a un buen mezclador como aquel que mezcle todo el lote del producto de forma suave, además de poseer algunas características en cuanto a la limpieza, funcionalidad, movilidad, mantenimiento y consumo de energía. Podemos seleccionar mezcladoras industriales según el proceso de mezcla como se presentan a continuación.

##### **2.1.1 MEZCLADORES ESTÁTICOS**

Su principio de funcionamiento está basado en la rotación del tornillo sin fin que atraviesa el recipiente donde está alojado el material. No requiere control de un autómata programable, en la mayoría de casos se realiza control solamente con contactores o switch.

###### **2.1.1.1 Mezclador de banda**

Su diseño consiste de navajas de agitación horizontales, posee un canal horizontal en forma de "U", en donde se recolecta material desde los extremos hacia el centro y viceversa logrando una mezcla convexa.

Tienen un buen resultado en la mezcla de viscosidad y de cohesión de polvo con líquido. Posee mayor aplicación en la mezcla de productos húmedos. El proceso de dosificado es muy complejo por la forma horizontal de la máquina.



Figura 1 Mezclador de banda

Fuente: (Lleal, 2015)

### 2.1.1.2 Mezclador cónico

Posee un recipiente cónico invertido provisto internamente de un tornillo sinfín que gira circularmente de forma paralela a la bisectriz del cono. El mecanismo de funcionamiento crea corrientes de transporte para el producto, asegurando que todo el material entre dentro del campo de acción del tornillo sinfín.

El único tipo de control que posee es un timer analógico, en el cual se coloca el tiempo de mezclado (giro del motor); el proceso de descarga del producto es complicado, dado que se queda atrapado en las aspás del tornillo sin fin.



Figura 2 Mezclador cónico

Fuente: (Lleal, 2015)

## 2.1.2 MEZCLADORES DE MOVIMIENTO

Su principio de funcionamiento está basado en la rotación del recipiente que contiene el material aprovechando la fuerza de gravedad.

Si su velocidad de rotación es muy rápida, por fuerza centrífuga el polvo se mantendrá en los extremos de la carcasa evitando el mezclado, por el contrario si su velocidad de rotación es muy lenta no se producirá volcamiento de producto de forma intensiva.

### 2.1.2.1 Mezclador bicónico

Gira a una velocidad crítica, y dado su forma compleja no hay necesidad de usar palas deflectoras ni algún dispositivo extra para obtener un mezclado homogéneo.

Principalmente se usa para mezclas no intensivas, homogeneización a gran escala y en todo proceso donde requieran un mezclado de sólidos suave, evitando aglomeración de producto y rotura de partículas. En este tipo de mezclador ya se usa un autómata programable para el control.



Figura 3 Mezclador bicónico

Fuente: (Lleal, 2015)

### 2.1.2.2 Mezclador cilíndrico

Consiste de una carcasa cilíndrica que se puede rotar a lo largo de su eje para producir flujo cruzado del material. Con la adición de obstáculos dentro de la carcasa se incrementará la acción de mezclado.

Estos modelos producen poca eficiencia en el mezclado, misma que se podría aumentar inclinando el recipiente y el eje de rotación, sin embargo es de difícil limpieza por su naturaleza de construcción. Posee un control inteligente necesario para poder detener el trabajo y realizar la descarga de manera diagonal por gravedad.



Figura 4 Mezclador cilíndrico

Fuente: (Tianfeng, 2015)

### 2.1.2.3 Mezclador en “v”

Por su forma, crea en su interior corrientes axiales que separan y unen el material, que en conjunto a la acción radial, da como resultado una mezcla rápida y homogénea sin necesidad de implementar algún dispositivo mecánico, sin embargo se podrían adicionar para mejorar procesos. Además, poseen altas capacidades, bajo consumo de energía, son de fácil mantenimiento y operación. Este equipo es el más preciso de los mezcladores de carcasa móvil, posee un controlador por medio de autómatas programables.



Figura 5 Mezclador en "V"

Fuente: (DirectIndustry, 2015)

## 2.2 SISTEMA DE TRANSMICIÓN DE MOVIMIENTO

### 2.2.1 DIRECTO (EJE - CAJA)

Un sistema que no es muy común, ya que se expone a la caja reductora a sufrir daños considerables debido a la fuerza propia que genera hacia el eje (inercia del recipiente), también es muy complejo obtener una correcta relación de concentricidad entre el eje y el agujero de la caja. Es recomendable dejarlo como última opción, dado que existen otros mecanismos más eficientes como sistema de poleas, sistema de cadena y/o engranajes.

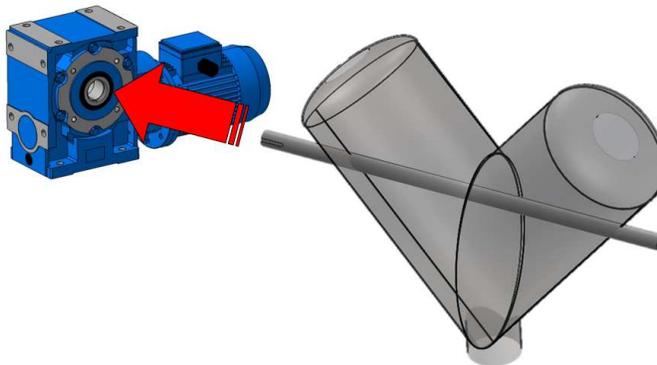


Figura 6 Conexión eje - caja motoreductora

### 2.2.2 POR POLEAS

Se trata de dos poleas acopladas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre árboles que se encuentran a una cierta distancia. La fuerza se transmite por efecto del rozamiento que ejerce la correa sobre la polea. El proceso de transmisión del movimiento con correa es un proceso de elevado rendimiento (95-98%). Aplicaciones industriales pequeñas. No es muy recomendable para cargas altas, suele patinar la correa en la polea al estar hecha de caucho



Figura 7 Conexión polea – correa

### 2.2.3 POR CADENA

Conjunto de piñones junto a una cadena con el fin de transmitir desplazamiento radial y fuerza a cierta distancia. El acoplamiento entre cadena y dientes se efectúa sin deslizamiento y engranan uno a uno.

Se emplea cuando se tienen que transmitir grandes potencias con relaciones de transmisión reducidas. Puede transmitir más potencia que la de correa. Aplicaciones industriales robustas. Mínimo desgaste de sus componentes.

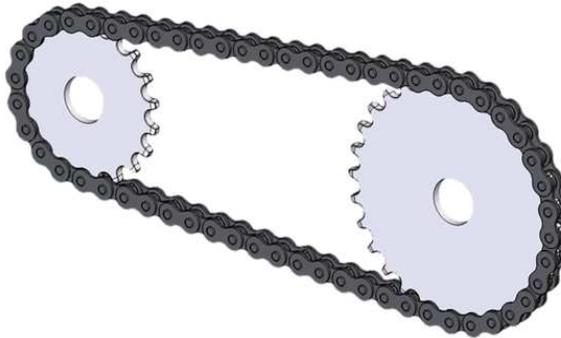


Figura 8 Conexión piñon - cadena

## **2.3 ALTERNATIVAS DE CONTROLADOR**

### **2.3.1 POR CONTACTORES**

Es el control más básico de todos, la base de los circuitos de control modernos. Eran usados en las primeras máquinas semiautomáticas que se ofreció en el mercado y estaban conformadas por elementos básicos de control como relés, temporizadores, interruptores, etc. Ocupan gran espacio físico por los muchos componentes que se necesitan para un control, además no eran precisos, de difícil mantenimiento por el excesivo cableado que se utiliza.

### **2.3.2 POR MICROCONTROLADOR**

Un micro fue diseñado para disminuir costos y el consumo de energía de un sistema en particular. Posee memorias, unidades de entradas y salidas es muy efectivo en relación a un control por contactos. Sin embargo, el mayor inconveniente de este controlador son las pequeñas corrientes que entrega siendo necesario adicionar circuitos de potencia, provocando aumento de costos y de tiempo en el control.

### **2.3.3 POR AUTÓMATA PROGRAMABLE**

Los PLC'S han sido concebidos para trabajar en un ambiente industrial, manejando procesos secuenciales en tiempo real. En cuanto a costos se puede variar dependiendo la marca y el número de entradas/salidas que se quiera usar, ahorran significativamente cableado, circuitos de potencia y sin duda alguna optimización de tiempo para poner en marcha cualquier proceso automatizado.

De manera sencilla se le puede integrar una interfaz HMI, dado que posee protocolos de comunicación simple y versatilidad para manejar varios procesos a la vez.

### **2.4 ALTERNATIVAS DE SISTEMAS**

Se presentan a continuación alternativas para cada uno de los sistemas que debe tener la mezcladora:

- Sistema de mezclado
- Sistema de giro
- Controlador

Para cada uno de los mencionados sistemas es necesario tener en cuenta cuáles son sus beneficios así como también sus inconvenientes; se procederá a calificar cada alternativa individualmente para concluir la mejor opción a implementar en cada sistema y tener la mejor eficiencia de mezclado en la máquina industrial.

## 2.4.1 ALTERNATIVAS SISTEMA DE MEZCLADO

Tabla 1

Alternativas de mezclado

SISTEMA DE MEZCLADO				
	Nombre	Característica	Ventajas	Inconvenientes
Alternativa A	Mezclador bicónico	Compuesto por dos conos truncados en sus extremos y un cilindro en el centro.	<p>Construcción de mediana complejidad.</p> <p>Flexible en carga y descarga por los dos conos</p> <p>Mediana vida útil de elementos giratorios por su baja velocidad</p>	<p>Capacidad máxima útil del 50% de su capacidad total</p> <p>Para movimiento requiere motor de gran potencia debido a su masa rotativa</p>
Alternativa B	Mezclador cilíndrico	Este sistema está conformado por un cilindro o tambor, con tapas en la parte superior e inferior.	<p>Fácil construcción</p> <p>Mínima flexibilidad en carga y descarga en función al diseño se coloca compuerta</p> <p>Larga vida útil de elementos giratorios por su baja velocidad</p>	<p>Capacidad máxima útil del 60% de su capacidad total</p> <p>Para movimiento requiere motor de mediana potencia debido a su masa rotativa</p>
Alternativa C	Mezclador en "V"	Se compone por dos cilindros cortados y unidos a 90°.	<p>Fácil construcción</p> <p>Gran flexibilidad en carga y descarga tiene 2 entradas superiores y 1 salida inferior</p> <p>Larga vida útil de elementos giratorios por su baja velocidad</p>	<p>Capacidad máxima útil del 50% de su capacidad total</p> <p>Para movimiento requiere motor de mediana potencia debido a su masa rotativa</p>

## 2.4.2 ALTERNATIVAS SISTEMA MOVIMIENTO RECIPIENTE

Tabla 2

Alternativas transmisión de movimiento

SISTEMA DE TRANSMICIÓN DE MOVIMIENTO				
	Nombre	Característica	Ventajas	Inconvenientes
Alternativa A	Directo Eje - Caja	Ingreso directo del eje del mezclador en la caja reductora ortogonal del motor	No hay Ruido	Difícil montaje Para mantenimiento hay que desarmar todo el sistema Riesgo de concentricidad y alineamiento No pueden trabajar en ambientes corrosivos (caja reductora expuesta)
Alternativa B	Por Poleas	Por medio de una correa y una o más poleas se transmite fuerza y velocidad	Barato Bajo ruido Permiten conectar ejes con disposiciones geométricas variadas	Presentan deslizamientos (están limitadas en cuanto a los esfuerzos a transmitir) Necesitan cambio periódico de las correas Hay que tensar las correas periódicamente No pueden trabajar en ambientes corrosivos (las correas se degradan)
Alternativa C	Por Cadena	Transmite fuerza radial por medio de piñones y cadena	No hay deslizamiento Larga vida y duración Pueden trabajar en ambientes corrosivos Coste intermedio entre correas y engranajes	Necesitan tensado y lubricación periódicos Nivel moderado de ruido

### 2.4.3 ALTERNATIVAS DEL CONTROLADOR

Tabla 3

Alternativas de Controlador

SISTEMA DE CONTROL				
	Nombre	Característica	Ventajas	Inconvenientes
Alternativa A	Por contactores	Sistema deficiente basado en contactores electromecánicos	Flexibilidad en manejo de corrientes altas, medias y bajas  Trabaja en condiciones ruidosas	Difícil mantenimiento por condiciones de cableado  Susceptible a fallos de conexión  Encontrar fallos en el sistema es demasiado complejo
Alternativa B	Por micro controlador	Buen control por programación de ordenes pero no está diseñado para aplicaciones industriales	Bajo costo  Gran stock de repuestos en el mercado local	Requiere muchos complementos electrónicos para trabajar con potencia Susceptible a daños por descargas eléctricas  Requiere computador para su programación
Alternativa C	Por PLC	Excelente control por programación, está diseñado para trabajar en ambientes industriales	Mínimo tiempo en implementación y modificación de control  Se puede integrar el panel de operador con mayor nivel y facilidad  Posee gran número de entradas/salidas que no se ven afectadas por la potencia	Elevado costo

## **2.4.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS**

Una selección adecuada de cada alternativa se dará utilizando el método ordinal corregido de criterios ponderados. El método consiste en la realización de una tabla en la cual cada criterio (o solución) se confronta con los restantes criterios, según el sistema a ser evaluado (dependiendo la necesidad, cada sistema puede variar tanto en cantidad y tipo de criterios).

A continuación de manera general se presentan los criterios dentro de los cuales se evaluara cada sistema, según su necesidad:

- Costo
- Fiabilidad
- Manufactura
- Peso
- Disponibilidad
- Mantenimiento

Realizado este procedimiento, si el parámetro de las filas, es superior (o mejor; >), que el de la columna se califica con 1 punto; si tiene el mismo grado de importancia (=) tiene calificación de 0.5 y cuando sea inferior (o peor; <) se califica con 0 puntos.

Finalmente, la elección en las distintas alternativas resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso que se le dio a cada criterio.

## **2.4.5 ALTERNATIVAS SISTEMA DE MEZCLADO**

### **2.4.5.1 Evaluación de cada criterio**

Los criterios de valoración más determinantes para este sistema son:

- Costo
- Fiabilidad
- Manufactura
- Peso

Tabla 4

Evaluación del peso específico de cada criterio en sistema de mezclado

Fiabilidad > Manufactura > Costo = Peso						
Criterio	Fiabilidad	Manufactura	Costo	Peso	$\sum +1$	Ponderación
Fiabilidad	X	1	1	1	4	0,4
Manufac.	0	X	1	1	3	0,3
Costo	0	0	X	0,5	1,5	0,15
Peso	0	0	0,5	X	1,5	0,15
Suma					10	1,0

### 2.4.5.2 Evaluación del criterio de fiabilidad

Tabla 5

Evaluación del peso específico del criterio fiabilidad

M. en "V" > M. Cilíndrico = M. Bicónico					
Peso	M. Bicónico	M. Cilíndrico	M. en "V"	$\sum +1$	Ponderación
M. Bicónico	X	0,5	0	1,5	0,25
M. Cilíndrico	0,5	X	0	1,5	0,25
M. en "V"	1	1	X	3	0,5
Suma				6	1,0

### 2.4.5.3 Evaluación del criterio de manufactura

Tabla 6

Evaluación del peso específico del criterio manufactura

M. Bicónico = M. en "V" > M. Cilíndrico					
Peso	M. Bicónico	M. Cilíndrico	M. en "V"	$\sum +1$	Ponderación
M. Bicónico	X	1	0,5	2,5	0,4
M. Cilíndrico	0	X	0	1	0,2
M. en "V"	0,5	1	X	2,5	0,4
Suma				6	1,0

### 2.4.5.4 Evaluación del criterio de costo

Tabla 7

Evaluación del peso específico del criterio costo

M. Bicónico = M. en "V" > M. Cilíndrico					
Peso	M. Bicónico	M. Cilíndrico	M. en "V"	$\sum +1$	Ponderación
M. Bicónico	X	1	0,5	2,5	0,4
M. Cilíndrico	0	X	0	1	0,2
M. en "V"	0,5	1	X	2,5	0,4
Suma				6	1,0

### 2.4.5.5 Evaluación del criterio de peso

Tabla 8

Evaluación del peso específico del criterio peso

M. en "V" > M. Cilíndrico > M. Bicónico					
Peso	M. Bicónico	M. Cilíndrico	M. en "V"	$\sum +1$	Ponderación
M. Bicónico	X	0	0	1	0,2
M. Cilíndrico	1	X	0	2	0,3
M. en "V"	1	1	X	3	0,5
Suma				6	1,0

### 2.4.5.6 Resultados sistema de mezclado

Tabla 9

Conclusión de la selección sistema de mezclado

Conclusión	Fiabilidad	Manufact.	Costo	Peso	$\sum$	Ponderación
M. Bicónico	0,1	0,125	0,0625	0,025	0,31	2
M. Cilíndrico	0,1	0,05	0,025	0,05	0,23	3
M. en "V"	0,2	0,125	0,0625	0,075	0,46	1

Los resultados establecen que utilizar un mezclador en "V" es la opción adecuada debido a las ventajas que tiene con respecto a los otros recipientes.

## 2.4.6 ALTERNATIVAS SISTEMA DE MOVIMIENTO

### 2.4.6.1 Evaluación de cada criterio

Los criterios de valoración más determinantes para este sistema son:

- Costo
- Fiabilidad
- Manufactura
- Mantenimiento

Tabla 10

Evaluación del peso específico de cada criterio en sistema de movimiento

Fiabilidad > Costo > Mantenimiento > Manufactura						
Criterio	Costo	Fiabilidad	Manufact.	Mant.	$\sum +1$	Ponderación
Costo	X	0	1	1	3	0,3
Fiabilidad	1	X	1	1	4	0,4
Manufact.	0	0	X	0	1	0,10
Mant.	0	0	1	X	2	0,20
Suma					10	1,0

#### 2.4.6.2 Evaluación del criterio de costo

Tabla 11

Evaluación del peso específico del criterio costo

Eje - Caja > Por cadena > Por poleas					
Peso	Eje - Caja	Por Poleas	Por Cadena	$\sum +1$	Ponderación
Eje - Caja	X	1	1	3	0,50
Por Poleas	0	X	0	1	0,17
Por Cadena	0	1	X	2	0,3
Suma				6	1,0

### 2.4.6.3 Evaluación del criterio de fiabilidad

Tabla 12

Evaluación del peso específico del criterio fiabilidad

Por cadena > Por poleas > Eje – Caja					
Peso	Eje - Caja	Por Poleas	Por Cadena	$\sum +1$	Ponderación
Eje - Caja	X	0	0	1	0,2
Por Poleas	1	X	0	2	0,3
Por Cadena	1	1	X	3	0,5
<b>Suma</b>				<b>6</b>	<b>1,0</b>

### 2.4.6.4 Evaluación del criterio de manufactura

Tabla 13

Evaluación del peso específico del criterio manufactura

Por cadena = Por poleas > Eje – Caja					
Peso	Eje - Caja	Por Polea	Por Cadena	$\sum +1$	Ponderación
Eje - Caja	X	0	0	1	0,2
Por Poleas	1	X	0,5	2,5	0,4
Por Cadena	1	0,5	X	2,5	0,4
<b>Suma</b>				<b>6</b>	<b>1,0</b>

### 2.4.6.5 Evaluación del criterio de mantenimiento

Tabla 14

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Por cadena = Eje - Caja > Por poleas					
Peso	Eje - Caja	Por Poleas	Por Cadena	$\sum_{+1}$	Ponderación
Eje - Caja	X	1	0,5	2,5	0,4
Por Poleas	0	X	0	1	0,2
Por Cadena	0,5	1	X	2,5	0,4
			Suma	6	1,0

### 2.4.6.6 Resultados sistema de movimiento

Tabla 15

Conclusión de la selección sistema de movimiento

Conclusión	Costo	Fiabilidad	Manufac.	Mant.	$\sum$	Ponderación
Eje - Caja	0,15	0,08	0,02	0,08	0,32	2
Por Poleas	0,05	0,12	0,04	0,04	0,25	3
Por Cadena	0,1	0,20	0,04	0,08	0,42	1

Se establece que la opción por medio de cadena y piñón es el recomendable en comparación a los otros sistemas de movimiento.

## 2.4.7 ALTERNATIVAS DEL CONTROLADOR

### 2.4.7.1 Evaluación de cada criterio

Los criterios de valoración más determinantes para este sistema son:

- Costo
- Fiabilidad
- Disponibilidad
- Mantenimiento

Tabla 16

Evaluación del peso específico del criterio costo

Fiabilidad > Costo > Disponibilidad = Mantenimiento						
Criterio	Costo	Fiabilidad	Disp.	Mant.	$\sum_{+1}$	Ponderación
Costo	X	0	1	1	3	0,3
Fiabilidad	1	X	1	1	4	0,4
Disponibilidad	0	0	X	0,5	1,5	0,15
Mant.	0	0	0,5	X	1,5	0,15
Suma					10	1,0

#### 2.4.7.2 Evaluación del criterio de costo

Tabla 17

Evaluación del peso específico del criterio fiabilidad

Por contactores > Por micro > Por PLC					
Peso	Por contactores	Por Micro	Por PLC	$\sum_{+1}$	Ponderación
Por contactores	X	1	1	3	0,50
Por Micro	0	X	1	2	0,33
Por PLC	0	0	X	1	0,2
Suma				6	1,0

### 2.4.7.3 Evaluación del criterio de fiabilidad

Tabla 18

Evaluación del peso específico del criterio disponibilidad

Por PLC > Por micro > Por contactores					
Peso	Por contactores	Por Micro	Por PLC	$\sum_{+1}$	Ponderación
Por contactores	X	0	0	1	0,2
Por Micro	1	X	0	2	0,3
Por PLC	1	1	X	3	0,5
			Suma	6	1,0

### 2.4.7.4 Evaluación del criterio de disponibilidad

Tabla 19

Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento

Por PLC > Por micro = Por contactores					
Peso	Por contactor	Por Micro	Por PLC	$\sum_{+1}$	Ponderación
Por contactores	X	0,5	0	1,5	0,3
Por Micro	0,5	X	0	1,5	0,3
Por PLC	1	1	X	3	0,5
			Suma	6	1,0

### 2.4.7.5 Evaluación del criterio de mantenimiento

Tabla 20

Evaluación alternativa de mezclado

Por PLC = Por micro > Por contactores

Peso	Por contactor	Por Micro	Por PLC	$\sum_{+1}$	Ponderación
Por contactor	X	0	0	1	0,2
Por Micro	1	X	0,5	2,5	0,4
Por PLC	1	0,5	X	2,5	0,4
			Suma	6	1,0

### 2.4.7.6 Resultado alternativa del controlador

Tabla 21

Conclusión de la selección del controlador

Conclusión	Costo	Fiabilidad	Disp.	Mant.	$\sum$	Ponderación
Por contac.	0,15	0,07	0,04	0,025	0,28	3
Por Micro	0,1	0,13	0,04	0,0625	0,33	2
Por PLC	0,05	0,20	0,08	0,0625	0,39	1

La alternativa por PLC es la mejor situada por lo que se establece la más adecuada para instalar en el mezclador.

## 2.5 SÍNTESIS DE ALTERNATIVAS

En conclusión los sistemas a ser utilizados son:

- El mezclado el sistema el recipiente en forma de “V”.
- El movimiento del recipiente el sistema de piñones con cadena.
- El control que gobernará el mezclador será un controlador lógico programable.

## CAPÍTULO III

### 3 ESTUDIO DEL DISEÑO

#### 3.1 CRITERIOS DE DISEÑO

Se define una mezcla como el proceso en el que dos o más sólidos diferentes se homogenizan. Dependiendo las propiedades de los materiales usados en una mezcla, el equipo y las condiciones de operación se garantiza la eficiencia del mismo.

Por medio de la varianza de la media o la desviación estándar se puede hallar la medida del grado de homogeneidad de dos o más polvos. El tiempo necesario para lograr una mezcla homogénea (estandarización del proceso de mezclado) se obtuvo al realizar un prototipo casero y experimentar con muestreos periódicos en varios puntos del lecho del mezclador, a ciertos intervalos de tiempo hasta obtener la proporción constante deseada.

Es también importante hacer referencia a la aplicación que se le dará a este proyecto. En ocasiones no se puede comer nada debido a una enfermedad o por haberse sometido a una cirugía, cuando esto ocurre, y se es incapaz de comer, la nutrición se puede proporcionar en una forma diferente; el método preciso a usar se llama "Nutrición Parenteral" y puede ser proporcionada a los infantes y niños, así como a los adultos.

Se puede vivir bien con nutrición parenteral por tanto tiempo como se requiera. Obtener una mezcla homogénea a partir de los productos a usar es una de las partes más importantes de la aplicación.

En vista que la mezcla final es el resultado de varios productos farmacéuticos de carácter confidencial estos no serán revelados, sin embargo, varios componentes pulverulentos de características idénticas tanto en granulometría así como también en densidad (harinas) integraran las pruebas; el fin de este trabajo es diseñar un mezclador de sólidos para obtener una mezcla homogénea adecuada.

### 3.1.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Mover partículas de un compuesto con respecto a otro es la mejor manera de obtener una mezcla, basándose en tres principios: esfuerzos de corte (deslizamiento), difusión y convección.

- **Convección:** El mezclado se produce cuando fracciones del total se trasladan a una diferente región del espacio donde están confinadas las mezclas. Este principio se obtiene en equipos que agitan o rotan la mezcla.
- **Difusión (no molecular):** el principio de difusión hace referencia al movimiento de partículas sobre superficies que poseen una pendiente, ya que migran por gravedad, no es necesario adicionar energía para el movimiento.
- **Por esfuerzos de corte (cizallado):** se producen planos de deslizamiento entre distintas regiones de la muestra.

El proceso de mezcla aplicado involucra los mecanismos antes expuestos, ya que implica la interposición de dos o más componentes separados, donde cada partícula de cualquiera de los ingredientes se encuentre cerca a otra partícula del ingrediente restante para obtener un producto homogéneo, disminuyendo significativamente la escala de segregación.

Para ello se pueden usar una infinidad de sólidos, toda clase de productos con granulometría y peso específico parecido; dado que este proyecto se puede utilizar en otras aplicaciones industriales como por ejemplo en los ámbitos: químico (detergentes, pintura en polvo, colorantes), alimenticio (sopas en polvo, recetas de postres, condimentos) y en industrias afines relacionadas en mezclar polvo y gránulos secos.

A continuación se presentan varios tipos de harinas, productos elegidos para las pruebas, los cuales están compuestos de proteínas, vitaminas, carbohidratos, minerales, etc.

Tabla 22

Características de composición según tipo harina

<b>Producto</b>	<b>Densidad [Kg/litro]</b>	<b>Granulometría [um]</b>
<b>Harina de trigo</b>	0,55 – 0,66	180 - 250
<b>Harina de maíz</b>	0,64	125 - 180
<b>Harina de cebada</b>	0,63	235
<b>Harina de pescado</b>	0,65	240
<b>Harina de haba</b>	0,67	250

Tabla 23

Características varios productos sólidos

<b>Tabla productos varios</b>	
<b>Producto</b>	<b>Densidad [Kg/litro]</b>
<b>Avena (polvo)</b>	0,57
<b>Sal común</b>	0,67 – 0,80
<b>Café molido</b>	0,4
<b>Almidón de trigo</b>	0,7
<b>Cloruro de magnesio</b>	0,53
<b>Colorantes</b>	0,5
<b>Detergente</b>	0,1

### **3.1.2 ANÁLISIS FUNCIONAL**

La mezcladora industrial debe de tener una capacidad total de 100 Kg (50 Kg útiles), bajo costo de fabricación con materiales locales, fácil mantenimiento y gran flexibilidad en el manejo para que sea usado por personas no técnicas.

En vista que la máquina actuará directa o indirectamente en la línea de producción de manipulación e higiene de alimentos procesados en la industria alimentaria y esto conlleva un alto compromiso hacia el consumidor de ofrecer un producto higiénicamente elaborado, se fabricara bajo normas de calidad tanto nacionales como internacionales exigidas bajo estándares y planes de monitoreo como las BMP (Buenas Prácticas de Manufactura).

La descarga del producto es por medio de una válvula tipo mariposa de acero inoxidable, la misma que funcionará una vez que el mezclador quede de manera perpendicular al piso para que la descarga sea por gravedad.

## **3.2 DISEÑO DETALLADO**

### **3.2.1 DISEÑO Y CÁLCULO DEL EJE PRINCIPAL**

Este elemento es fundamental para el correcto funcionamiento del mezclador, ya que, tiene que soportar el peso del recipiente permanentemente y por supuesto el peso del producto a mezclar, mismo que puede estar o no presente, sin embargo, se diseñará para el caso más crítico, es decir, con el peso completo, de tal forma que el eje no fleje ante las cargas sometidas a él.

Es recomendable iniciar con el análisis de cargas al eje, las fuerzas se determinan por medio del valor de los pesos de cada componente. Se tiene los siguientes valores de masa de los elementos:

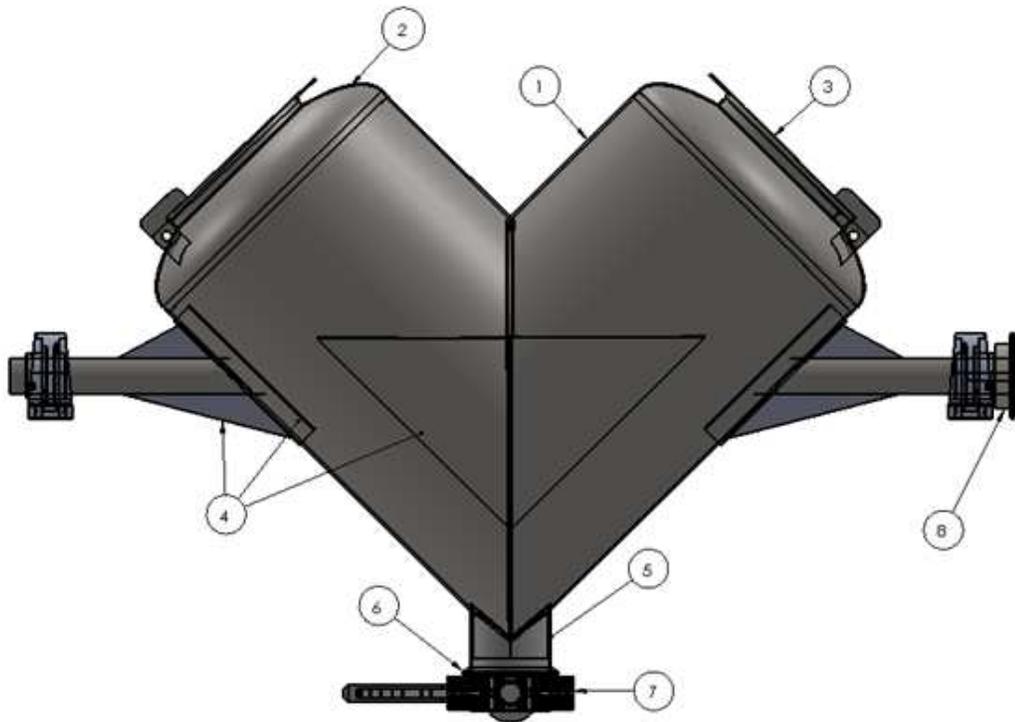


Figura 9 Vista frontal mezclador (Recipiente)

- (1) *Masa total recipiente:*  $11,6 \text{ Kg } \text{c/u} * 2 = 23.3 \text{ Kg}$
- (2) *Masa fondo:*  $1.85 \text{ Kg } \text{c/u} * 2 = 3.7 \text{ Kg}$
- (3) *Masa tapas:*  $3.1 \text{ Kg } \text{c/u} * 2 = 6.2 \text{ Kg}$
- (4) *Masa refuerzos:*  $3.95 \text{ Kg}$
- (5) *Masa cuerpo descarga:*  $0.15 \text{ Kg}$
- (6) *Masa ferul:*  $0.05 \text{ Kg}$
- (7) *Masa válvula tipo mariposa:*  $5.15 \text{ Kg}$
- (9) ***Total suma masa [1 + 2 ... + 7] :***  **$42.5 \text{ Kg}$**
- (8) *Masa piñon:*  $0.9 \text{ Kg}$

Entonces:

(9) Masa total cuerpo sin eje:	42.5 Kg
(10) Maximo de carga producto:	50 Kg
(11) Total masa sobre eje [9 + 10]:	<u>92.5 Kg <math>\cong</math> 100 Kg</u>

Total peso sobre eje cuerpo:

$$W = m * g \quad \text{Ec (3.1)}$$

$$W = 100 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 980 \text{ N}$$

Total peso sobre eje piñon:

$$W_{\text{piñon}} = m * g \quad \text{Ec (3.2)}$$

$$W = 0.9 \text{ Kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 = 8.82 \text{ N}$$

Como siguiente paso se procede a dibujar el diagrama de cuerpo libre:

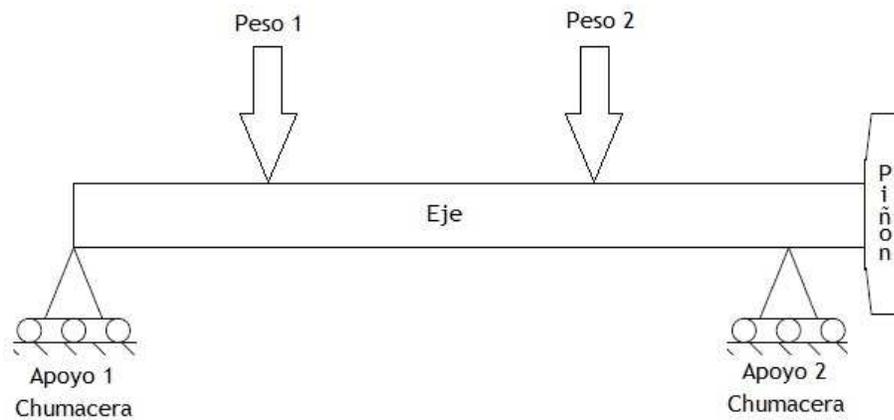


Figura 10 Diagrama de cuerpo libre componentes

Ahora un diagrama de cuerpo libre con fuerzas y apoyos:

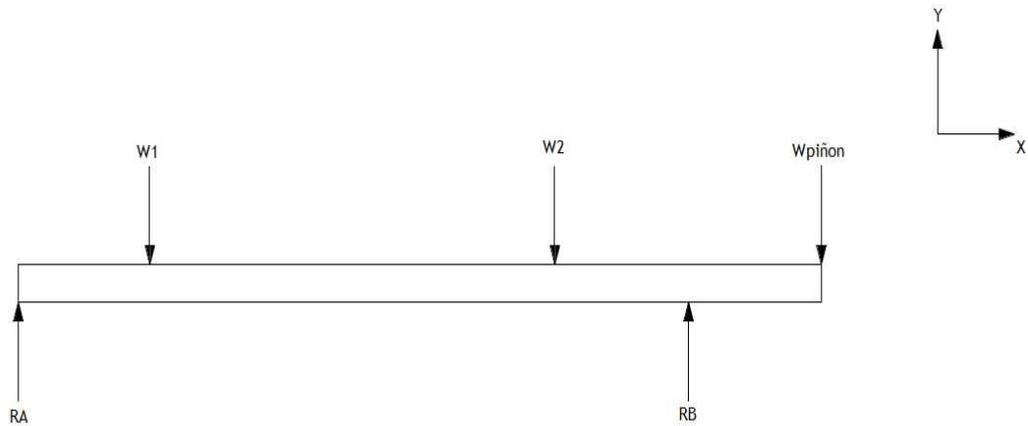


Figura 11 Diagrama de cuerpo libre fuerzas

Con sumatoria de fuerzas y momentos se encuentran las reacciones:

$$\sum M_A = 0$$

$$W_{piñon} * d_1 - R_B * d_2 + W_{cuerpo1} * d_3 + W_{cuerpo2} * d_4 = 0 \quad Ec (3.3)$$

$$8.82 N * 1.18 m + 490 N * 0.917m + 490 * 0.223m = R_B * 1.14m$$

$$R_B = \frac{490 N(0.917 m + 0.223 m) + 8.82 N * 1.18 m}{1.14 m}$$

$$R_B = 499.12 N$$

$$\sum F_A = 0$$

$$R_A - W_{\text{piñon}} + W_{\text{cuerpo1}} + W_{\text{cuerpo2}} - R_B = 0 \quad \text{Ec (3.4)}$$

$$R_A = 499.12 \text{ N} - 8.82 \text{ N} - 980 \text{ N}$$

$$R_A = 489 \text{ N}$$

Se comprueba los resultados por medio del programa MDSolid:

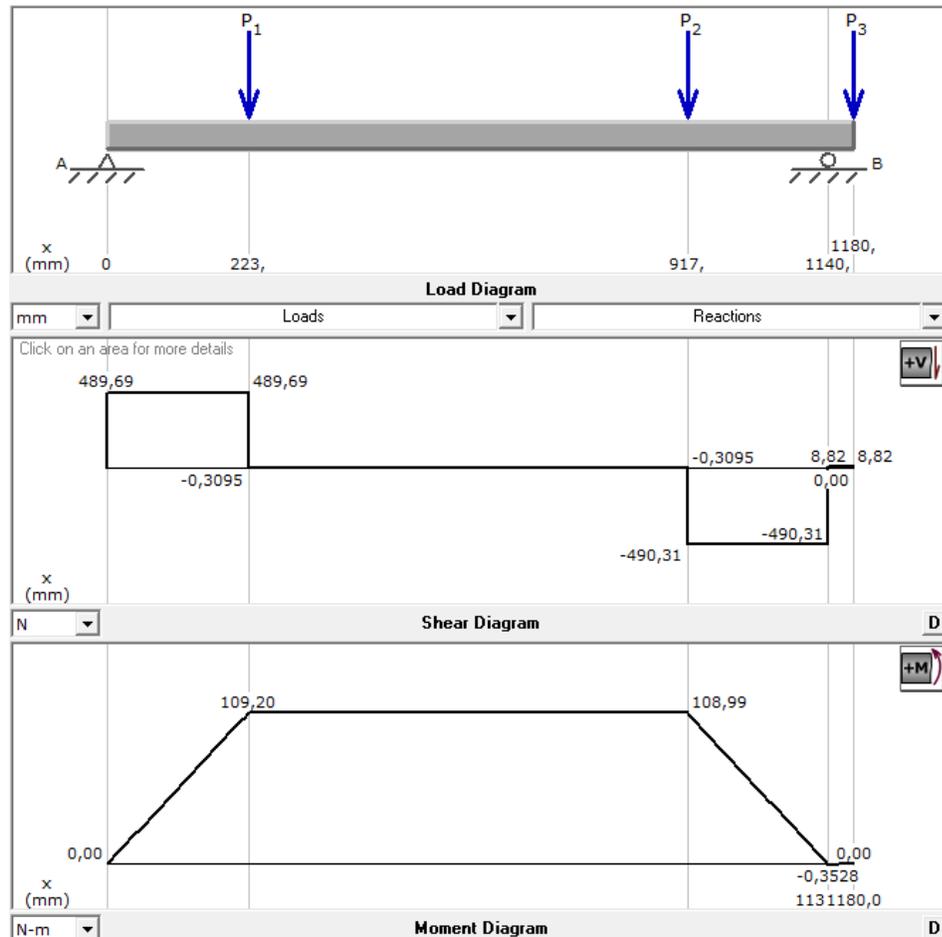


Figura 12 Diagrama de fuerza cortante y momento flector eje principal

Como se puede observar en la figura 12, tanto en el análisis teórico como el computacional, se obtienen valores similares para las reacciones, comprobando la validez de los mismos.

Se debe hallar en la gráfica el valor del toque máximo que en este caso es positivo, sin esto influir en nada ya que siempre se debe tomar el valor absoluto, a continuación se muestra mencionado valor que se considera también como momento máximo en los dos sistemas de medidas internacionales ya que ambos valores se usaran en cálculos posteriores.

$$M_a = 109.2 \text{ N} * m = 966.5 \text{ lb} * in$$

La potencia a transmitir:

$$P_o = T * \omega \quad \text{Ec (3.5)}$$

Donde:

$$P_o = \text{Potencia a transmitir (WATT)}$$

$$T = \text{Torque maximo (Nm)}$$

$$\omega = \text{Velocidad angular (rad/seg)}$$

$$\omega = n \left( \frac{2\pi}{60} \right) \quad \text{Ec (3.6)}$$

En donde:

$$n = \text{Velocidad de salida (rpm)}$$

$$\text{velocidad del motor} = 1750 \text{ rpm}$$

$$i = 80 \text{ (relacion de transmisión)}$$

$$n = \frac{1750 \text{ rpm}}{80} = 21.88 \cong 22 \text{ rpm}$$

Reemplazando en Ec (3.6):

$$\omega = 22 \text{ rpm} \left( \frac{2\pi}{60} \right) = 2.30 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

Con este valor la potencia a transmitir:

$$P_o = 109.2 \text{ Nm} \left( 2.30 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$P_o = 251.5 \text{ WATT} = 0.33 \text{ HP}$$

Entonces la potencia del motor:

$$P_m = \frac{P_o}{n} \quad \text{Ec (3.7)}$$

Donde:

$$P_m = \text{Potencia del motor ( HP )}$$

$$P_o = \text{Potencia a transmitir ( WATT )}$$

$$n = \text{eficiencia del motor}$$

La potencia a transmitir calculada es de 1/3 HP, para evitar sobrecargas en el motor se debe considerar una eficiencia conservadora del 0.9 %:

$$n = 0.90$$

Reemplazando en Ec (3.7):

$$P_m = \frac{0.33 \text{ HP}}{0.90}$$

$$P_m = 0.37 \text{ HP}$$

Se selecciona un valor comercial próximo al valor calculado, con aquello también se garantiza un correcto funcionamiento en el diseño. Entonces:

$$Pm \cong 0.5 \text{ HP}$$

Para soportar el peso tanto del recipiente como de la carga, se procede a calcular el diámetro del eje aplicando el criterio de Goodman, el cual se basa en fallas comunes. Mediante la sustitución de los esfuerzos de Von Misses en la ecuación de Goodman tenemos:

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} Ec \quad (3.8)$$

Donde:

$d$  = diámetro

$n$  = factor de seguridad

$K_f$  = factor de concentracion de esfuerzo a la fatiga por flexión

$K_{fs}$  = factor de concentracion de esfuerzo a la fatiga por torsión

$M_m$  = Momento flexionante medio

$M_a$  = Momento flexionante alternante

$T_m$  = Par de torsión media

$T_a$  = Par de torsión alternante

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga

$S_{ut}$  = Límite de resistencia a última a la tracción

El material escogido para el diseño del eje es acero inoxidable AISI 304 (grado alimenticio) por lo tanto se seleccionan los valores del esfuerzo ultimo de tracción como el de fluencia. Ver anexo A.

$$S_{ut} = 82.4 \text{ kpsi}$$

$$S_y = 40 \text{ kpsi}$$

El límite de resistencia a la fatiga se calcula aplicando varios factores que lo modifican, a fin de tomar en cuenta las diferencias entre la pieza real y la probeta de prueba. Siendo así se aplica la ecuación de Marin:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e' \quad Ec (3.9)$$

Donde:

$$k_a = \text{factor de superficie}$$

$$k_b = \text{factor de tamaño}$$

$$k_c = \text{factor de carga}$$

$$k_d = \text{factor de temperatura}$$

$$k_e = \text{factor de confiabilidad}$$

$$S_e' = \text{limite resistencia a la fatiga viga rotatoria}$$

Entonces el factor de superficie:

$$k_a = a * S_{ut}^{-b} \quad Ec (3.10)$$

Donde:

$$S_{ut} = \text{Límite de resistencia a última a la tracción}$$

$$\text{Factores } a \text{ y } b = \text{valores de acabado superficial (ver Anexo B)}$$

Calculando:

$$k_a = 2.70(41200)^{-0.265}$$

$$k_a = 0.1615$$

Como aún no se conoce el valor del diámetro, para efectos de diseño se considera un factor de tamaño:

$$k_b = 1$$

El factor de carga para flexión:

$$k_c = 1$$

La temperatura no es elevada, por cuanto si  $T \leq 250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ver anexo B.

$$k_d = S_T / S_{RT}; \quad k_d = 1$$

El siguiente factor es el de confiabilidad, se tiene una confiabilidad del 50%.  
Ver anexo B. Entonces:

$$k_e = 1$$

En vista de que  $S_{ut} \leq 2000 \text{ kpsi}$ , el valor de la resistencia a fatiga con ensayo de probetas es:

$$S_e' = 0.5 * S_{ut} \quad \text{Ec (3.11)}$$

$$S_e' = 0.5 * 82400 \text{ psi}$$

$$S_e' = 41200 \text{ psi}$$

Aplicando los valores encontrados en la Ec (3.9):

$$S_e = 0.1615 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 41200 \text{ psi}$$

$$S_e = 6653.8 \text{ psi}$$

Para concluir el cálculo del diámetro del eje se tienen dos opciones, la primera es tomar un factor de seguridad experimental y a partir de este, obtener un diámetro, la consecuencia es que por asegurar el diseño podríamos tomar un valor muy alto de factor de seguridad y así obtener un diámetro de eje demasiado grande, lo que aumentaría el costo tanto del propio eje así como también de la estructura que soportará el peso, de igual manera la potencia del motor aumentará para mover el eje generando un altísimo costo innecesario tanto de materiales como de construcción.

La segunda opción es experimentar con un valor de diámetro del eje, obtener un factor de seguridad correcto y comprobar dicho valor de diámetro aplicando los teoremas con datos reales, siendo así, se aplica esta opción. Para empezar el diseño en base a los cálculos anteriores se estima que el eje a usar estará entre 1.5 – 2 pulgadas. Para estar seguros se tomara el promedio del mismo, es decir 1.75 pulgadas de diámetro para motivos de cálculo, debiendo primeramente verificar un factor de seguridad alto con criterio de ingeniería.

Ahora bien, se debe hallar el factor de concentración de esfuerzo  $K_t$  (o  $K_{ts}$ ), que se usa con el esfuerzo nominal para obtener el esfuerzo máximo resultante, entonces se tiene:

$$\sigma' = K_f * \sigma_o \quad Ec (3.12)$$

Donde:

$$\sigma' = \text{Esfuerzo máximo resultante}$$

$$K_f = \text{factor de concentración del esfuerzo por fatiga}$$

$$\sigma_o = \text{esfuerzo nominal}$$

Ahora bien para hallar el valor de  $K_f$  tenemos:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad Ec (3.13)$$

Donde:

$$q = \text{sensibilidad a la muesca (ver Anexo C)}$$

$$K_t = \text{factor teórico de concentración de esfuerzo (Figura A – 15 – 9)}$$

Entonces:

$$K_f = 1 + 0.84 (1.25 - 1)$$

$$K_f = 1.21$$

Aplicando las fórmulas para un eje redondo con filete en el hombro en flexión, se obtiene el esfuerzo nominal:

$$\sigma_o = \frac{M * c}{I} \quad Ec (3.14)$$

Donde:

$M =$  Momento máximo

$c =$  Fibra mas lejana

$I =$  Momento de inercia sección circular

El cálculo del momento de inercia de una sección circular:

$$I_x = \frac{\pi * r^4}{4} = \frac{\pi * d^4}{64} \quad Ec (3.15)$$

Reemplazando:

$$I_x = \frac{\pi * 0.875 \text{ in}^4}{4}$$

$$I_x = 0.46 \text{ in}^4$$

Se calcula la fibra más lejana (Ver anexo C):

$$c = \frac{d}{2} \quad Ec (3.16)$$

$$c = \frac{1.75 \text{ in}}{2}$$

$$c = 0.875 \text{ in}$$

Reemplazando en la Ec (3.14):

$$\sigma_o = \frac{966.5 \text{ lb} * \text{in} (0.875 \text{ in})}{0.46 \text{ in}^4}$$

$$\sigma_o = 1838.45 \text{ psi}$$

Entonces el esfuerzo máximo resultante:

$$\sigma' = 1.168 * 1838.45 \text{ psi}$$

$$\sigma' = 2147.3 \text{ psi}$$

Reunidos todos los datos necesarios, se halla el factor de seguridad, para el primer valor experimental, usando el criterio de Goodman:

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad \text{Ec (3.17)}$$

En vista de que no hay par de torsión  $M_m = T_a = 0$  y despejando:

$$n_f = \frac{S_e}{\sigma'}$$

$$n_f = \frac{6653.8 \text{ psi}}{2147.3 \text{ psi}}$$

$$n_f = 3.12 \cong 3$$

Se obtiene un valor de seguridad de 3, lo cual es más de lo estimado para un diseño conservador; calculado el diámetro real del eje a usar se procederá a verificar mencionado factor de seguridad aplicando la ecuación de Goodman.

El valor de par torsión en el eje se encuentra a partir de la sumatoria de momentos:

$$Tm = W \left( \frac{d}{2} \right) \quad \text{Ec (3.18)}$$

Donde:

$$W = \text{peso sobre eje (lb)}$$

$$d = \text{diámetro inicial (in)}$$

Entonces el peso sobre el eje:

$$W = 50 \text{ Kg} * \frac{2,205 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} = 110.25 \text{ lb}$$

Reemplazando en la Ec (3.18):

$$Tm = 110.25 \text{ lb} * \left( \frac{1.75 \text{ in}}{2} \right)$$

$$Tm = 110.25 \text{ lb} * (0,875 \text{ in})$$

$$Tm = 96.46 \text{ lb} * \text{in}$$

Es necesario hallar también el valor de  $K_{fS}$ , se lo calcula de manera muy similar al  $K_f$ , con la diferencia que es con los valores cortantes, en referencia a las correspondientes figuras. Ver anexo C.

$$K_{fS} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1) \quad \text{Ec (3.19)}$$

Donde:

$K_{fS}$  = factor de concentración del esfuerzo cortante por fatiga

$q$  = sensibilidad a la muesca (ver Anexo C)

$K_{ts}$  = factor teórico de concentración de esfuerzo (Fig A – 15 – 8)

Entonces:

$$K_{fS} = 1 + 0.80 (1.21 - 1)$$

$$K_{fS} = 1.168$$

Finalmente con los datos hallados se aplica la ecuación de Goodman para calcular el diámetro que tendrá el eje. Este criterio es bueno para un diseño inicial, puesto que es simple y conservador. Con  $M_m = T_a = 0$ , la Ec (3.8) se reduce:

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

$$d = \left\{ \frac{16 * 3}{\pi} \left( \frac{2(1.21 * 966.5)}{6653.8} + \frac{[3(1.168 * 96.46)^2]^{1/2}}{82400} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d = 1.75 \text{ in}$$

Tomando este diámetro y buscando el que se le acerca comercialmente escogemos una barra cilíndrica maciza con diámetro de 1 ¾ pulgadas. Se debe hallar el factor de diseño con el cual está diseñado el eje, usando el criterio de Goodman, y reemplazando en cada una de las incógnitas:

$$\sigma'_a = \left[ \left( \frac{32 K_f M_a}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec (3.20)}$$

$$\sigma'_a = \left[ \left( \frac{32 * 1.21 * 966.5}{\pi (1.75)^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_a = 2222.26$$

Para el esfuerzo medio:

$$\sigma'_m = \left[ 3 \left( \frac{16 K_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec (3.21)}$$

$$\sigma'_m = \frac{\sqrt{3} * 16 * 1.168 * 96.46}{\pi (1.75)^3}$$

$$\sigma'_m = 185.44$$

Finalmente encontramos el factor de seguridad a partir de la Ec (3.17):

$$\frac{1}{n_f} = \frac{2222.26}{6653.8} + \frac{185.44}{82400}$$

$$\frac{1}{n_f} = 0.33$$

$$n_f = 3.03 \cong 3$$

Un factor de seguridad de 3 es más que suficiente tomando en cuenta que el conservador criterio de Goodman acepta como suficiente un valor de seguridad cercano a 1.5; se ha demostrado que el diseño es seguro.

Para producir un movimiento giratorio uniforme se debe encontrar el centro de gravedad de todo el conjunto, y colocar el eje a lo largo de este.

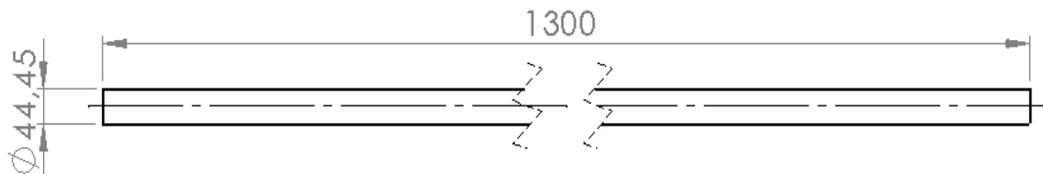


Figura 13 Dimensiones del eje

El volumen del eje:

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} * l \quad \text{Ec (3.22)}$$

Donde:

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$d = \text{diámetro (m)}$$

$$l = \text{longitud del eje (m)}$$

Reemplazando:

$$V = \frac{\pi * (0.04445 \text{ m})^2}{4} * 1.3 \text{ m}$$

$$V = 2.017 \text{ E}^{-3} \text{ m}^3$$

La densidad del acero inoxidable AISI 304:

$$\delta_{\text{AISI 304}} = 7.8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\delta_{\text{AISI 304}} = 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

La masa del cuerpo:

$$m = V * \delta \quad (\text{Ec 3.23})$$

Donde:

$$m = \text{masa (Kg)}$$

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$\delta = \text{densidad acero } \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$$

Entonces:

$$m = 2.017 \text{ E}^{-3} \text{ m}^3 * 7800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 15.732 \text{ Kg} \cong 16 \text{ Kg}$$

Con estos resultados se encuentra el peso total del eje:

$$W_{eje} = m * g \quad (Ec 3.24)$$

$$W_{eje} = 15.732 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{eje} = 154.2 \text{ N}$$

Se halla la inercia del eje:

$$Inercia = I_y = I_z$$

$$I = \frac{m(3r^2 + l^2)}{12} \quad (Ec 3.25)$$

$$I = \frac{15.732(3 * 22.225 \text{ m})^2 + 1.3 \text{ m}^2}{12}$$

$$I = 2.22 \text{ Kg.m}^2$$

En la figura 14 se muestra los resultados de la simulación de la inercia del eje, comparando mencionado valor con la inercia calculada, se puede apreciar que es casi idéntica. Se usará el software para hallar el centro de gravedad del conjunto.

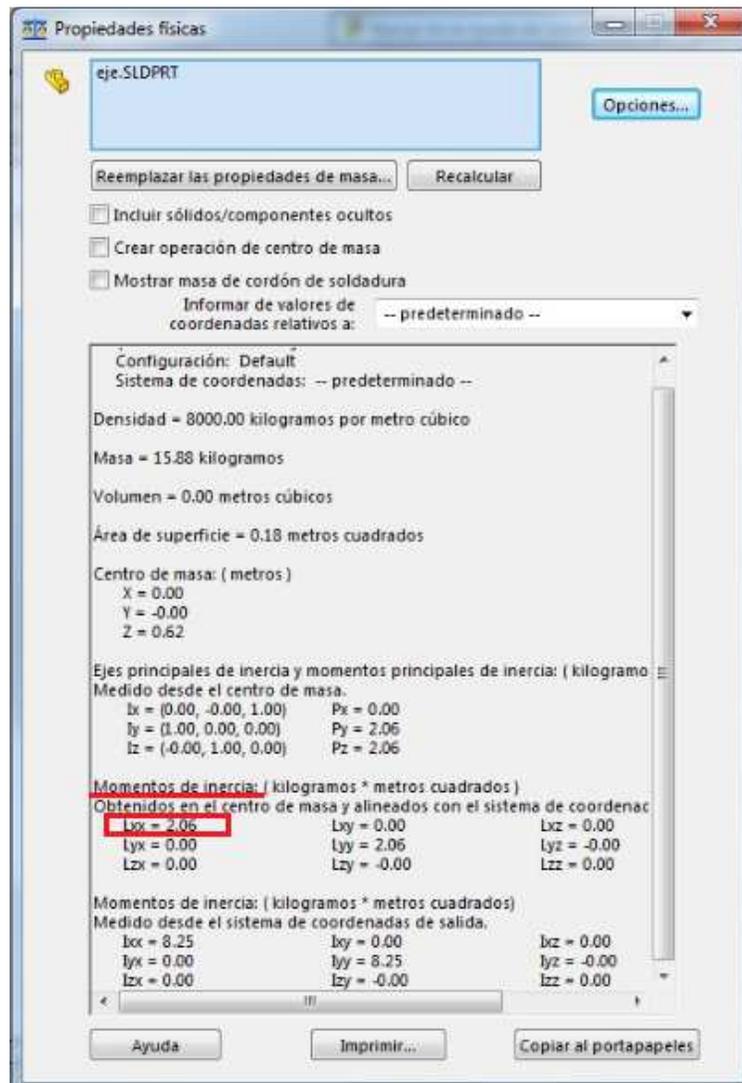


Figura 14 Propiedades físicas del eje principal dado por software

*Inercia calculada*  $I_{xx} = 2.22 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

*Inercia con SolidWorks*  $I_{xx} = 2.06 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$

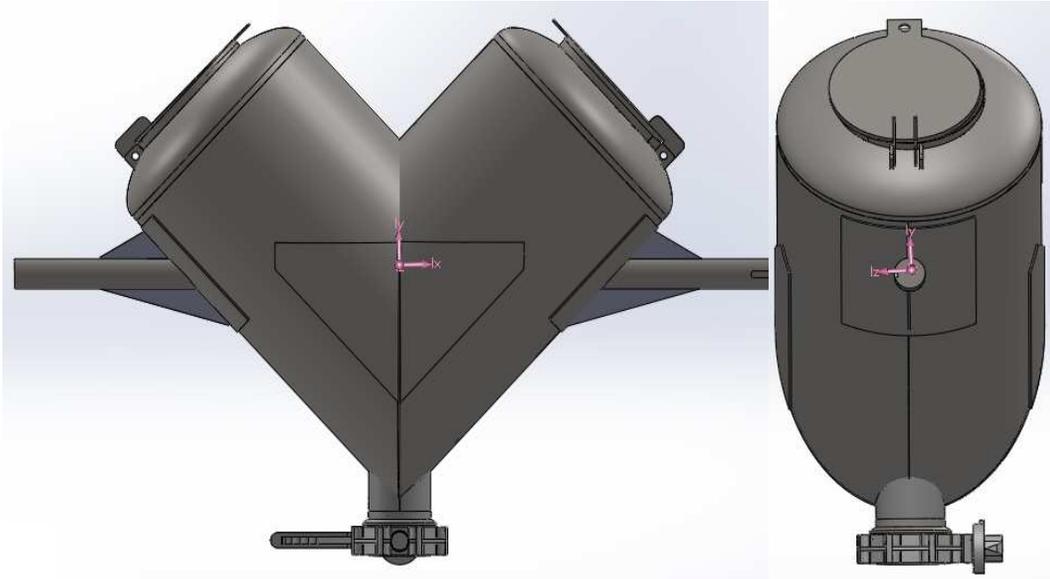


Figura 15 Centro de masa del recipiente calculado por software

Propiedades físicas

Ensamblaje total final.SLDASM

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Ensamblaje total final  
Configuración: Predeterminado  
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 58620.93 gramos

Volumen = 7531212.74 milímetros cúbicos

Área de superficie = 3519005.76 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )

X = -583.26

Y = 480.39

Z = 2137.98

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el centro de masa.

lx = (1.00, 0.02, 0.01)	Px = 2769855876.58
ly = (-0.02, 1.00, 0.05)	Py = 4883259011.49
lz = (-0.00, -0.05, 1.00)	Pz = 6404616175.67

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

Lxx = 2770604996.80	Lyy = 36933333.51	Lxz = 18110791.91
Lyx = 36933333.51	Lyy = 4886710122.71	Lyz = 79158806.58
Lzx = 18110791.91	Lzy = 79158806.58	Lzz = 6400415944

Momentos de inercia: ( gramos \* milímetros cuadrados )  
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 284251481495.66	lyy = -16387982730.03	lzx = -7308165485
lyx = -16387982730.03	lyy = 292781831152.62	lyz = 60285971610
lzx = -73081654851.24	lzy = 60285971610.31	lzz = 39870611696

Figura 16 Centro de masa del eje principal dado por software

### 3.2.2 DISEÑO DEL RECIPIENTE

Se inicia exponiendo al recipiente a las fuerzas axiales a las cuales estará sometido. Dado que es un diseño computacional, usaremos SolidWorks en todo este punto.

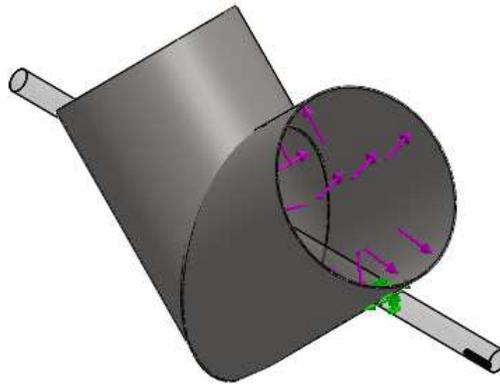


Figura 17 Recipiente con fuerzas aplicadas

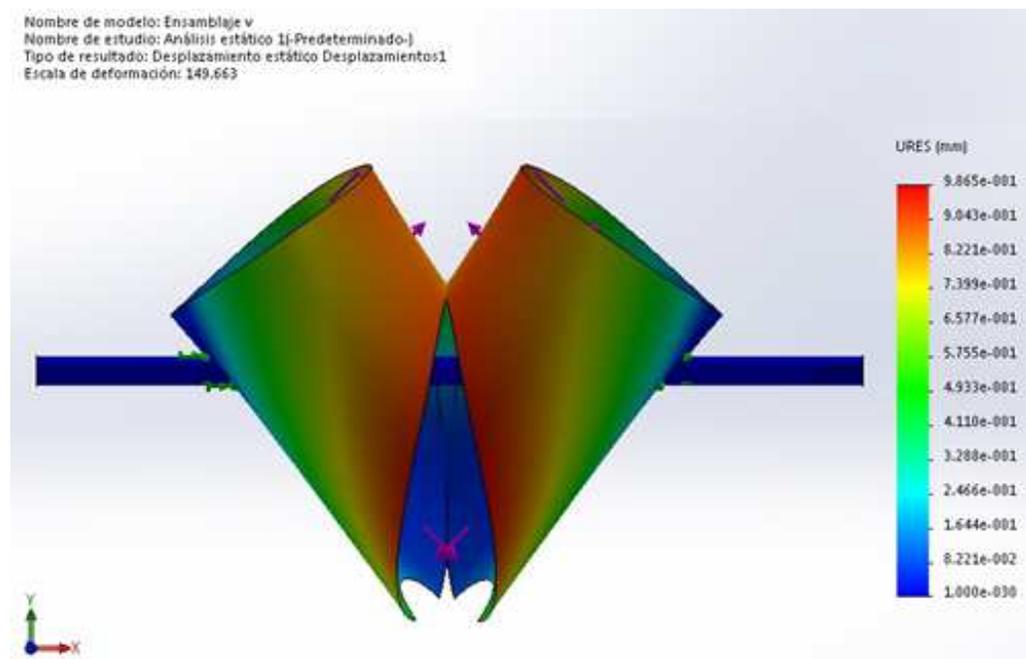


Figura 18 Simulación de expansión del recipiente

Como se observa en la figura 18 el recipiente tiende a expandirse, razón por la cual es necesaria la implementación de refuerzos en la sección crítica.

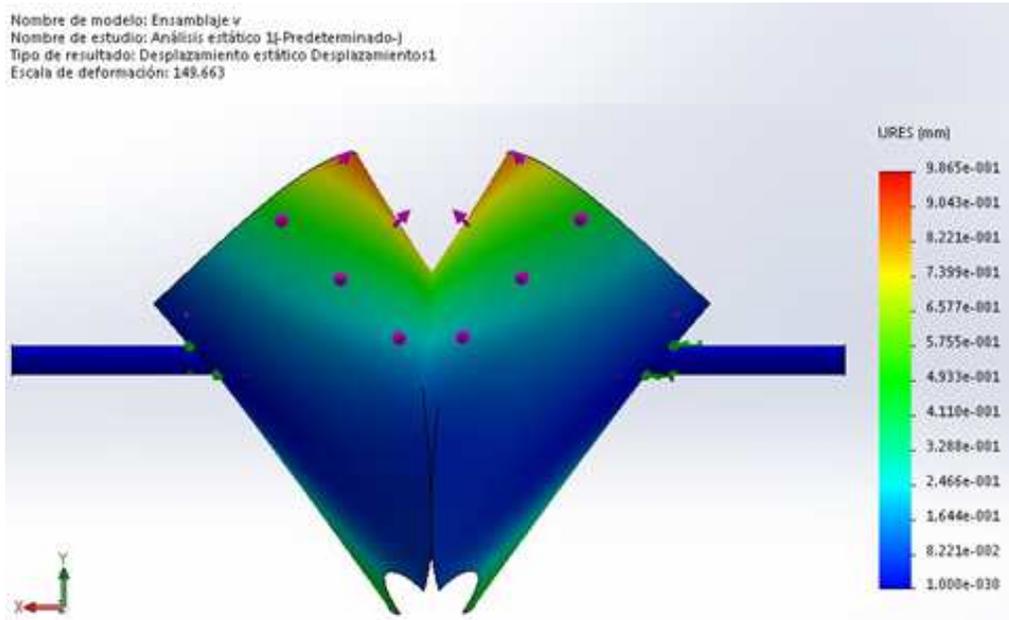


Figura 19 Simulación de compresión del recipiente

Como consecuencia de la expansión, el otro lado del recipiente se contrae por la compresión. De igual manera es necesario implementar refuerzos.

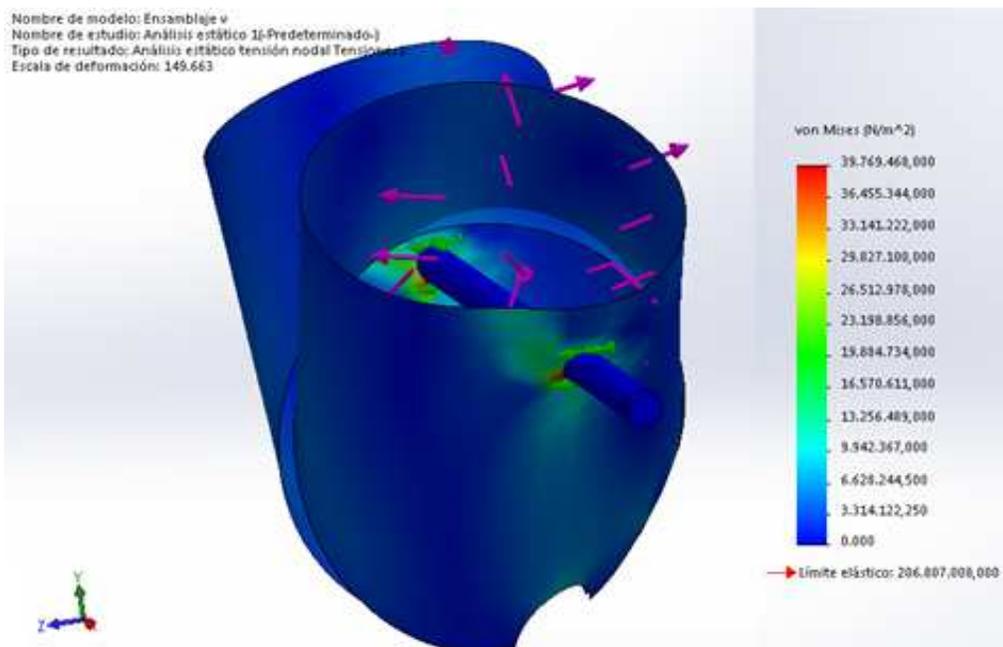


Figura 20 Simulación contracción lateral del recipiente

Lateralmente, en el sitio de la perforación por la cual pasará el eje también es sometido a un esfuerzo de deformación debido a la carga cortante.

Dados los resultados de la simulación es necesario poner refuerzos frontales como laterales a cada lado del recipiente para evitar el desplazamiento de las partes debido a las fuerzas a las que se le someterá. Una vez que el recipiente se someta al trabajo para el cual está diseñado no presenta ninguna deformación. En la figura 21 se presenta la posición de los refuerzos frontales:

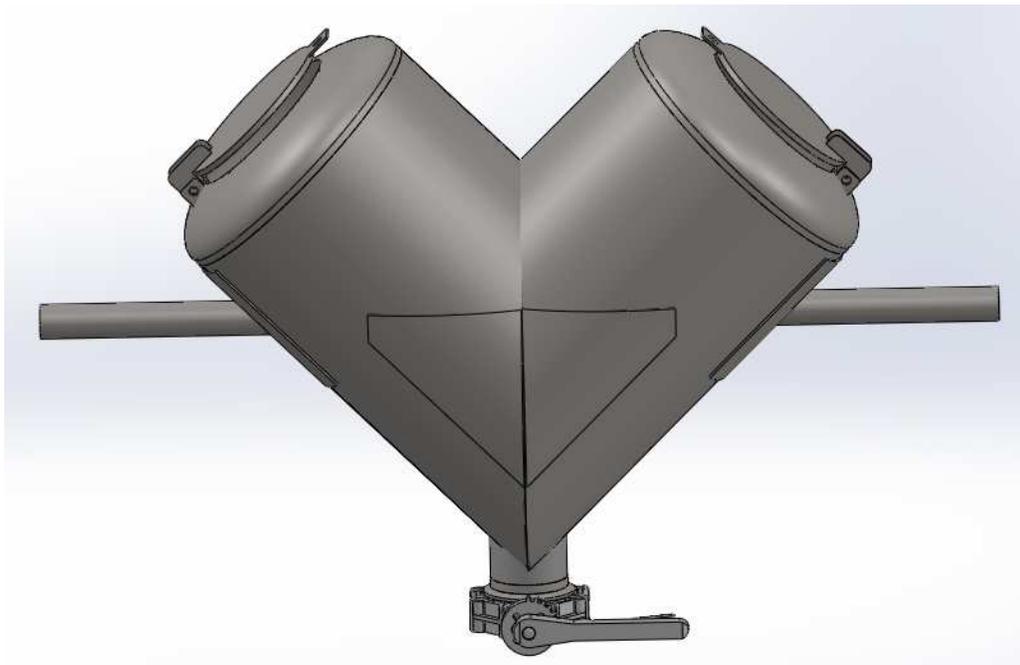


Figura 21 Refuerzos frontales del mezclador

De igual manera es necesario colocar refuerzos laterales; servirán para evitar deformación y brindar mayor superficie de soldadura alrededor del eje hacia el recipiente. En la figura 22 se presenta la posición de los refuerzos laterales:

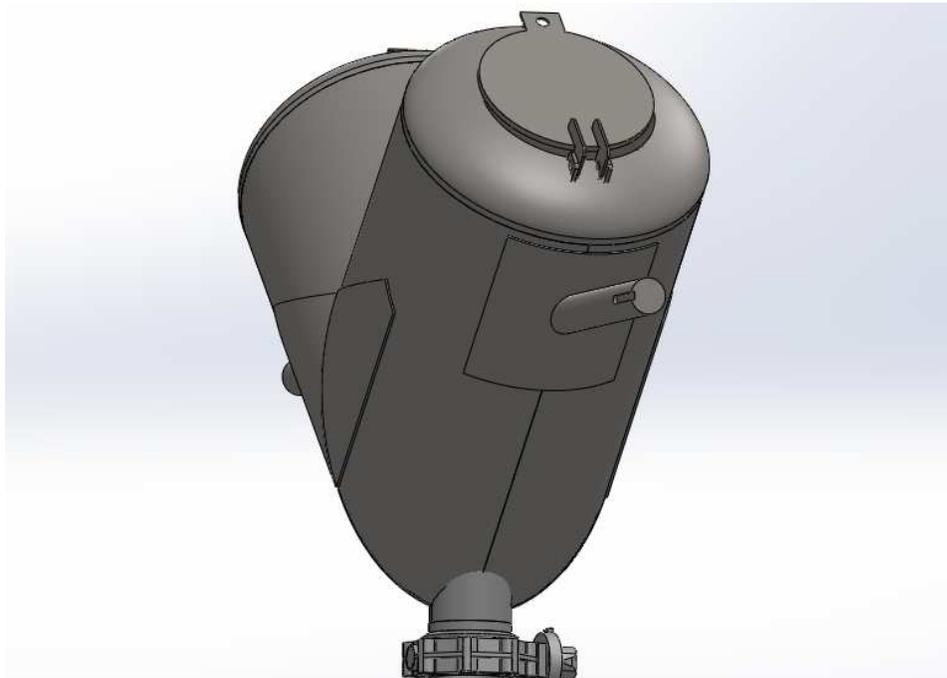


Figura 22 Refuerzos laterales del mezclador

### 3.3.2.1 Resistencia de la soldadura en el recipiente

Es necesario calcular la resistencia de la soldadura en la unión del mezclador, para lo cual en nuestro caso se presenta una soldadura de tapón o muesca en una ranura en “V” sometida a la carga interna del recipiente.

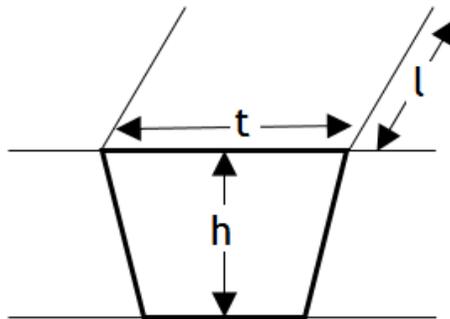


Figura 23 Dimensionamiento del chavetero

Donde:

*h: Gargata de la soldadura*

*t: Ancho de la soldadura*

*l: Largo de la soldadura*

La fuerza cortante provoca un esfuerzo cortante primario en la soldadura, mismo que se obtiene por:

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad \text{Ec (3.26)}$$

Donde:

*F = Fuerza cortante (N)*

*A = Área de la garganta (m<sup>2</sup>)*

El área de la garganta está dada por:

$$A = 0.707 * h * l \quad \text{Ec (3.27)}$$

Donde:

*h = altura de la garganta (m)*

*l = longitud de la soldadura (m)*

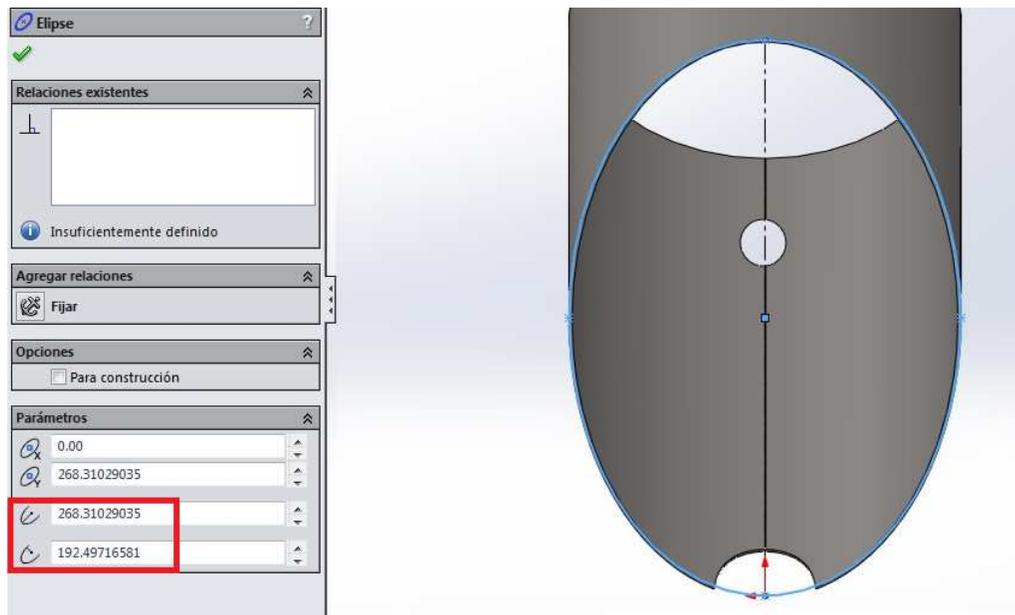


Figura 24 Dimensión de corte (elipse) dada por software

La altura de la garganta es de 0.005 m y el ancho es 0.002 m. Para encontrar el perímetro de la elipse y por ende la longitud a soldar, obtenemos los datos por medio del software. Ver figura 24.

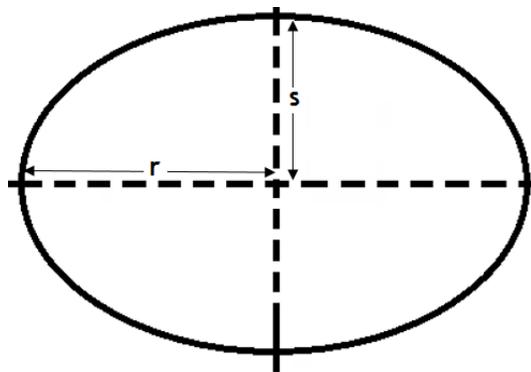


Figura 25 Dimensionamiento de una elipse

Aplicando la fórmula para hallar el perímetro de una elipse:

$$p \approx \pi \left[ 3(r + s) - \sqrt{(3r + s)(r + 3s)} \right] \quad Ec (3.28)$$

Donde:

$s$ : eje menor

$r$ : eje mayor

Reemplazando:

$$s = 192.49$$

$$r = 268.31$$

$$p \approx \pi \left[ 3(268.31 + 192.49) - \sqrt{(3(268.31) + 192.49)(268.31 + 3(192.49))} \right]$$

$$p \approx 1457.48 \text{ mm}$$

$$l \approx 1.45748 \text{ m}$$

Reemplazamos en la Ec (3.27) para hallar el área de la garganta:

$$A = 0.707 * 0.005 \text{ m} * 1.4578 \text{ m}$$

$$A = 5.15 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Entonces el valor cortante primario:

$$\tau' = \frac{980 \text{ N}}{5.15 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$\tau' = 190.142 \times 10^3 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante nominal en la garganta está dado por:

$$\tau = \frac{M * c}{I} \quad \text{Ec (3.30)}$$

Donde:

$$M = \text{Momento flector (N.m)}$$

$$c = \text{distancia de la línea neutra al filete de soldadura (m)}$$

$$I = \text{Momento de inercia de la soldadura (m)}$$

El momento de inercia del área unitaria viene dado por la siguiente expresión:

$$I = \frac{0.707 * h * \frac{l}{2} * t^2}{2} \quad \text{Ec (3.31)}$$

La distancia de la línea neutra al filete, que no es más que la mitad del espesor.

Reemplazando:

$$I = \frac{0.707 * 0.003 \text{ m} * \frac{1.458 \text{ m}}{2} * 0.002^2}{2}$$

$$I = 3.092 \times 10^{-9} \text{ m}$$

El momento flector encontrado por software es 25.4 Nm. Reemplazando la Ec (3.31) en la Ec (3.30), se obtiene el valor del esfuerzo cortante nominal en la garganta:

$$\tau_s = \frac{\frac{M * t}{2}}{I} \quad \text{Ec (3.32)}$$

$$\tau_s = \frac{\frac{25.4 \text{ N.m} * 0.002 \text{ m}}{2}}{3.092 \times 10^{-9} \text{ m}}$$

$$\tau_s = 8.2147 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Ahora bien, obtenidos los valores de las dos componentes de esfuerzo cortante, normales entre ellas, se obtiene, mediante una relación pitagórica, el esfuerzo cortante resultante:

$$\tau_r = \sqrt{\tau_s^2 + \tau'^2} \quad Ec (3.33)$$

$$\tau_r = \sqrt{(8.2147 \times 10^6)^2 + (190.142 \times 10^3)^2}$$

$$\tau_r = 8.21 \times 10^6 Pa$$

El proceso de soldado escogido es de tipo TIG; consiste en una varilla de acero inoxidable austenítico con mucha resistencia a la corrosión, propiedad por la cual es recomendado para equipos de grado alimenticio, farmacéutico y químico. El valor del esfuerzo resultante hallado se compara con el valor de la resistencia al cortante del material con el que se va a soldar.

El acero inoxidable, AISI 304, puede ser soldado mediante varios procesos, mientras que el metal base que se aplique sea un AISI 308. La resistencia a la tracción de la varilla de acero inoxidable AISI 308 para proceso TIG es:

$$S_{ut} = 567 \times 10^6 Pa$$

El esfuerzo cortante permisible por el código AISC7 (American Institute of Steel Construction) para el metal de aporte es:

$$\tau_{perm} = 0.3 * S_{ut} \quad Ec (3.34)$$

$$\tau_{perm} = 0.3 * 567 \times 10^6 Pa$$

$$\tau_{perm} = 170.1 \times 10^6 Pa$$

Al comparar el esfuerzo permisible por la AISC con el esfuerzo cortante nominal aplicado a la soldadura, se obtiene el factor de seguridad para la soldadura, entonces:

$$FS = \left| \frac{\tau_{perm}}{\tau_r} \right| \quad Ec (3.35)$$

$$FS = \left| \frac{170.1 \times 10^6 Pa}{8.21 \times 10^6 Pa} \right|$$

$$FS = 20.68$$

Un factor de seguridad mayor de 20 garantiza que la soldadura tendrá gran duración, por lo que los materiales usados han sido seleccionados correctamente. Se utilizará una varilla de acero inoxidable AISI 308 para proceso TIG, con un aporte de electrodo de tungsteno, ambos de 1.5 mm de diámetro. El cordón de soldadura será intermitente, con un cateto de 1.5 mm, 24 mm de longitud e igual distancia entre centros de cordón.

### 3.2.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE

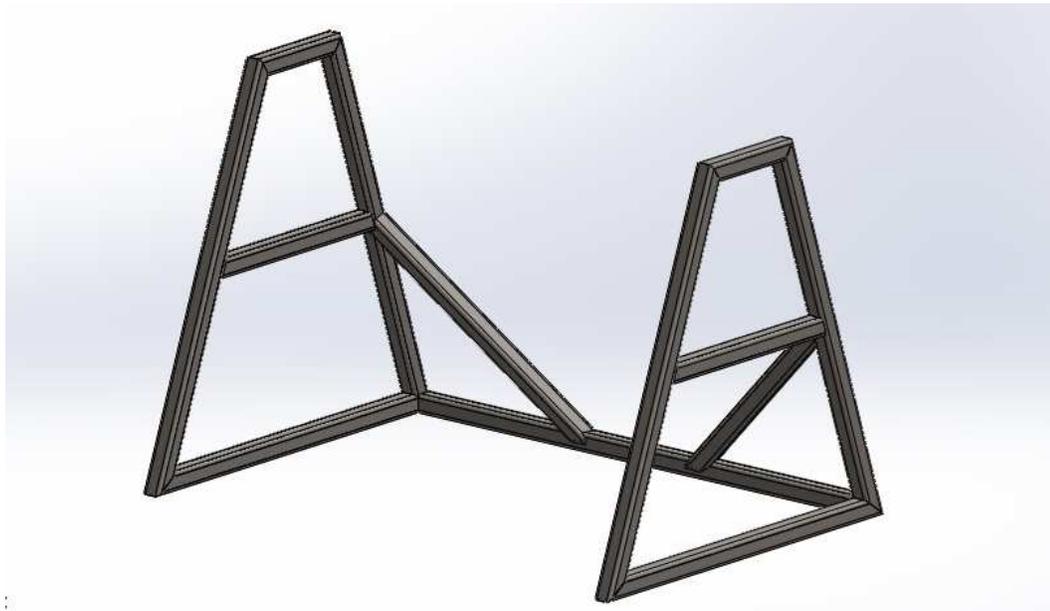


Figura 26 Estructura del mezclador

En la figura 26 se observa el diseño de la estructura soporte, mismo que se someterá a la simulación de tensiones para verificar su resistencia. También es necesario realizar un análisis analítico de la barra que soportara todo el peso del mezclador. En resumen los datos del diseño eje-recipiente son los siguientes:

$$(1) m_{\text{cuerpo}} = 42.5 \text{ Kg}$$

$$(2) m_{\text{eje}} = 15.8 \text{ Kg}$$

$$(3) m_{\text{piñon}} = 0.9 \text{ Kg}$$

$$(4) m_{\text{mat prima}} = 50 \text{ Kg}$$

$$(5) m_{\text{chumaceras}} = 5.3 \text{ Kg}$$

$$(6) \text{Total peso [1 + 2 ... 5]} = 114.5 \text{ Kg} \cong 115 \text{ Kg}$$

$$(7) \text{Peso en cada viga} = 115 \text{ Kg} / 2 = 57.5 \text{ Kg}$$

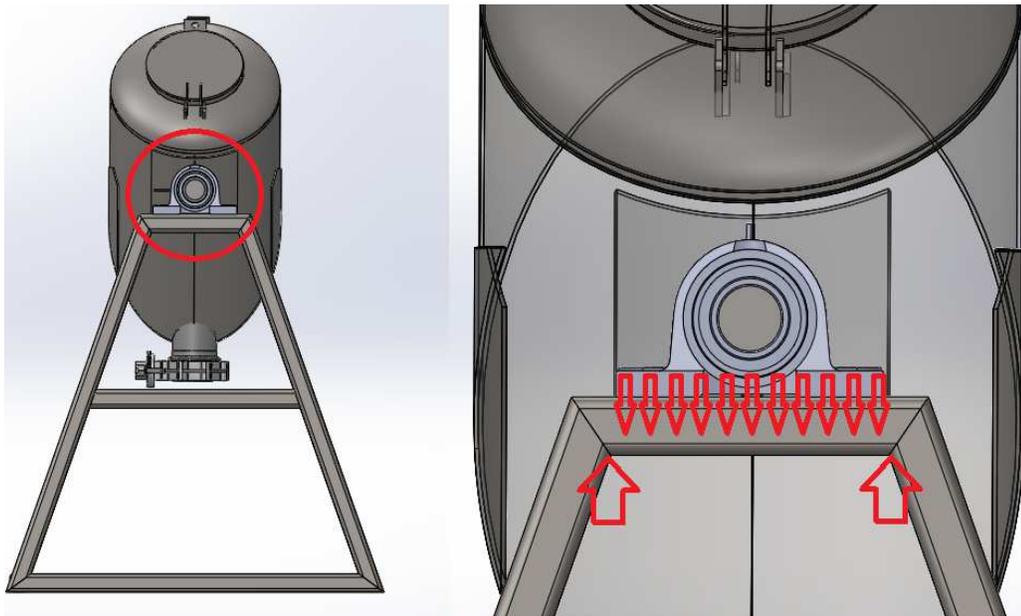


Figura 27 Cargas sobre estructura (chumacera)

En la figura 27 se muestra la manera en que están distribuidas las fuerzas sobre el tubo cuadrado. El tubo estructural tiene las dimensiones de 40x40x4 (mm).

La carga (563.5 N) es distribuida por debajo de la chumacera (190 mm de largo) en la superficie de la viga cuadrada de manera que toda la carga total (2.96N.mm) se transmite hacia los extremos soldados de la misma estructura.

El diagrama de fuerzas se muestra a continuación:

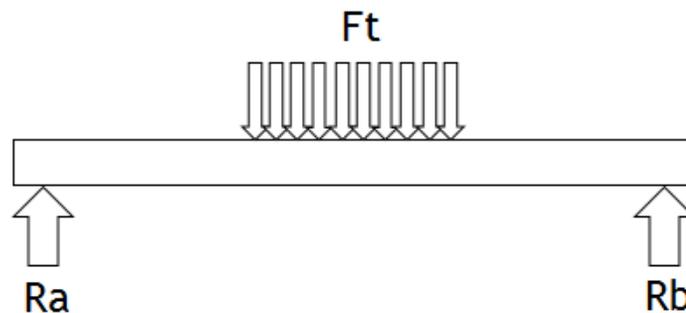


Figura 28 Diagrama de cuerpo libre fuerzas

Nuevamente usando el software MDSolid se simula las reacciones sobre la viga. Se presentan los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector que se producen en la viga soporte del mezclador.

Se obtiene como resultado una fuerza cortante máxima de 275,5 N y un momento flector máximo de 21902,25 N-mm. Ver figura 29.

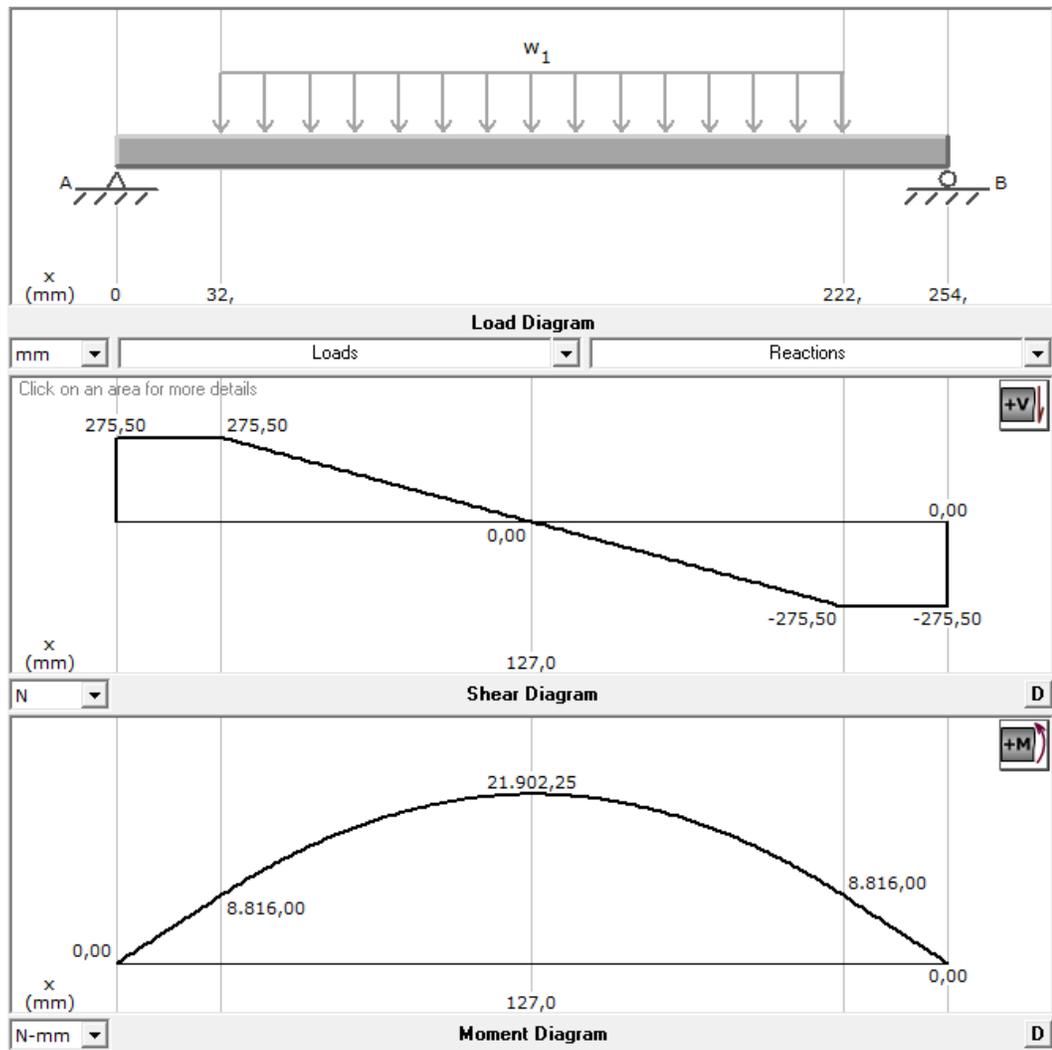


Figura 29 Diagrama de fuerza cortante y momento flector estructura

El mayor esfuerzo que sufre la placa es por flexión, entonces:

$$\sigma_{Fest} = \frac{M_{est}}{S_{est}} \quad Ec (3.36)$$

Donde:

$\sigma_{Fest}$  = Esfuerzo por flexión de la estructura (MPa)

$M_{est}$  = Momento de flexión máximo de la estructura (N.mm)

$S_{est}$  = Módulo de sección de la estructura cuadrada (mm<sup>3</sup>)

El módulo de sección de una viga cuadrada 40x40x4 lo obtenemos por medio de tablas de perfiles huecos cuadrados. Ver anexo D.

$$S_{est} = 5.26 \text{ cm}^3 = 5260 \text{ mm}^3$$

Reemplazando:

$$\sigma_{Fest} = \frac{21902,25 \text{ N.mm}}{5260 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{Fest} = 4.16 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad lo obtenemos con referencia al límite elástico del acero ASTM A36:

$$\sigma_E = 250 \text{ MPa}$$

Entonces:

$$FS = \frac{\sigma_E}{\sigma_{Fest}} \quad Ec (3.37)$$

$$FS = \frac{250 \text{ MPa}}{4.16 \text{ MPa}}$$

$$FS = 60.1$$

### **Simulación:**

Obtenido analíticamente el factor de seguridad de la viga se realiza la simulación por análisis por elementos finitos, colocando los apoyos y fuerzas. Ver figura 30.

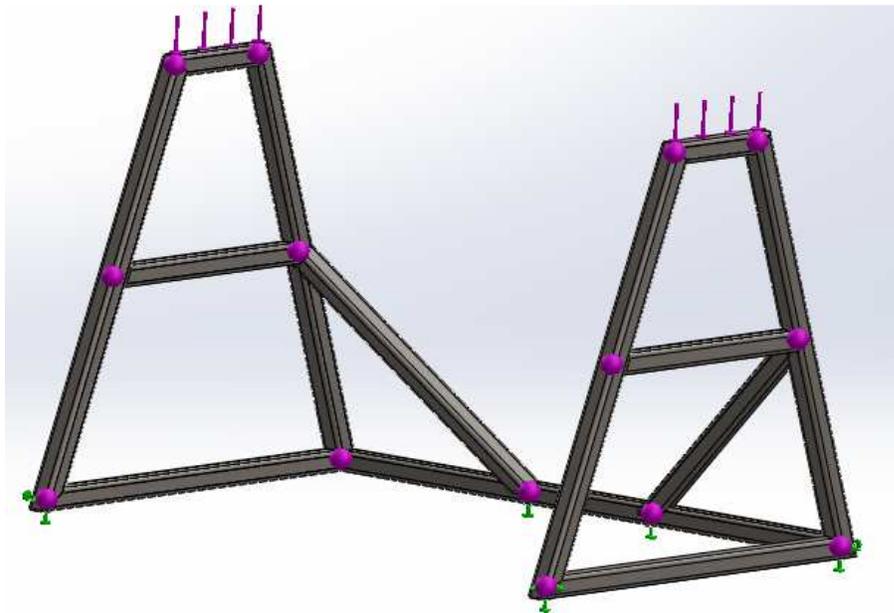


Figura 30 Aplicación de fuerzas a la estructura por software

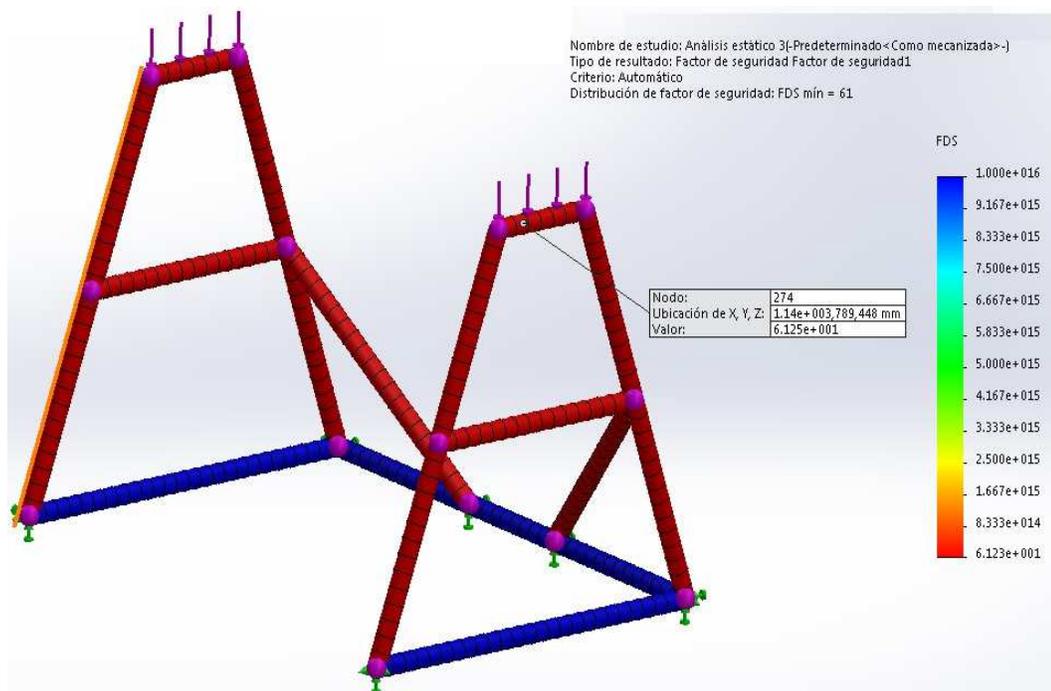


Figura 31 Simulación factor de seguridad en la estructura por software

El resultado de la simulación CAD por elementos finitos (figura 31) muestra que el valor mínimo de factor de seguridad y por ende, el más crítico en toda la estructura, es de 61 mismo que está ubicado en la parte en la cual estarán las chumaceras.

$$FS_{analítico} = 60,1 \qquad FS_{simulación} = 61$$

$$FS \cong 60.1 \cong 61$$

Comparando los resultados de la simulación con los obtenidos analíticamente, existe un 98.5% de efectividad, dejando el margen de error a tan solo 2.5%. Con aquello se comprueba la validez de los dos procesos realizados y se asegura un alto factor de seguridad en la estructura del mezclador.

### 3.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA PIÑÓN-CADENA

El proceso de diseño de una transmisión de movimiento por cadena puede entregar como resultado múltiples opciones donde varía el paso de la misma, el número de hileras, las dimensiones del mecanismo y algunas variables propias del diseño. La decisión de escoger la opción más adecuada estará acompañada de criterios, como el factor de seguridad y las características dimensionales de los componentes del sistema.

Se hallara la potencia de diseño seleccionando el factor de servicio con un funcionamiento suave de la maquinaria y un motor ligeramente impulsivo, de igual manera por medio de tablas se halla el factor de múltiples hileras (Ver anexo F). El diseño solo implica tener una hilera en la cadena, entonces se emplea:

$$P_d = \frac{P_M * K_s}{K_h} \qquad Ec (3.38)$$

Donde:

$$P_d = \text{Potencia de diseño}$$

$$P_M = \text{Potencia del motor}$$

$$K_s = \text{Factor de servicio}$$

$$K_h = \text{Factor de múltiples hileras}$$

Reemplazando:

$$P_d = \frac{0.5 \text{ HP} * 1}{1}$$

$$P_d = 0.5 \text{ HP}$$

### **Tipo de Lubricación:**

La lubricación de la cadena es esencial a fin de obtener una vida larga y sin problemas de este elemento. Se selecciona por la velocidad del piñón (Ver anexo E). Es recomendable utilizar lubricación Tipo A (manual o por goteo) misma que satisface la aplicación presentada en este trabajo. Se debe emplear un aceite mineral medio o ligero, sin aditivos. No se recomiendan aceites pesados ni grasas ya que su viscosidad es muy alta para ingresar en las holguras pequeñas que tiene la cadena.

Con los valores encontrados, se selecciona el número de dientes ideal para que el piñón transmita la potencia calculada, al igual que el paso de la cadena a ser usada. Ver anexo E.

El número de dientes del piñón es  $Z_1 = 25$ . En vista que la misma velocidad de giro de la caja reductora del motor hay transmitirla al conjunto del recipiente del mezclador, la relación de transmisión es de 1:1, por lo tanto  $Z_2 = 25$ .

Se procede con el cálculo de número de eslabones en la cadena:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_1 - N_2)^2}{4\pi^2 C/p} \quad Ec (3.39)$$

Donde:

$$\frac{L}{p} = \text{Longitud por número de eslabones en la cadena}$$

$$\frac{C}{p} = \text{Factor de distancia entre centros}$$

$$N_1 = N_2 = \text{Dientes del piñon}$$

La distancia entre centros ( $C/p$ ) no es precisamente un factor limitado, a menos que ello sea una necesidad determinada por el diseño. Es importante tener en cuenta que una distancia demasiado corta causa un desgaste prematuro de la cadena y adicional a esto se reduce la cantidad de dientes enganchados, Las distancias muy altas tampoco son convenientes dado que se presentan problemas de flexión y la cadena se torna muy pesada.

Algunos fabricantes recomiendan que la distancia entre centros este entre 30 y 50 veces el paso, en nuestro caso empezaremos con 35 como punto de partida para un diseño donde no se conoce la distancia entre centros. Siendo así reemplazamos:

$$\frac{L}{p} = 2(35) + \frac{25}{2}$$

$$\frac{L}{p} = 82.5 \text{ eslabones}$$

La distancia entre centros está dada por:

$$C = \frac{p}{4} \left[ -A + \sqrt{A^2 - 8 \left( \frac{N_1 - N_2}{2\pi} \right)^2} \right] \quad Ec(3.40)$$

Donde:

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p}$$

Entonces:

$$A = \frac{50}{2} - 82.5$$

$$A = -57.5$$

Reemplazamos el valor obtenido:

$$C = \frac{p}{4} \left[ 57.5 + \sqrt{57.5^2 - 8 \left( \frac{25 - 25}{2\pi} \right)^2} \right]$$

$$C = \frac{p}{4} * 115$$

$$C = 28.75p$$

Se utilizara una cadena No 40,  $p = 0.5$  pulg. De este modo,

$$C = 28.75(0.5) = 14.375 \text{ pulg}$$

Transformando a milímetros la distancia entre centros:

$$C = 365.12 \text{ mm}$$

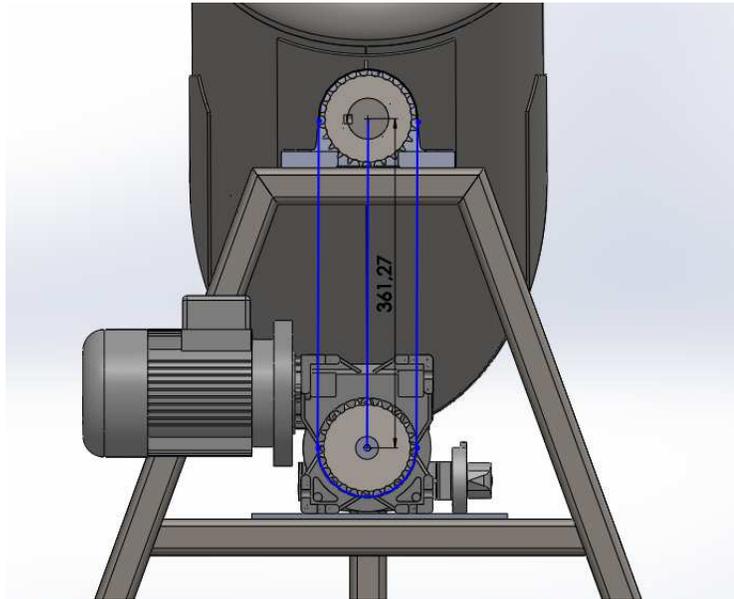


Figura 32 Distancia entre centros comprobada por software

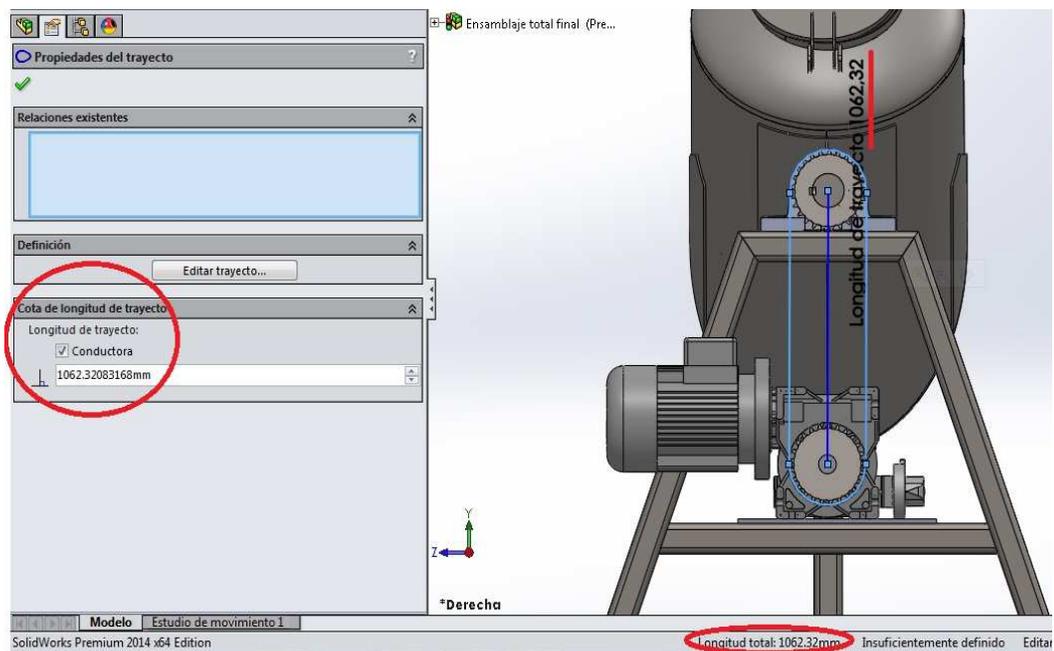


Figura 33 Comprobación de la distancia hallada analíticamente

Según la figura 32, tenemos una distancia muy aproximada al valor teórico calculado. La longitud de la cadena a usar se obtiene con la relación antes obtenida:

$$\frac{L}{p} = 82.5 \text{ eslabones}$$

$$L = 82.5 * 0.5 \text{ pulg}$$

$$L = 41.25 \text{ pulg} = 1047.75 \text{ mm}$$

Como se puede observar en la figura 33, la distancia que se tiene en el diseño es 1062.32 mm versus el valor teórico 1047.75 mm; al igual que en la distancia entre centros los valores son muy aproximados entre sí, por lo que se comprueba que el factor de distancia entre centros escogido para el diseño fue muy acertado.

También se va a realizar una estimación del factor de seguridad para un sistema de transmisión por cadena, dado con la fórmula:

$$F_s = \frac{F_{tensión}}{K_s * F} \quad Ec (3.41)$$

Donde:

$F_s =$  Factor de seguridad sistema transmisión cadena

$F_{tensión} =$  Fuerza de tensión de la cadena (ver Anexo E)

$K_s =$  Factor de servicio

$F =$  Fuerza periférica

El valor del factor de servicio y la fuerza de tensión se escogen del anexo F; entonces el valor de la fuerza periférica se presenta con la fórmula:

$$F = 6600 \frac{P_M * K_s}{V} \quad Ec (3.42)$$

Donde:

$F = \text{Fuerza Periférica (Lbf)}$

$P_M = \text{Potencia del motor (HP)}$

$V = \text{Velocidad media de la cadena (plg/seg)}$

Hallamos la velocidad media de la cadena:

$$V = Z_1 * \omega_1 * \text{paso}$$

$$V = 25 * 22 \text{ rpm} * 0.5 \text{ plg}$$

$$V = 275 \text{ plg/min} = 4.58 \text{ plg/seg}$$

Reemplazamos:

$$F = 6600 \frac{0.5 \text{ HP} * 1}{4.58 \text{ plg/seg}}$$

$$F = 720.52 \text{ lbf}$$

Finalmente con los datos obtenidos hallamos el factor de seguridad estimado:

$$F_s = \frac{3130 \text{ lbf}}{1 * 720.52 \text{ lbf}}$$

$$F_s = 4.34$$

El factor de seguridad hallado es alto, mismo que asegura el correcto funcionamiento de nuestro sistema de transmisión por cadena.

### 3.2.5 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE CHUMACERAS

La vida de un rodamiento se define como el número de revoluciones o el número de horas de funcionamiento a una velocidad determinada que este puede soportar antes de que se manifieste el primer síntoma de fatiga del metal en uno de sus aros o elementos rodantes.

Ya que los rodamientos serán sometidos a esfuerzos dinámicos, es decir, rodamientos que giran bajo carga, es necesario calcular la capacidad de carga dinámica para lo cual se usara el catálogo SKF de donde haremos la selección al igual que sus respectivos soportes.

Para la carga dinámica en rodamientos:

$$P = XF_r + YF_a \quad Ec (3.43)$$

Donde:

$P =$  Carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

$X =$  factor de carga radial del rodamiento

$F_r =$  Carga radial real del rodamiento (kN)

$Y =$  factor de carga axial del rodamiento (kN)

$F_a =$  Carga axial real del rodamiento (kN)

Como la carga axial es casi despreciable ( $F_a \approx 0$ ) se tiene:

$$P = XF_r$$

Reemplazando:

$$X = 1 \left( \frac{F_a}{F_r} \leq e \right) \quad F_r = 345 \text{ Kg} = 3381 \text{ N}$$

$$P = 1 * 3381 N$$

$$P = 3381 N$$

Entonces se calcula la duración:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad Ec (3.44)$$

Donde:

$L_{10h}$  = vida nominal (con un 90 % de fiabilidad), horas de funcionamiento

$n$  = velocidad límite giro rodamiento (rpm)

$C$  = capacidad de carga dinámica (kN)

$P$  = carga dinámica equivalente del rodamiento (kN)

$p$  = exponente de la ecuación de la vida (3 de bola o 10/3 de rodillo)

En base a recomendaciones del catálogo, para 8 horas de trabajo continuo, el valor de  $L_{10h} = 15000$ .

Despejando:

$$C = P \sqrt[p]{\frac{L_{10h} * 60 * n}{10^6}} \quad Ec (3.45)$$

$$C = 3381 * \sqrt[3]{\frac{15000 * 60 * 10000}{10^6}}$$

$$C = 32.62 kN$$

Del catálogo SKF (ver anexo G) se escoge el rodamiento en la sección rodamientos de bolas, con las siguientes características:

- Denominación: 2209 ETN9
- Amortiguación: De Bolas
- Característica: Agujero Cilíndrico
- $\varnothing = 45 \text{ mm}$

Con estos datos de igual manera buscamos la chumacera de pie que tenga este rodamiento, misma que usaremos para el mezclador, con las siguientes características:

- Denominación: SLN 209
- Anillos de fijación: 2 por soporte (FRB 3.5/85)
- $\varnothing$  interno = 45 mm
- $\varnothing$  externo = 67 mm
- Lubricación: Por Graseo

### 3.2.6 DISEÑO DE LA CHAVETA DEL EJE

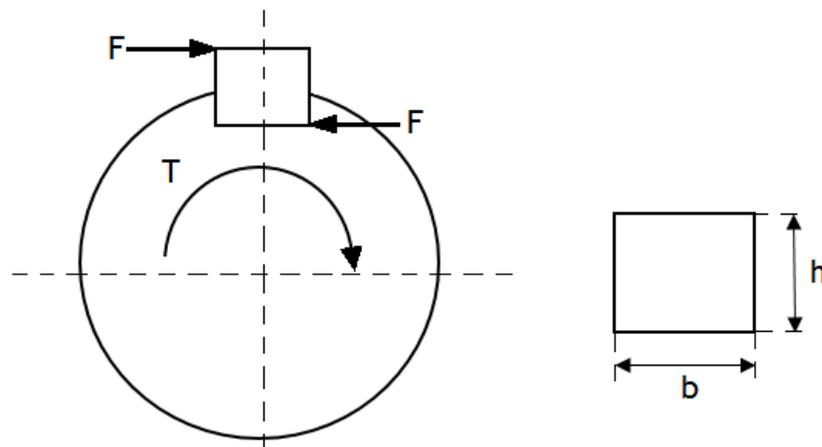


Figura 34 Dimensionamiento de la chaveta

La chaveta o cuña se maneja en medidas estándar, la selección se la realiza en relación al diámetro del eje  $d = 1.75 \text{ pulg.}$  Del anexo H se selecciona una chaveta de sección cuadrada igual a  $1/2 \times 1/2 \text{ plg}$  para b y h respectivamente. Ver Figura 34.

El material será acero estructural, ASTM A36, el cual tiene las siguientes características:

$$S_y = 250 \text{ E}^6 \text{ Pa}$$

$$S_{sy} = 1.265 \text{ E}^8 \text{ Pa}$$

Donde:

$S_y = \text{Resistencia a la fluencia}$

$S_{sy} = \text{Resistencia al cortante máximo}$

De manera constante las chavetas fallan por cortante, por esta razón calculamos el esfuerzo cortante máximo como se muestra:

$$\tau_c = \frac{F}{A_c} \quad \text{Ec (3.46)}$$

Donde:

$\tau_c = \text{Esfuerzo cortante máximo (Pa)}$

$F = \text{Fuerza cortante (N)}$

$A_c = \text{Área sometida al cortante (m}^2\text{)}$

Siendo:

$$F = \frac{2 * T}{d} \quad \text{Ec (3.47)}$$

Donde:

$T = \text{Torque aplicado al eje (N.m)}$

$d = \text{diámetro del eje (m)}$

Y también:

$$A_c = l * b \quad \text{Ec (3.48)}$$

Donde:

$$l = \text{longitud de la chaveta (m)}$$

$$b = \text{ancho de la chaveta (m)}$$

La longitud de la chaveta es desde la cara exterior del piñon hasta el inicio de la chumacera, es decir, por todo el largo que tiene el piñon entonces la longitud es 0.035 m, reemplazando:

$$A_c = 0.035 \text{ m} * 0.0127 \text{ m}$$

$$A_c = 4.445 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

La fuerza cortante es:

$$F = \frac{2 * 109.2 \text{ Nm}}{0.04445 \text{ m}}$$

$$F = 4913.38 \text{ Nm}$$

El esfuerzo cortante reemplazando los valores obtenidos:

$$\tau_c = \frac{4913.38 \text{ Nm}}{4.445 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau_c = 11.05 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Comparando el esfuerzo hallado con la resistencia cortante del material usado (ASTM A36), el factor de seguridad que tendrá el diseño de chaveta es:

$$FS_c = \frac{Ssy}{\tau_c} \quad Ec (3.49)$$

$$FS_c = \frac{1.265 E^8 Pa}{11.05 \times 10^6 Pa}$$

$$FS_c = 11.45$$

Este valor obtenido asegura que las dimensiones de largo, ancho, el tipo, así como también el material, satisfacen las necesidades de resistencia (cargas y esfuerzos) aplicados en la chaveta.

## **CAPÍTULO IV**

### **4 IMPLEMENTACIÓN DEL MEZCLADOR**

#### **4.1 SISTEMA MECÁNICO**

La construcción del mezclador para sólidos se debe realizar en un taller mecánico industrial, el cual disponga de los equipos y herramientas necesarias para la elaboración de cada uno de los componentes que conformaran la máquina, así como también el ensamble de dichas partes construidas.

No es necesario contar con equipos de alta tecnología; la construcción de este mezclador incluye básicamente procesos de cizallado, rolado, prensado, corte, torneado, fresado y soldadura (por arco eléctrico y TIG).

Los componentes que conforman el mezclador se los construye de acuerdo con los planos que se proporciona al taller mecánico. Se debe de tener en cuenta un factor muy importante que es el que toda la materia prima a usar para la construcción de la máquina, se pueda adquirir en el mercado local, al igual que los componentes calculados y/o seleccionados en catálogos.

##### **4.1.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES**

A continuación se enlistan todas las máquinas, equipos, herramientas, instrumentos de medición y verificación y materia prima que se requiere para la construcción del sistema mecánico:

#### **4.1.1.1 Máquinas y equipos**

- Dobladora
- Cizalla
- Roladora
- Prensa Hidráulica
- Punzonadora
- Torno
- Fresadora
- Soldadora eléctrica
- Soldadora con tanque de Argón
- Amoladora
- Taladro vertical
- Taladro de mano
- La que se cierra a mano
- Esmeril
- Compresor

#### **4.1.1.2 Herramientas**

- Sierra
- Entenalla
- Útiles para tornear/fresar
- Juego de Brocas
- Discos de corte
- Discos de desbaste
- Martillo
- Limas
- Sierra de copa
- Granete
- Rayador
- Gratas

#### 4.1.1.3 Instrumentos de medición y verificación

- Calibrador pie de rey
- Flexómetro
- Compás
- Nivel
- Escuadra
- Graduador

#### 4.1.1.4 Materia Prima

- Plancha de acero ASTM A240 tipo AISI 304 2440x1220 e=3 mm
- Tubo cuadrado de acero ASTM A36 de 40mm; e=4mm; l=18000mm
- Eje acero inoxidable AISI 304  $\varnothing = 1\frac{3}{4}$  plg; l=1180mm
- Eje de acero ASTM A36  $\varnothing = \frac{3}{4}$  plg; l=150mm
- Perfil en "L" ASTM A36 de 40mm; e=3mm; l=400 mm
- Placa de acero ASTM A36, 200x200 mm; e=2mm
- Plancha de latón 750x700 mm; e=1,5mm
- Electrodo E6011
- Electrodo de tungsteno WC20

#### 4.1.1.5 Materia Normalizada

- Chumaceras
- Piñones
- Cadena
- Pernos
- Tuercas
- Arandelas planas
- Arandelas de presión

#### **4.1.1.6 Elementos a construir**

- Recipiente del mezclador
- Prensado de fondos
- Prensado de tapas
- Estructura del sistema
- Refuerzos frontales del mezclador
- Refuerzos laterales del mezclador
- Eje principal de la máquina
- Eje del moto reductor
- Apoyos de las chumaceras
- Base para el moto reductor
- Caja de control
- Estructura de la caja de control
- Chaveteros - chavetas en ejes y piñones

#### **4.1.2 FABRICACIÓN DE COMPONENTES**

Los procesos de fabricación no son otra cosa que el conjunto sistemático de operaciones necesarias para convertir la materia prima en piezas para la construcción del producto final, optimizando recursos económicos así como laborales, y distribuyendo de mejor manera los tiempos de fabricación.

A continuación se detallan los diagramas de procesos de fabricación de cada uno de los elementos más representativos que componen el mezclador de sólidos.

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Recipiente del Mezclador**  
**Código 1.01**  
**Cantidad 2**

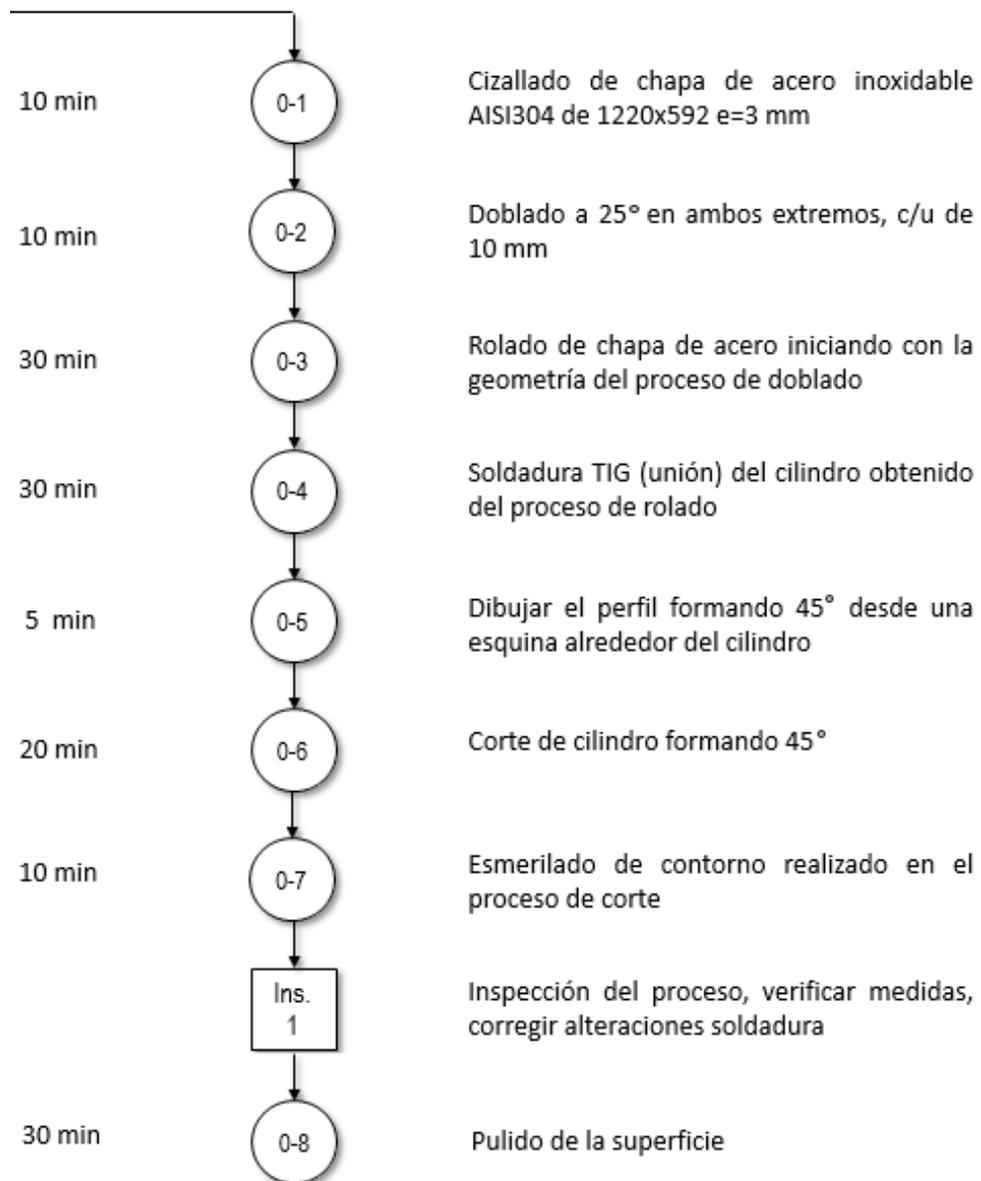


Diagrama 1 Proceso manufactura del recipiente

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Fondos del recipiente mezclador**  
**Código 1.02**  
**Cantidad 2**

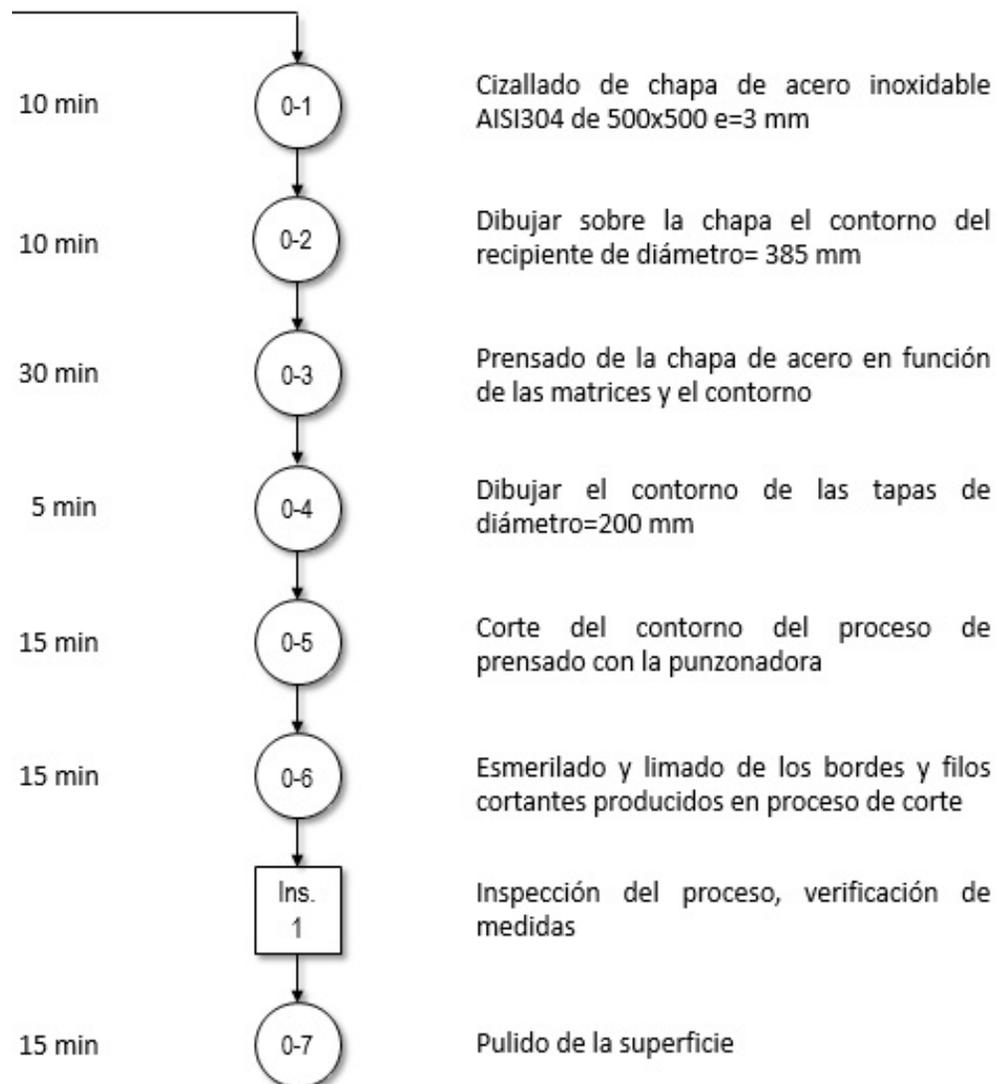


Diagrama 2 Proceso manufactura fondos (tapas soldadas en recipiente)

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Tapas del recipiente mezclador**  
**Código 1.03**  
**Cantidad 2**

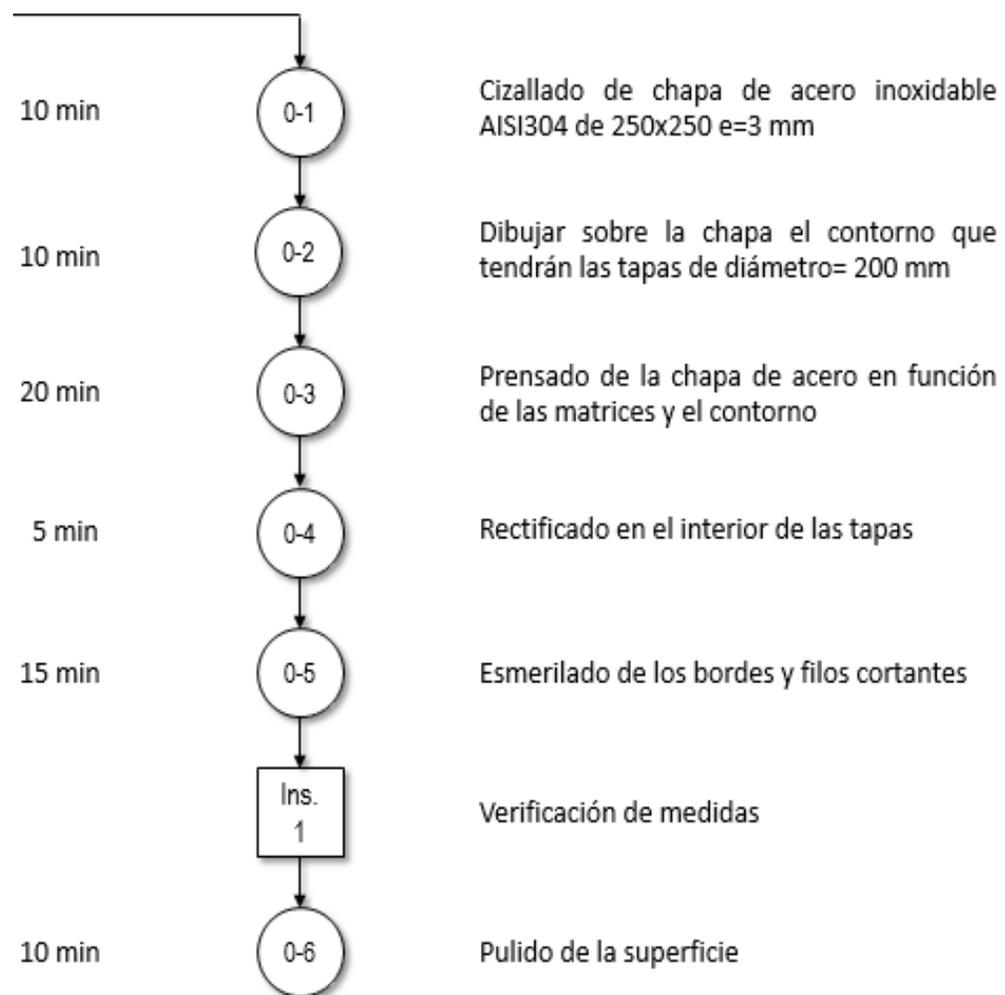


Diagrama 3 Proceso manufactura de tapas

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Refuerzos frontales recipiente mezclador**  
**Código 1.04**  
**Cantidad 4**

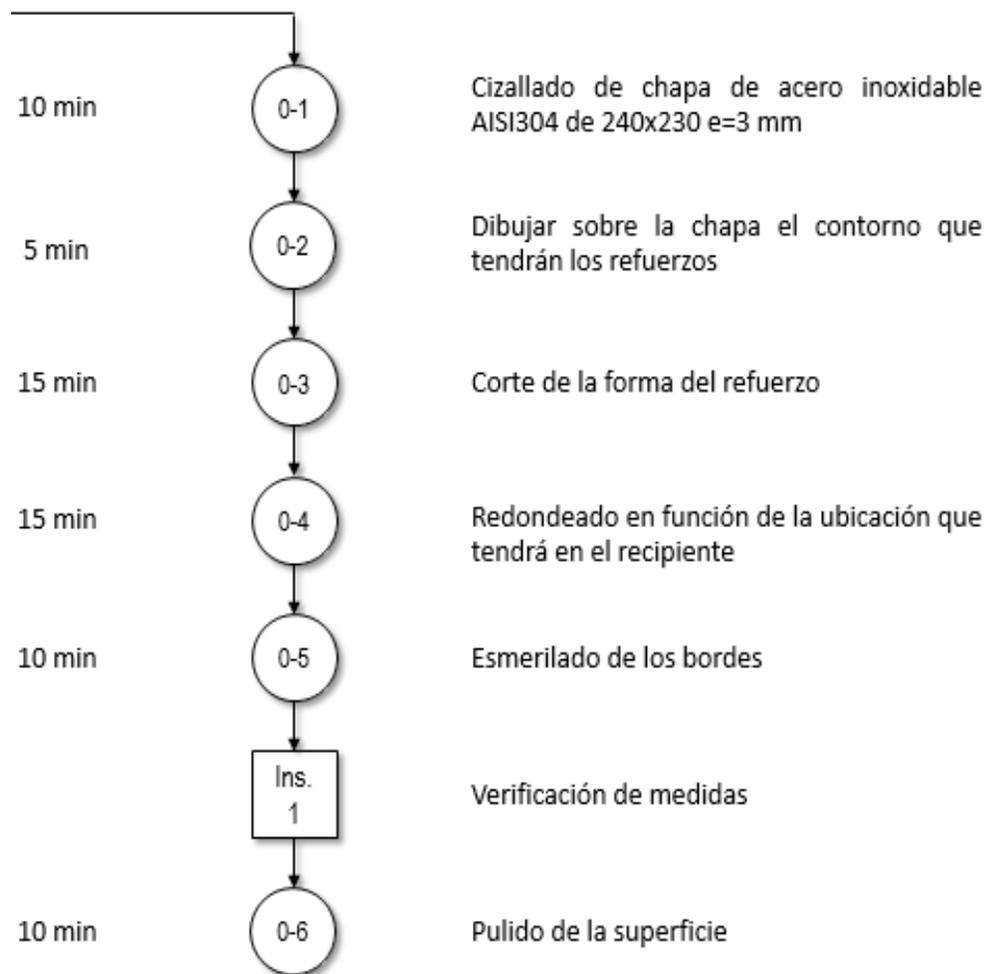


Diagrama 4 Proceso manufactura en refuerzos frontales

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Refuerzos laterales recipiente mezclador**  
**Código 1.05**  
**Cantidad 2**

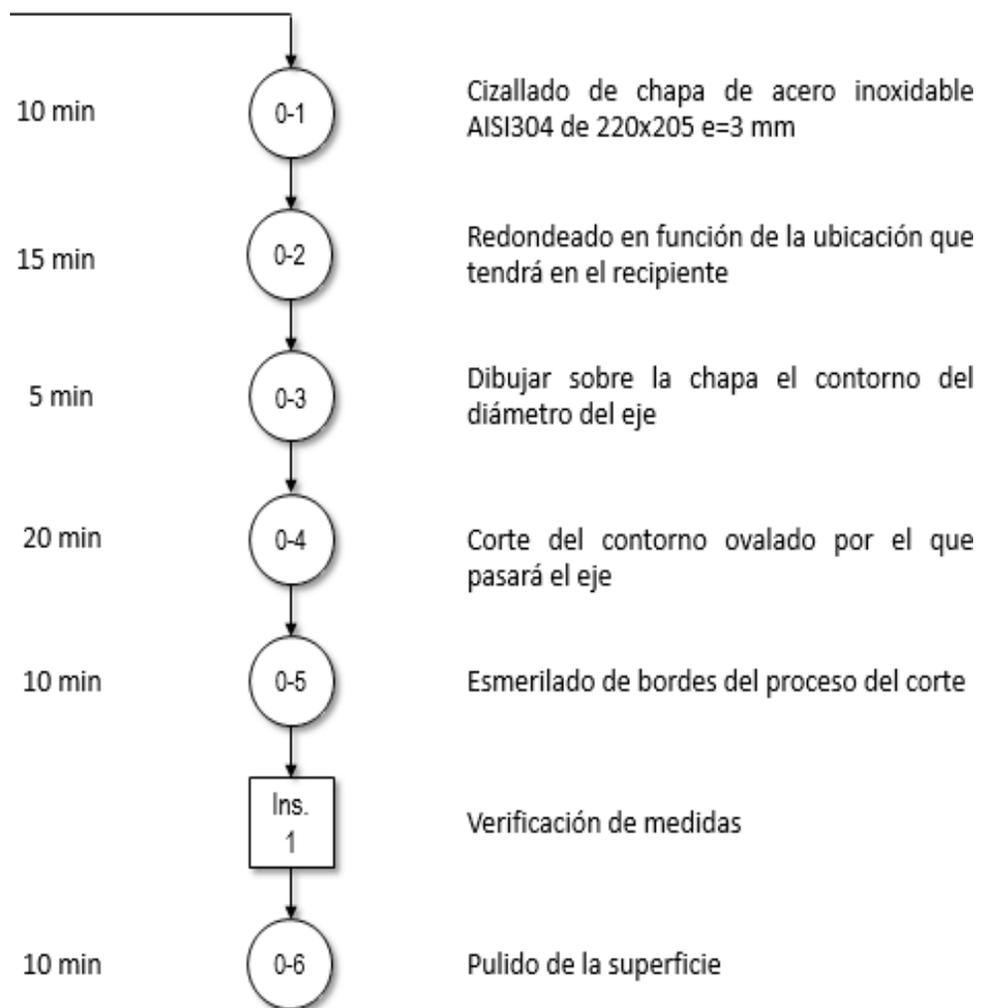


Diagrama 5 Proceso manufactura en refuerzos laterales

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Eje principal**  
**Código 2.01**  
**Cantidad 1**

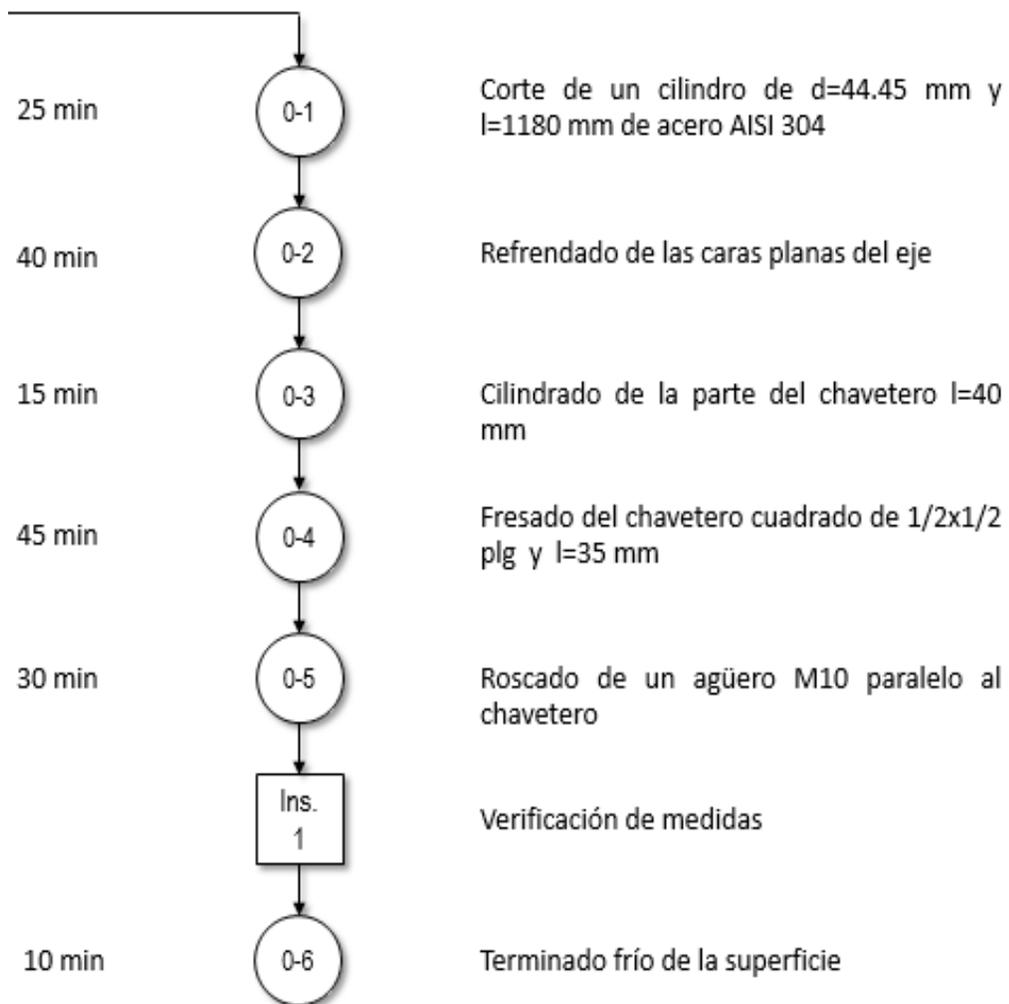


Diagrama 6 Proceso manufactura del eje principal

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Eje para caja del motor**  
**Código 2.02**  
**Cantidad 1**

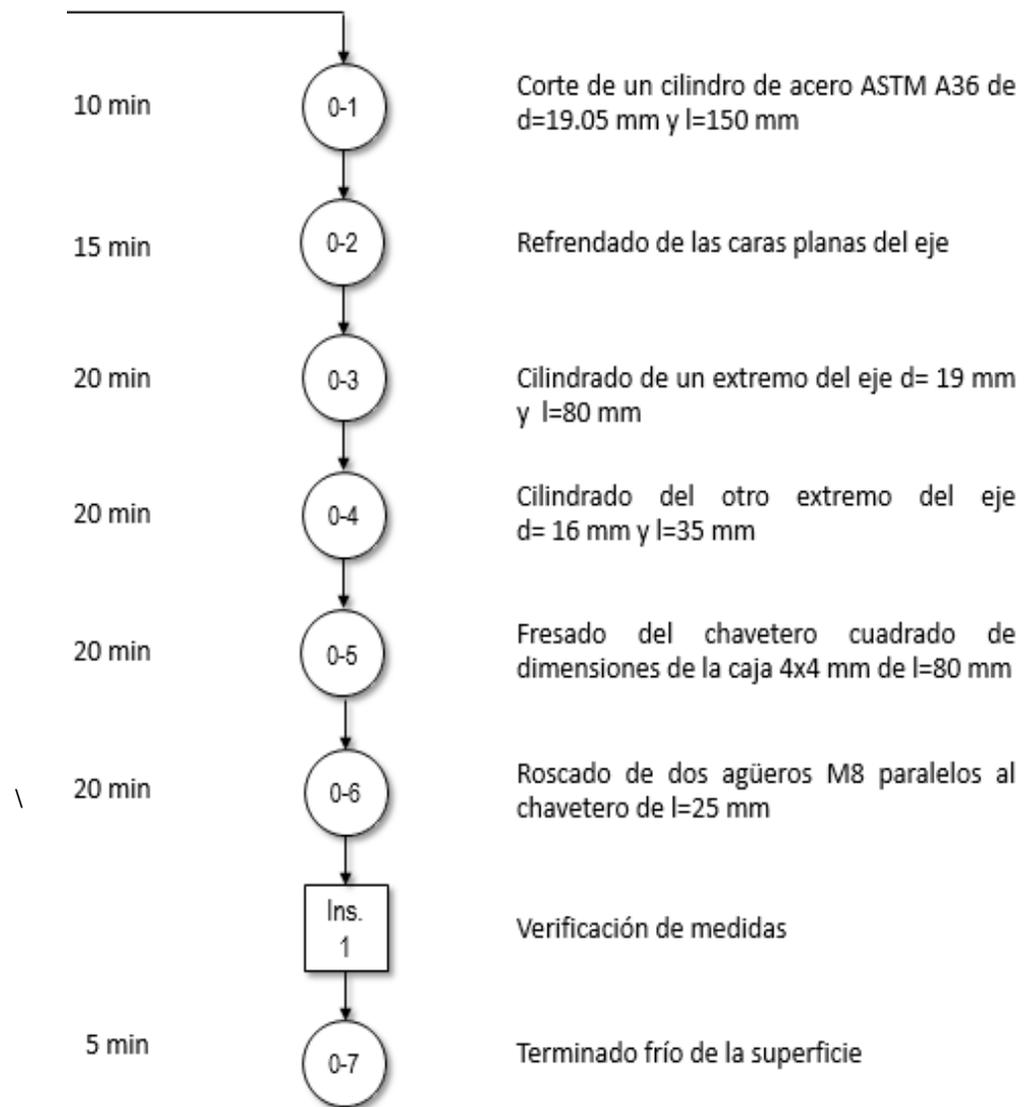


Diagrama 7 Proceso manufactura del eje motoreductor

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Estructura del mezclador**  
**Código 3.01**  
**Cantidad 1**

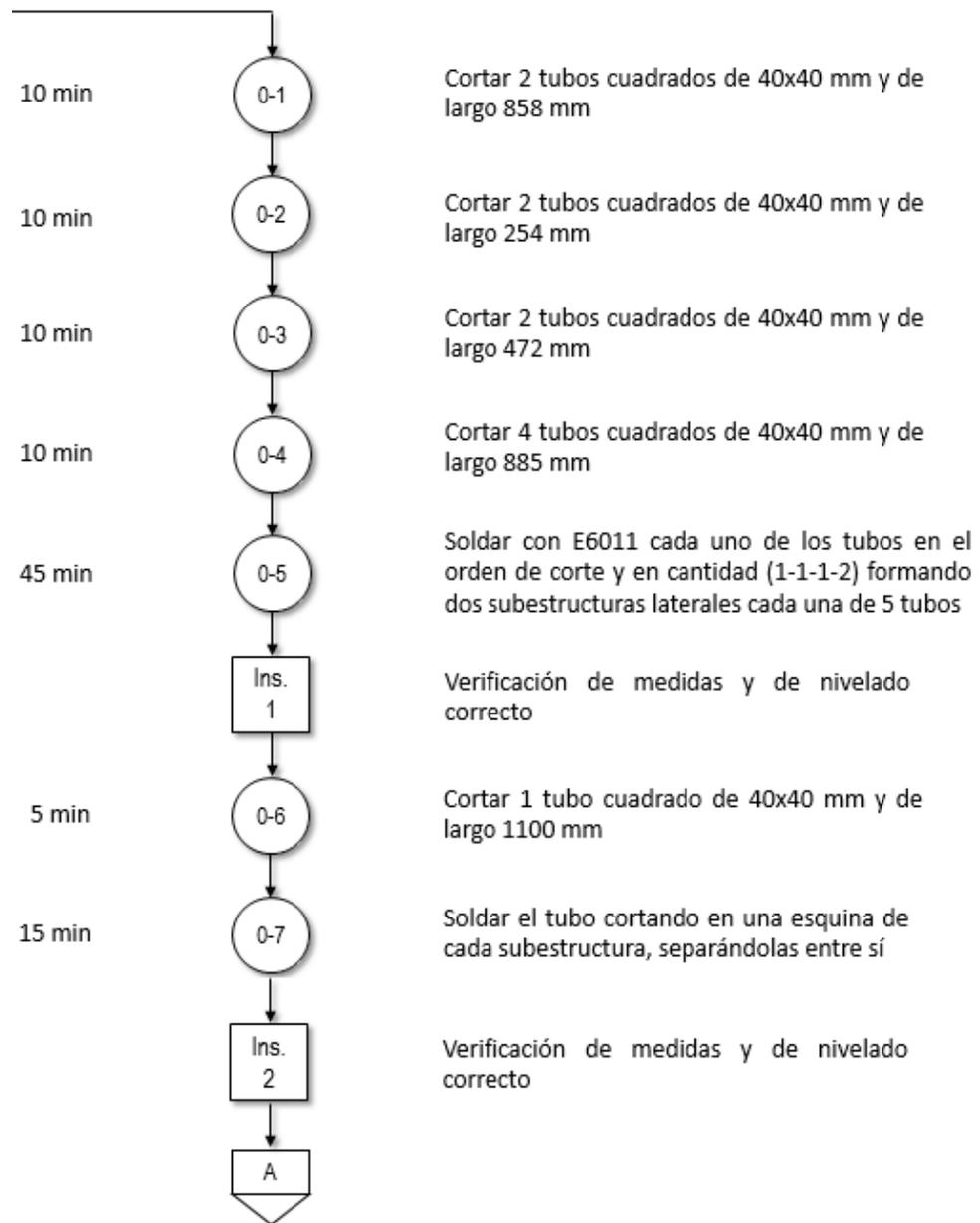


Diagrama 8 Proceso manufactura de estructura

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Estructura del mezclador**  
**Código 3.01**  
**Cantidad 1**  
**(Continuación)**

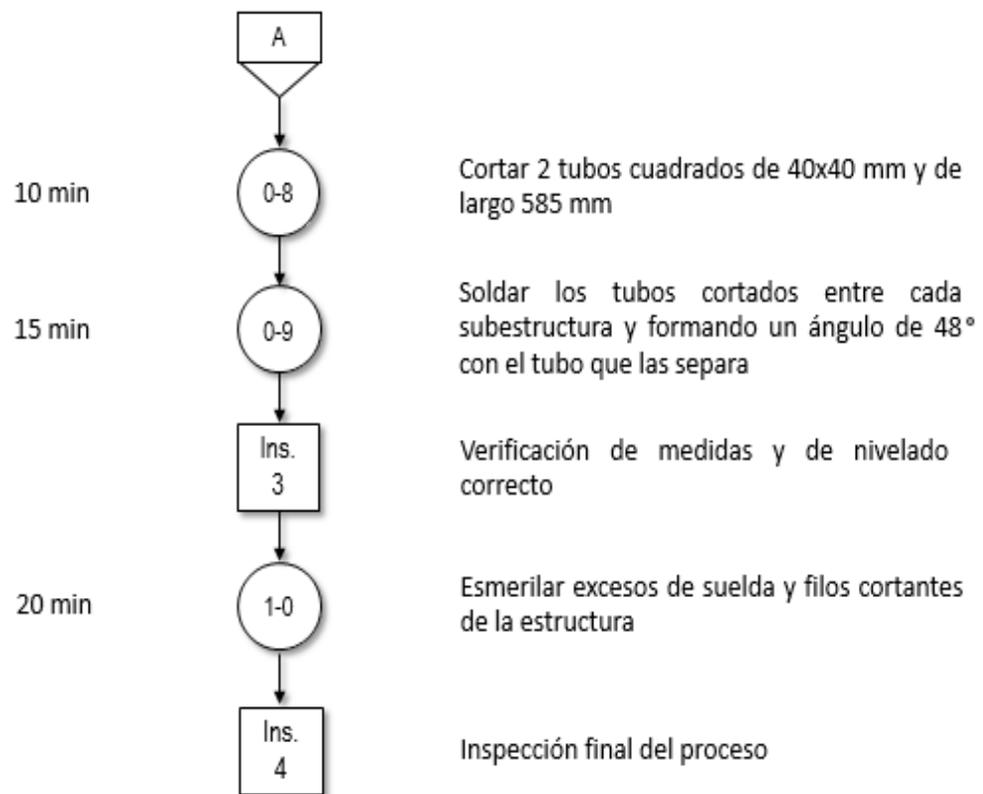


Diagrama 9 Proceso manufactura de estructura (continuación)

**Diagrama de Operación de Procesos  
Tablero Eléctrico  
Código 3.02  
Cantidad 1**

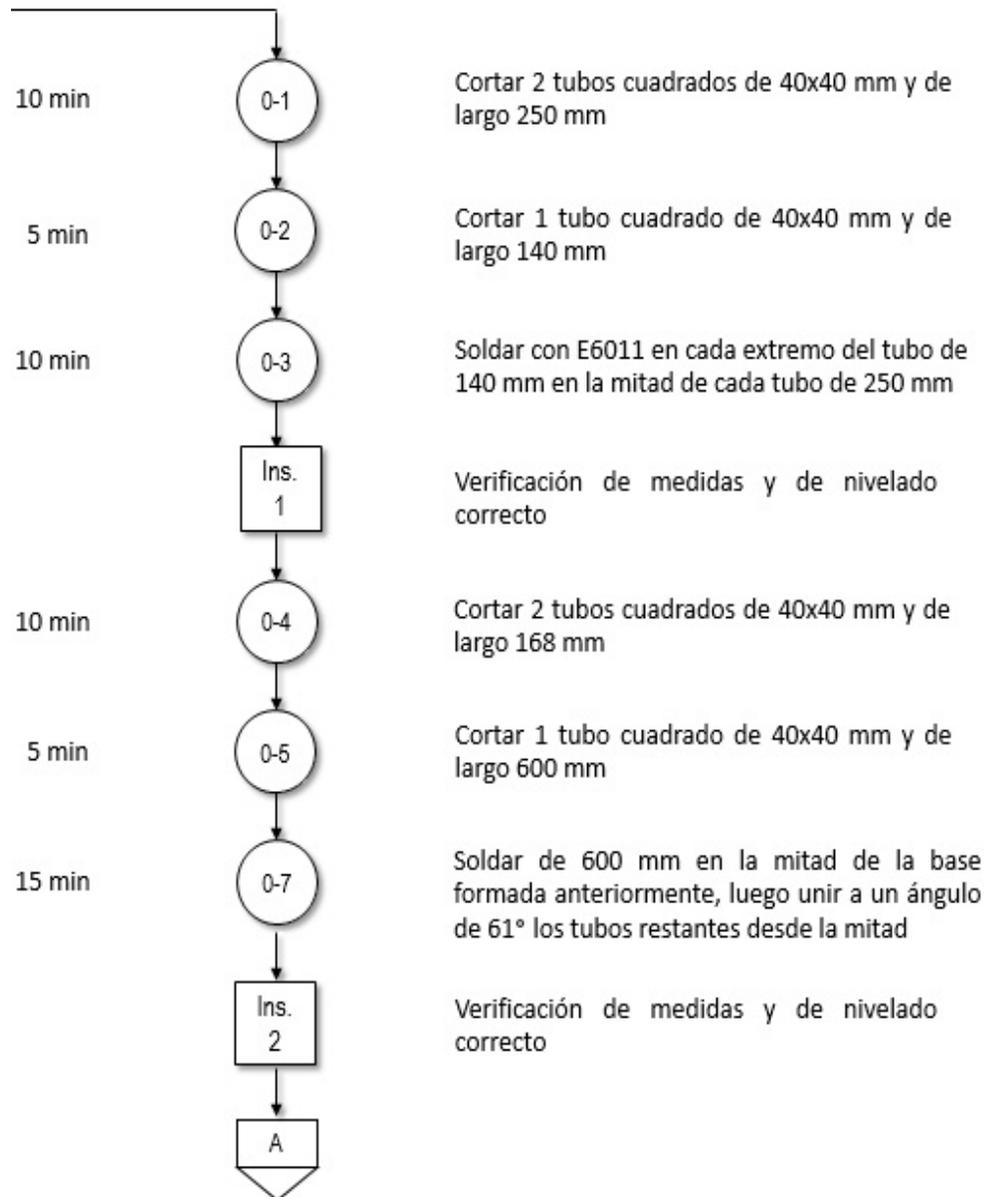


Diagrama 10 Proceso manufactura del tablero eléctrico

**Diagrama de Operación de Procesos**  
**Tablero Eléctrico**  
**Código 3.02**  
**Cantidad 1**  
**(Continuación)**

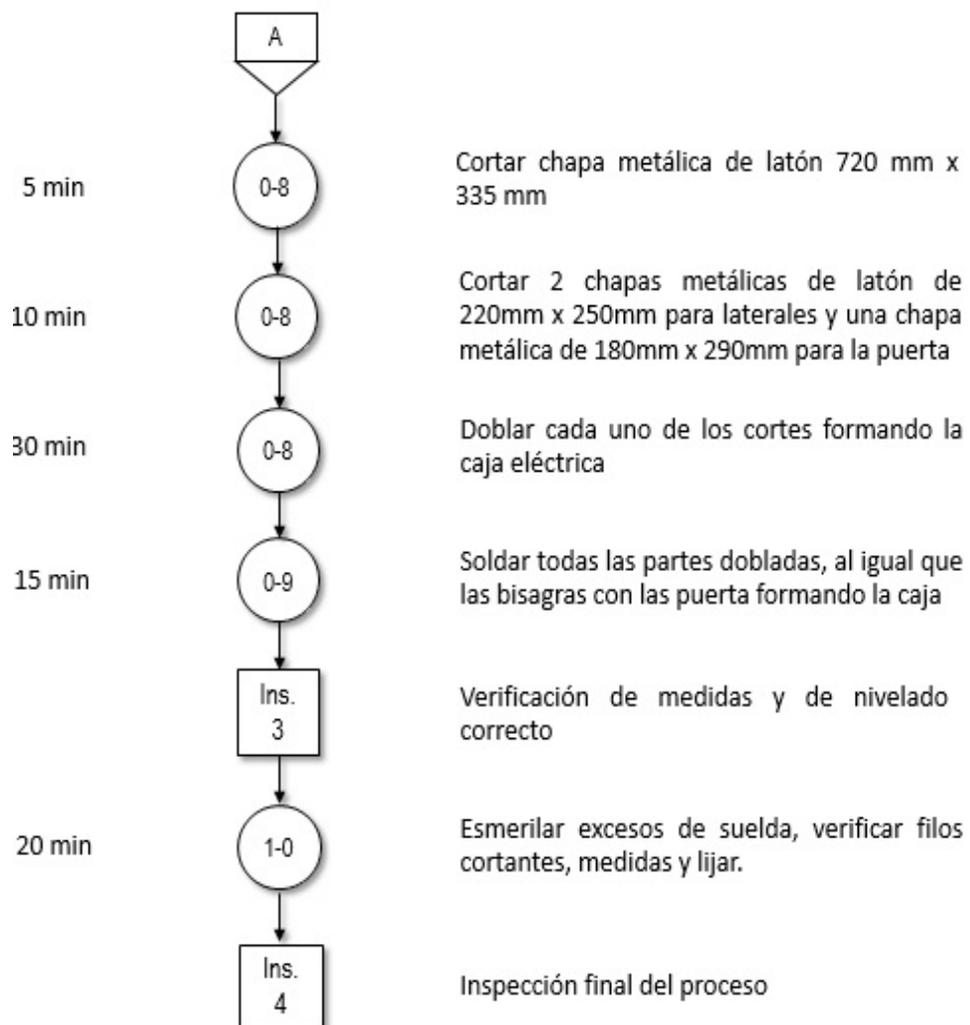


Diagrama 11 Proceso manufactura del tablero eléctrico (continuación)

En las fotografías desde la figura 35 hasta la figura 42 se encuentran algunos de los procesos constructivos descritos anteriormente.



Figura 35 Proceso de doblado de puntas



Figura 36 Proceso de rolado de la plancha acero



Figura 37 Proceso de prensado de tapas para recipiente



Figura 38 Proceso de corte de tubo cuadrado para estructura



Figura 39 Proceso final de prensado de fondos y tapas



Figura 40 Proceso de perforado de fondos del recipiente



Figura 41 Remoción de viruta de un recipiente



Figura 42 Soldado del recipiente del mezclador

### **4.1.3 INSTALACIÓN Y MONTAJE**

Para realizar el montaje del mezclador se considera la construcción previa de las partes y subensamblajes mecánicos que lo componen; teniendo en cuenta las especificaciones establecidas en los planos de construcción así como también los diagramas de operaciones de procesos.

#### **4.1.3.1 Procedimiento de montaje de cada parte del mezclador**

##### **4.1.3.1.1 Montaje del recipiente del mezclador**

- Las partes más importantes del recipiente son las soldaduras tanto de cada cilindro que compone el recipiente en conjunto con los fondos, las tapas y los refuerzos. Tampoco se puede dejar de comprobar la unión soldada del eje principal con el recipiente tanto exterior como interiormente; hallar de manera acertada el centro de masa del conjunto para no sobrecargar ningún punto del mezclador.
- Seguir las especificaciones establecidas en los planos mecánicos, realizar los cortes a las medidas implantadas y comprobar cada una de las dimensiones calculadas.
- Fijarse que las tapas del mezclador tengan un movimiento fluido sin trabas al levantarse y bajarse, y logren hacer sello con el fondo con un correcto apriete de las mismas. Poner el caucho de grado alimenticio alrededor de este fondo para evitar fugas de materia prima.

#### **4.1.3.1.2 Montaje de la estructura del mezclador**

- Armar los subensamblajes de cada extremo del mezclador, siguiendo especificaciones de las tolerancias geométricas como perpendicularidad, paralelismo, estabilidad.
- Realizar los cortes en las medidas y ángulos implantados, ejecutando previamente puntos de suelda para posteriormente realizar el cordón de soldadura.
- Verificar la correcta nivelación con el piso, asegurándose que sea plano y recto al igual que la estructura, de esto dependerá el éxito en el control del mezclador para que la descarga sea manual.
- Perforar perpendicularmente en la parte superior de la mitad de cada subensamblaje para poder colocar las chumaceras, dando a estas, ubicación exacta en el centro, evitando así, esfuerzos y fatiga innecesarios a los rodamientos y al eje principal.

#### **4.1.3.1.3 Montaje del soporte para el motor**

- Asegurarse que este correctamente nivelado de igual forma con toda la estructura del mezclador, ya que el sistema piñón - cadena debe de ser perpendicular y totalmente recto, de esto dependerá el correcto desempeño de giro del mezclador.
- Verificar que el motor este fijo a la base, darle un buen ajuste a pernos, tuercas y arandelas de presión.

#### **4.1.3.1.4 Montaje del recipiente en la estructura**

- Una vez que tenemos terminado el recipiente y la estructura, se deben de colocar las chumaceras en cada extremo del eje principal, de tal forma que la separación entre chumaceras sea igual a la separación que tiene la estructura.
- Realizado el proceso anterior, simplemente se debe asentar las chumaceras en la estructura, y ajustar los pernos, tuercas y arandelas de presión. Verificar que el movimiento del recipiente sea suave y uniforme.

#### **4.1.3.1.5 Montaje del sistema de movimiento**

- Colocar los piñones del eje principal y del eje del motoreductor, verificando que hagan juego chaveta – chavetero, asegurarse que estén asegurados con los prisioneros y los pernos internos del eje. Las caras de los piñones deben de estar paralelas entre sí, pero a la misma distancia.
- Terminado el proceso anterior se pone la cadena entre los dientes de los piñones, asegurando esta con el candado; es importante verificar que la cadena no este ni muy floja, ni muy apretada.

#### **4.1.3.1.6 Montaje de la válvula tipo mariposa**

- Al final del agujero de descarga tenemos una férula, al igual que en la válvula tipo mariposa, simplemente se deben de empatar estos, y colocar la vincha de seguridad dando un correcto ajuste.

#### **4.1.3.1.7 Montaje de la caja de control**

- Colocar el pedestal de control a una distancia prudente del mezclador (de la parte del motoreductor). Se recomienda como mínimo sea 50 cm. Asegurarse que tenga alimentación trifásica 220V.

#### **4.1.3.2 Procedimientos de instalación**

La instalación de todos los procedimientos se realiza para poner en marcha a la máquina mezcladora, con y sin carga, además de verificar el funcionamiento de cada elemento del que está compuesto el mezclador. Para ello se debe tener información proporcionada por:

- Planos de taller
- Diagramas de procesos
- Procedimiento de construcción y montaje

Los planos se encuentran en el anexo N. Los diagramas de procesos se encuentran desde la pág. 83 a la pág. 93.

A continuación se encuentra el diagrama de instalación de los procedimientos de la parte mecánica de la máquina:

No 001	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE				CÓDIGO: M.1.0.0			
	FORMULARIO DE EJECUCIÓN DE PROCEDIMIENTOS				Pág: 1 de 1			
Sección	Almacenamiento, Clasificación, Control e Inspección			Resumen		Responsables 1)Andrés Solimayor Salazar 2)		
Proceso	Construcción del mezclador en "V"			Actividad	Genera	Firma Responsable 1		
				Operación	<input type="radio"/>			
Subproceso	Montaje del mezclador en "V"			Inspección	<input type="checkbox"/>	Firma Responsable 2		
				Transporte	<input type="checkbox"/>			
Método	<input checked="" type="checkbox"/> Actual <input type="checkbox"/> Propuesto			Almacenaje	<input type="checkbox"/>	Comentarios:		
Tipo	<input type="checkbox"/> Empleado <input checked="" type="checkbox"/> Material <input type="checkbox"/> Maquina			Demora	D			
No	Descripción	Tipo			Tiempo [min]	Tiempo Total [min]	Observaciones	
1	Almacenamiento de la materia prima.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	0,0	0,0	
2	Transportar el material desde bodegaje hasta la máquina mezcladora.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	3	3,0	
3	Conectar la máquina mezcladora (220V trifásica).	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	0,5	3,5	
4	Encender la máquina mezcladora	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	0,5	4,0	
5	Despejar la zona en la que trabajará el mezclador	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	2	6,0	
6	Verificar el funcionamiento de la máquina sin carga.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	15	21,0	
7	Medir la cantidad de material para ser usado en la máquina.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	5	26,0	
8	Colocar el material a mezclar en cada una de las entradas del mezclador.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	3	29,0	
9	Tabular el tiempo necesario que se desee de mezclado.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	2	31,0	
10	Verificar el funcionamiento de la máquina con carga.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	15	46,0	
11	Colocar un saquillo debajo del recipiente para la descarga del producto.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	2	48,0	
12	Realizar la descarga por gravedad a través de la válvula tipo mariposa.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	4	52,0	Repertir los pasos 8-12 cuantas veces se requiera
13	Hacer una inspección del mezclado homogéneo del producto.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	3	55,0	
14	Retirar el saquillo lleno de 50 Kg.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	2	57,0	
15	Transportar el material mezclado a la bodega.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	3	60,0	
16	Almacenamiento en bodega del producto final.	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	D	5	65,0	
<b>Tiempo por revisión</b>	<b>Frecuencia de aplicación de mantenimiento</b>	<b>Materiales</b>			<b>Repuestos</b>		<b>Herramienta requerida</b>	
Mensual	Anual	Ninguno			Cadena, Chumaceras, pemos, chavetas		Pinzas de de presión, Juego de llaves, Destornillador	

Diagrama 12 Flujo de ejecución de procedimientos mecánicos

## 4.2 SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

La selección de los elementos eléctricos – electrónicos del mezclador se muestran a continuación en función de los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina.

### 4.2.1 SELECCIÓN DE COMPONENTES

#### 4.2.1.1 Motor

El motor ha sido seleccionado en base a los cálculos mecánicos, mismos que se resumen a continuación:

$$P_m = 0.5 \text{ HP} \quad \omega = 22 \text{ rpm} \quad V = 220 \text{ V (trifásico)} \quad Ec \text{ (4.1)}$$

El sistema de transmisión de potencia que se usara en el diseño del mezclador es un motor- reductor de eje hueco (ortogonal). Ver figura 54.

Esta característica es de excelente sujeción y alineamiento para el eje, ya que el mismo atraviesa completamente la caja reductora de velocidad del motor; que sumado a los complementos (chaveta y pernos con arandelas en el interior del eje) aseguramos la correcta transmisión de potencia al recipiente de mezcla, de igual manera aplicamos la propiedad de concentricidad a cada uno de sus componentes para que el sistema tenga un desgaste mínimo o nulo de estos.

El sistema piñón – cadena – piñón también asegura una correcta alineación para finalmente dar movimiento a nuestra máquina mezcladora.

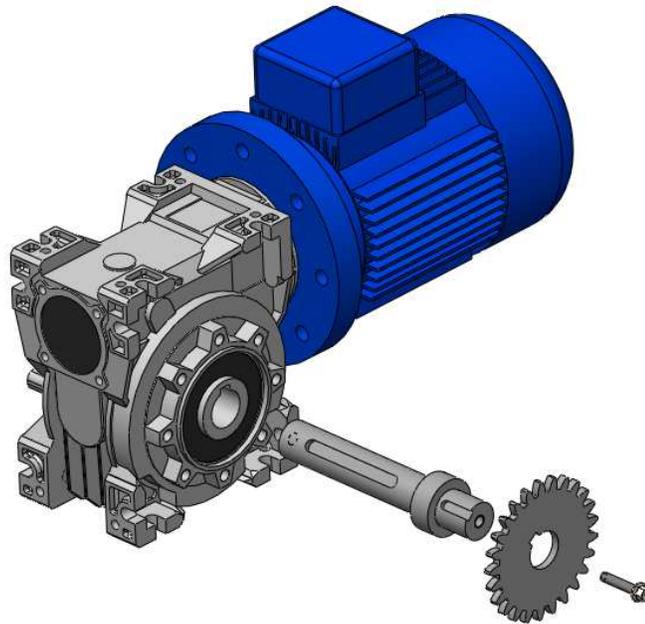


Figura 43 Mecanismo de movimiento del motoreductor.

A continuación se presentan las características del motor escogido:

Tabla 24

Características técnicas del motor

<b>Características Técnicas</b>	
<b>Marca</b>	Lafert
<b>Conexión</b>	Delta / Estrella
<b>Tipo</b>	Tornillo sin fin
<b>Torque</b>	160 Nm
<b>Potencia</b>	0,37 kW / 4 Polos
<b>Intensidad</b>	2,1 / 1,1 A
<b>Voltaje</b>	208 - 230 / 440 – 460 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Marca de caja</b>	Varvel
<b>Tipo de caja</b>	Ortogonal
<b>Tamaño de caja</b>	BOX 050
<b>Protección</b>	IP55 (contra polvo / chorros agua)
<b>Aislamiento</b>	Clase F
<b>Factor de servicio</b>	2 (Soporta hasta 38 Nm, con hasta 24 horas de trabajo continuo sobrecarga fuerte y promedio de 80 arranques/hora.

#### 4.2.1.2 Fusible

El uso de fusibles es muy común dada la simplicidad y el bajo costo que representan estos elementos, especialmente es sistemas de baja tensión. Su función es la de proteger contra el corto circuito y contra sobrecargas. La intensidad nominal de un fusible, así como su poder de corte, son las dos características que definen a un fusible.

Para un motor trifásico de 0.5 HP a 220 V, su corriente nominal es 2.1 A (dato placa del motor). Verificar en la tabla de corriente a plena carga para motores trifásico de corriente alterna. Entonces:

$$I_N = 2,1 \text{ Amp} \quad \text{Ec (4.2)}$$

De la tabla para motores trifásicos y fusibles sin retardo de tiempo (ver anexo J) se toma el 250% de la corriente nominal del motor, es decir:

$$I_N * 250 \% = 2,1 * 2,5 = 5,25 \text{ Amp} \quad \text{Ec(4.3)}$$

El valor normalizado inmediato inferior es 5 A, y el valor normalizado inmediato superior es 6 A. La norma EN-UNE-20460, clasifica los fusibles según la norma de homologación, Se usa un fusible de uso general tipo "G" para protección de aparatos de maniobra y conductores (norma UNE 21103).

Cuando se habla de la operación de un fusible, se refiere a la reacción que tiene frente a la intensidad de corriente que provoca que actúe la protección. A continuación se determinan el tiempo mínimo y máximo de fusión, así como también las zonas que delimitan la operación del circuito que el fusible está protegiendo.

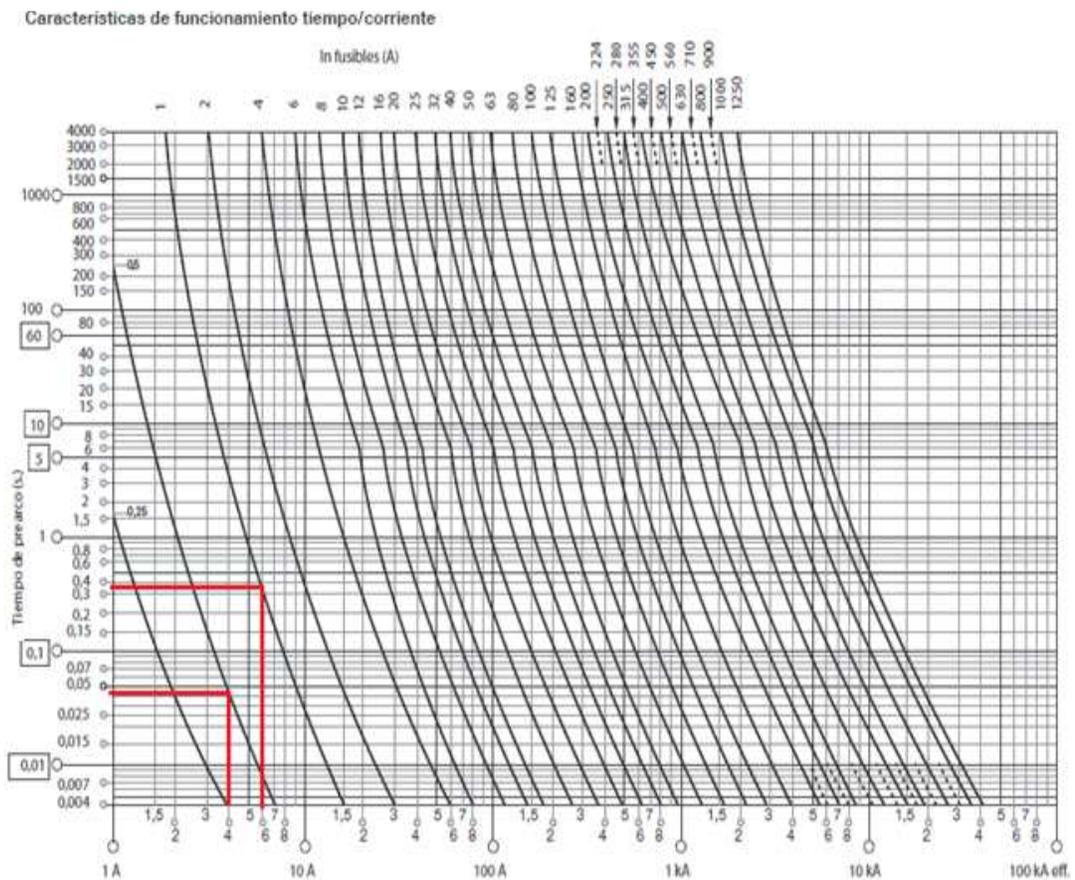


Figura 44 Curva característica fusible tipo G

Fuente: (Socomec, 2015)

$$T_{\text{mínimo fusión}} = 0,05 \text{ ms} \quad Ec(4.4)$$

$$T_{\text{máximo fusión}} = 0,35 \text{ ms} \quad Ec(4.5)$$

#### 4.2.1.3 Disyuntor magneto térmico

El NEC y la norma NEMA MG-1-12 definen al protector térmico como un dispositivo de protección que se ensambla como parte integral del motor para protegerlos contra sobrecalentamientos peligrosos debidos a sobrecargas o fallas de arranque. Un disyuntor es necesario para proteger al sistema contra sobre intensidad y/o cortocircuito.

Así como se escogió el tipo de fusible también podemos hacerlo con el “breaker”. Un disyuntor con disparo instantáneo, de la misma tabla para motores trifásicos y fusibles sin retardo de tiempo, se toma 700% de la corriente nominal del motor:

$$ZONA\ TÉRMICA \quad I_N * 145\ \% = 2,1 * 1,45 = 3,1\ Amp \quad Ec\ (4.6)$$

$$ZONA\ MAGNÉTICA \quad I_N * 700\ \% = 2,1 * 7 = 14,7\ Amp \quad Ec(4.7)$$

El disyuntor generalmente no está marcado con el símbolo de la unidad amperios "A", por el contrario, el valor de amperaje es precedido por una letra "B", "C" o "D" que indica la intensidad de disparo instantáneo (valor mínimo de corriente que hace actuar al disyuntor sin retardo intencional), es decir, en menos de 100 ms, expresada en términos de la corriente nominal.

Fabricantes recomiendan el uso de la curva tipo “C” de acuerdo con las normas EN 60898 y EN 60947.2 para disyuntores que actúan entre 1,13 y 1,45 veces la Intensidad e corriente nominal en su zona térmica y en su zona magnética entre 7 y 10 de su corriente nominal, respectivamente. Se utiliza para protección de conductores y en instalaciones con elevadas intensidades de conexión o arranque (motores).

A continuación, en la figura 45, se presenta la curva característica tipo “C” en la cual se determina el tiempo de disparo térmico, tiempo de disparo magnético y la zona de solape (disparo provocado por el elemento magnético o térmico Indistintamente). Para la intensidad de 1,45  $I_N$  (zona térmica) la desconexión podría suceder entre los 7 y 35 segundos, siendo correcto cualquier tiempo intermedio de disparo. Un tiempo menor se presenta para el disparo instantáneo que esta entre 0,008 y 0,02 ms (zona magnética).

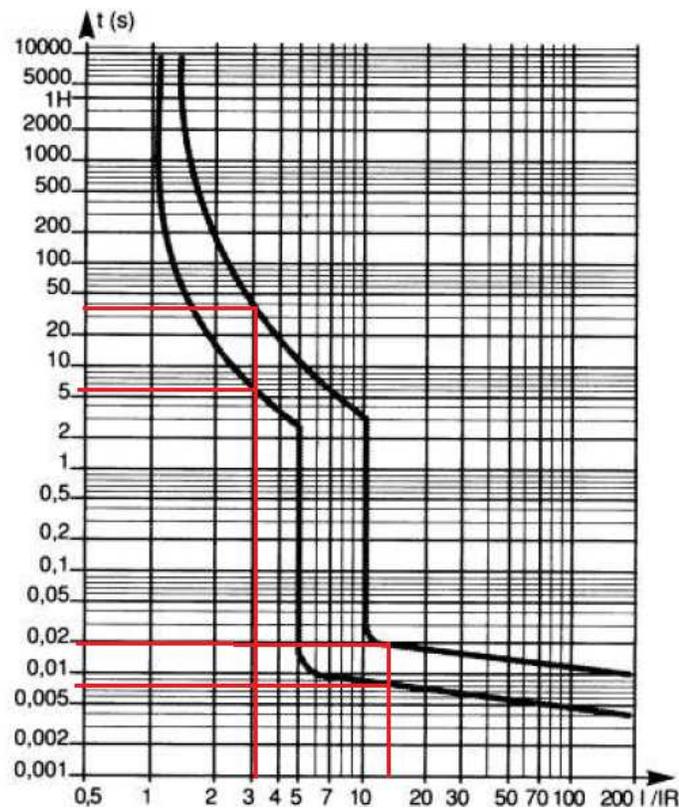


Figura 45 Curva característica de disyuntor magneto térmico tipo C

Fuente: (Elektro, 2015)

#### 4.2.1.4 Contactor y Relé Térmico

El contactor principal (normalmente 3 contactores), establece e interrumpe el paso de la corriente principal accionada por medio del electroimán que posee. La elección se la realiza en función a la corriente nominal de la carga, al tipo de receptor (categoría de servicio / aplicación) y a la corriente máxima capaz de cortar un contactor sin sobrecalentarse ni destruirse (corriente cortada).

En la Ec (4.2) se obtuvo la corriente nominal igual a 2.1 Amp. La categoría del motor es AC3, ya que hace referencia a los motores de jaula, el contactor establece la intensidad de arranque con 5 a 7 veces la intensidad nominal del motor al cierre. A la apertura, corta la intensidad nominal absorbida por el motor.

Entonces la corriente cortada:

$$I_{cortada} = I_e * I_c / I_e$$

$$I_{cortada} = 2,1 A * 1 = 2,1 A$$

A partir de la corriente cortada se obtiene el calibre (corriente capaz de soportar el contactor durante ocho horas seguidas sin sobrecalentamiento). Ver anexo L.

$$Calibre = 6 Amp$$

El relé térmico, se lo escoge respecto a la conexión del motor (triangulo) e igualmente a la corriente cortada. Se escoge un relé de regulación 3 Amperios a valores superiores.

El contactor conectado en conjunto al relé térmico, encenderá o apagará el motor en función a la señal que enviará el programador lógico programable. Ver anexo I.



Figura 46 Contactor y relé térmico

Fuente: (Manalux, 2015)

## 4.2.2 ALIMENTACIÓN Y MONTAJE ELÉCTRICO

El mezclador automático industrial cuenta con alimentación 220 V tanto para el motor trifásico 1/2 HP así como también para la fuente de alimentación del circuito de control (PLC, sensor y pantalla HMI).

En el cuadro a continuación se detallan elementos que conforman el circuito eléctrico y de control, cada uno con su respectivo voltaje - amperaje de funcionamiento.

Tabla 25

Alimentación de los componentes eléctricos – electrónicos

<b>ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA</b>					
Elemento	Cant.	Voltaje (V)			Amp. (A)
		Tipo	Min	Max	
<b>Motor Lafert 0,5 HP</b>	1	AC	210	320	16,8
<b>Fuente Siemens</b>	1	AC/DC	110	230	0,8
<b>PLC Siemens Logo</b>	1	DC	12	24	2
<b>Sensor</b>	1	DC	6	36	0,003
<b>Fusibles</b>	2	AC	110	120	5
<b>Disyuntor</b>	1	AC	220	320	30
<b>Contactador</b>	1	AC	220	320	30
<b>Relé térmico</b>	1	AC	220	320	30
<b>Selector, Pulsador, Paro Emergencia</b>	1	AC	220	320	10
<b>Indicadores</b>	3	AC	220	320	10

### 4.2.2.1 Montaje del tablero eléctrico

La ubicación del tablero eléctrico es a 50 cm de distancia del mezclador (alado de la ubicación del motor); se ha diseñado en forma de pedestal, internamente tiene un espacio muy grande para que se puedan distribuir y posicionar cada uno de los elementos eléctricos y electrónicos de manera ordenada y adecuada,

En la parte externa del pedestal se coloca la pantalla de interfaz HMI, al igual que el selector, pulsador, paro de emergencia y los diferentes indicadores, siendo esta la forma más sencilla de operar y dar comodidad al operario para manejar la máquina. A continuación se muestra un esquema con la distribución del tablero eléctrico, interna y externamente.

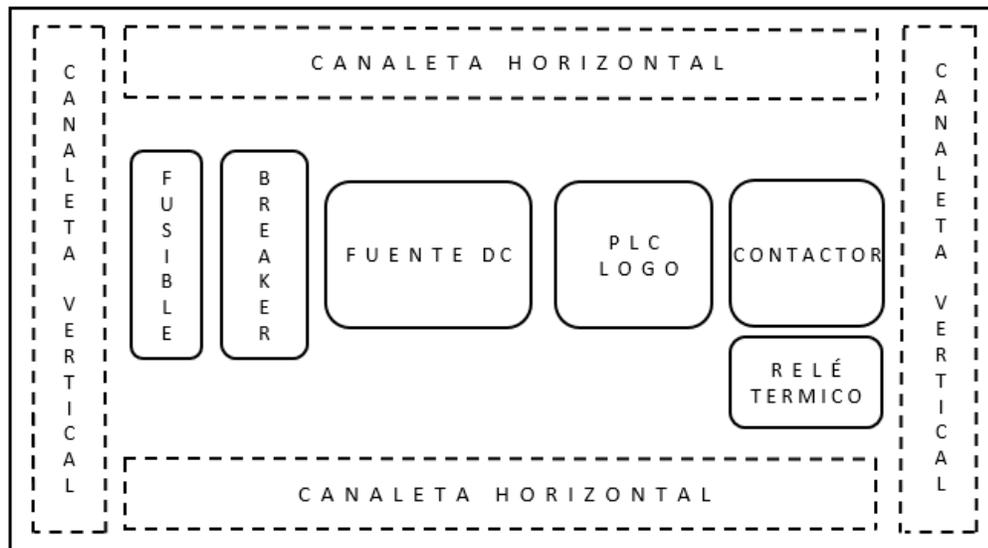


Figura 47 Distribución tablero eléctrico (internamente)

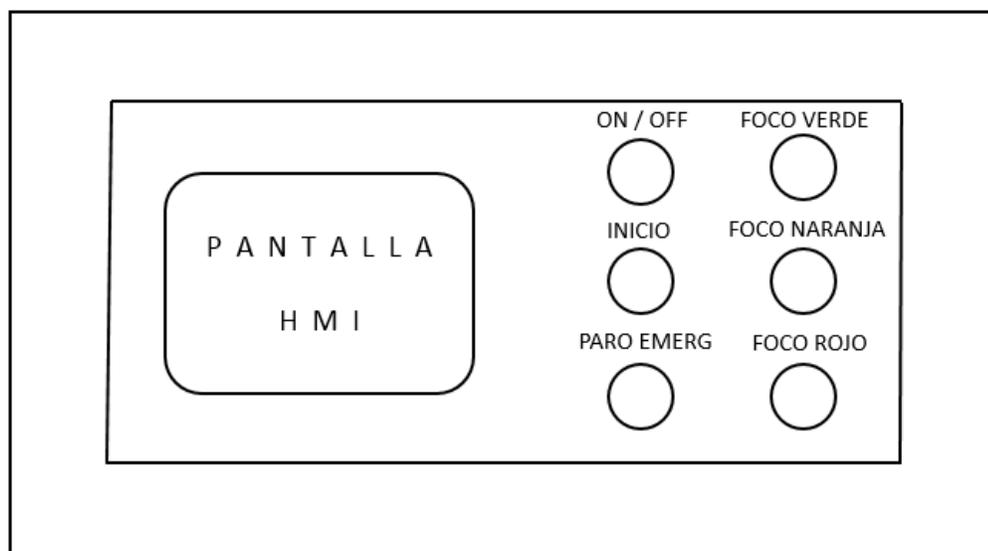


Figura 48 Distribución tablero eléctrico (externamente)

Por medio de cables se conecta desde el interior del pedestal la interfaz HMI y demás controles, para dar mantenimiento simplemente se debe de levantar la tapa del pedestal y se accede a todos los elementos eléctricos.

#### **4.2.2.2 Normas del tablero eléctrico**

La norma IEC 60439-1 indica reglas comunes de realización de tableros para responder criterios de seguridad y de disponibilidad exigidos por una aplicación para los tableros eléctricos de Baja Tensión (BT). Es aplicable a tableros del tipo seriado (TTA) y derivados de serie (PTA).

Se ha instalado en el mezclador un tablero eléctrico en forma de pedestal diseñado y ensayado según la norma antes mencionada, la cual cumple satisfactoriamente los siguientes ensayos:

- Límites de calentamiento: Garantiza la vida útil de los componentes y previene los disparos intempestivos de las protecciones.
- Propiedades dieléctricas: Garantiza que durante el ensamble los componentes de los tableros no sufran algún daño.
- Resistencia a los cortocircuitos: Permite garantizar una reanudación rápida del servicio después del incidente.
- Eficacia del circuito de protección.
- Distancias de aislamiento y líneas de fuga: Garantiza la calidad de los materiales aislantes utilizados en los tableros.
- Funcionamiento mecánico.
- Verificación IP e IK: Grado de protección contra penetración de cuerpos sólidos, líquidos y la resistencia al impacto de los envolventes.

Para la verificación IP se usa la norma IEC 60529, la cual especifica el grado de protección; para nuestro caso se tiene IP30A (3: No puede ingresar un objeto menor a 2.5mm, 0: No posee protección contra el agua, A: Protegido contra el acceso con el dorso de a mano).

De igual manera para la verificación IK se usa la norma IEC 62262, misma que corresponde al grado de protección al impacto mecánico por todos lados; para nuestro tablero tenemos IK07: 2 [Joule]. Finalmente se han realizado los tres ensayos individuales que necesariamente debe de realizar el tablerista y son:

- Inspección del conjunto.
- Verificación del aislamiento.
- Verificación de las medidas de protección y continuidad eléctrica de los circuitos de protección.

#### **4.2.2.3 Plano Eléctrico**

Las conexiones de una manera detallada de toda la parte de mando y control que componen el mezclador automático industrial se precisan en los planos eléctricos basados en la norma IEC 60617. Ver anexo I.

### **4.3 SISTEMA DE CONTROL**

La máquina industrial debe girar una vez que se haya seleccionado el tiempo de mezclado en la interfaz HMI; pulsando el botón de inicio el mezclador comenzara su proceso, finalizará el mismo una vez que concluya dicho tiempo y gracias al sensor, se ubica el momento cuando el recipiente del mezclador quede alineado de forma perpendicular al piso, apagando el motor y parando el proceso para la descarga de la materia prima tratada.

## 4.3.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL

### 4.3.1.1 Sensor

El éxito de un control proviene directamente de una información correcta y precisa recibida por medio del sensor, mismo que se escoge en función de la necesidad o del tipo del proceso que se vaya a realizar.

Para nuestro caso, se va a usar un sensor inductivo (proximidad), el cual nos ayuda a conocer el posicionamiento del recipiente del mezclador por medio de la ubicación de la chaveta en el eje principal. Ver Figura 49.



Figura 49 Sensor Inductivo

Fuente: (Aliexpress, 2015)

Este sensor es indispensable para el posicionamiento perpendicular del mezclador hacia el piso, ya que enviara una señal de alerta al controlador lógico programable, mismo que por medio del contactor industrial, abrirá la señal para desactivar el motor trifásico y así finalmente frenar el proceso de mezcla para la posterior descarga del producto por gravedad, al presionar el pulsador de inicio sucederá lo contrario.

Tabla 26

Características del sensor inductivo

<b>CARACTERISTICAS SENSOR</b>	
<b>Marca:</b>	Gaode
<b>Uso:</b>	De posición
<b>Tipo:</b>	Inductivo
<b>Modelo:</b>	LJ30A3-15-Z/AX
<b>Distancia:</b>	15 - 30 mm
<b>Voltaje:</b>	6-36V DC
<b>Corriente:</b>	300mA
<b>Salida:</b>	NPN,3-wire NC
<b>Material:</b>	Metal

Si el sensor es PNP al detectar, devuelve un (+) por su salida, misma que está conectada a una entrada del automático, se cierra el circuito y el automático responde según este programado a esta entrada.

Sin embargo, el sensor a usar en el mezclador es tipo NPN (por su país de origen China), por tal razón, al detectar nos devuelve un (-) por su salida misma que hemos llevado a una entrada del automático.

Dado que el común de las entradas del PLC es también (-) puede presentar problemas el circuito o no se podría cerrar, por tal razón se conecta una resistencia de 2K, 0.5W entre la salida del sensor (entrada PLC) y los +24V de la fuente, cuando el sensor detecte tendremos 0 V (cero lógico) y cuando no lo haga se obtendrá 24 V (uno lógico).

### 4.3.1.2 Controlador Lógico Programable

La elección del controlador se realiza en base a la cantidad de entradas y el tipo de variables a controlar, dado que el proceso es simple, escogemos el modelo básico de PLC que se encuentra en el mercado.



Figura 50 Programador Lógico Programable LOGO

Fuente: (TME, 2015)

El autómatas (LOGO!) ha sido seleccionado dado la aplicación industrial limitada, ya que se usaran las cuatro salidas que posee y tres de las ocho entradas. Es de gran ayuda en vista que su implementación es inmediata y no necesita circuitos de potencia para su funcionamiento, además que es resistente al polvo.

### 4.3.2 PROGRAMACIÓN DEL LOGO

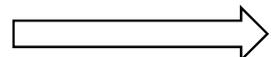
A continuación se presenta una tabla con la asignación de las distintas variables de control de las entradas, salidas, memorias, y demás componentes que intervienen en el programa del PLC.

Tabla 27

Asignación de variables en el programa

	Tipo	Dirección	Localización	Observación
<b>Información componente</b>	Entrada	F3	Pantalla TD	Tiempo para generar impulsos
	Salida	B025		Visualizador texto en HMI
		X6	PLC Logo	Conector abierto
<b>Información fecha y hora</b>	Entrada	F4	Pantalla TD	Tiempo para generar impulsos
	Salida	B027		Visualizador texto en HMI
			X7	PLC Logo
<b>Inicio</b>	Entrada	High	PLC Logo	Alto al energizar PLC
	Timer	B011		Tiempo de carátula de presentación
		B012		Tiempo para pasar pantalla setup
	Memoria	B013		Memoria del tiempo carátula
		B014	Memoria del tiempo para paso pantalla setup	
	Salida	B006	Pantalla TD	Visualizador texto en HMI
		X6		Conector abierto
		B007	Visualizador texto en HMI	
<b>Setup mezclador</b>	Entrada	F1	Pantalla TD	Ingreso de tiempo mezclado
		F2		Ingreso de tiempo mezclado
	Timer	B005		Tiempo para generar impulsos
	Memoria	B002	PLC Logo	Generador de impulsos
	Contador	B001		Aumenta/disminuye según pulsos recibidos
	Salida	X1		Conector abierto

Continúa



<b>Funcionamiento del control</b>	Entrada	I1	PLC Logo	Pulsador NC con enclavamiento
		I2		Pulsador NO
		I3		Pulso enviado por sensor inductivo
		I4		Pulsador NA con enclavamiento y desenclavamiento
	Memoria	B016	PLC Logo	Memoria fin mezcla
		B019		Memoria paro emergencia
		M1		Memoria auxiliar paro emergencia
	Timer	M2	PLC Logo	Memoria auxiliar inicio mezcla
		B010		Tiempo de mezcla ingresado previamente
	Salida	B015	Pantalla TD	Visualizador texto en HMI
		X4		Conector abierto
		B018		Visualizador texto en HMI
		X5		Conector abierto
		Q1		Activación del motor / Contactor
	PLC Logo	Q2	PLC Logo	Indicador Naranja
Q3		Indicador Rojo		
Q4		Indicador Verde		

#### 4.3.2.1 Secuencia del funcionamiento del mezclador

El momento de mover el switch de prendido se prende un indicador verde y se muestra la bienvenida. Después de la antes mencionada pantalla automáticamente se muestra la pantalla de setup del tiempo que se desee mezclar. Usando los pulsadores F1 y F2 de la Pantalla Logo TD se incrementa o decrementa este tiempo.

Una vez ingresado el tiempo se presiona el pulsador de color verde para iniciar la secuencia de mezclado. Al momento que empieza a trabajar el motor

se enciende un indicador color naranja, mismo que se apaga el momento que la mezcla esta lista.

En el caso de presionar el botón de paro de emergencia inmediatamente se detiene el proceso de giro del mezclador quedando en cualquier posición y se enciende el indicador rojo en el tablero, una vez que haya pasado el peligro, se suelta el botón de emergencia, el indicador rojo se apagará. Para mover el mezclador a su posición inicial de trabajo se debe presionar una vez más el pulsador verde de inicio de secuencia, en cualquier parte que se haya quedado el recipiente girara por una sola vez hasta quedar colocado perpendicular al piso, listo para la descarga, o a su vez, para continuar con el proceso antes interrumpido.

Con los pulsadores F3 y F4 de la Pantalla Logo TD se puede observar las especificaciones técnicas de los componentes y la fecha/hora respectivamente.

#### **4.3.2.2 Grafcet del programa**

Representa el lenguaje de programación de un autómata por medio de un diagrama funcional que describe los procesos y secuencia que tendrá el proceso a automatizar, teniendo en cuenta tiempos de operación y descripción de cada estado. Se rige por la norma NFC-03-190.

A continuación se presentan los diagramas tipo grafcet de nivel uno (descripción funcional) y nivel dos (descripción operativa), los cuales contienen el proceso de inicio, fin giro y paro controlado.

## 4.3.2.2.1 Grafcet nivel uno

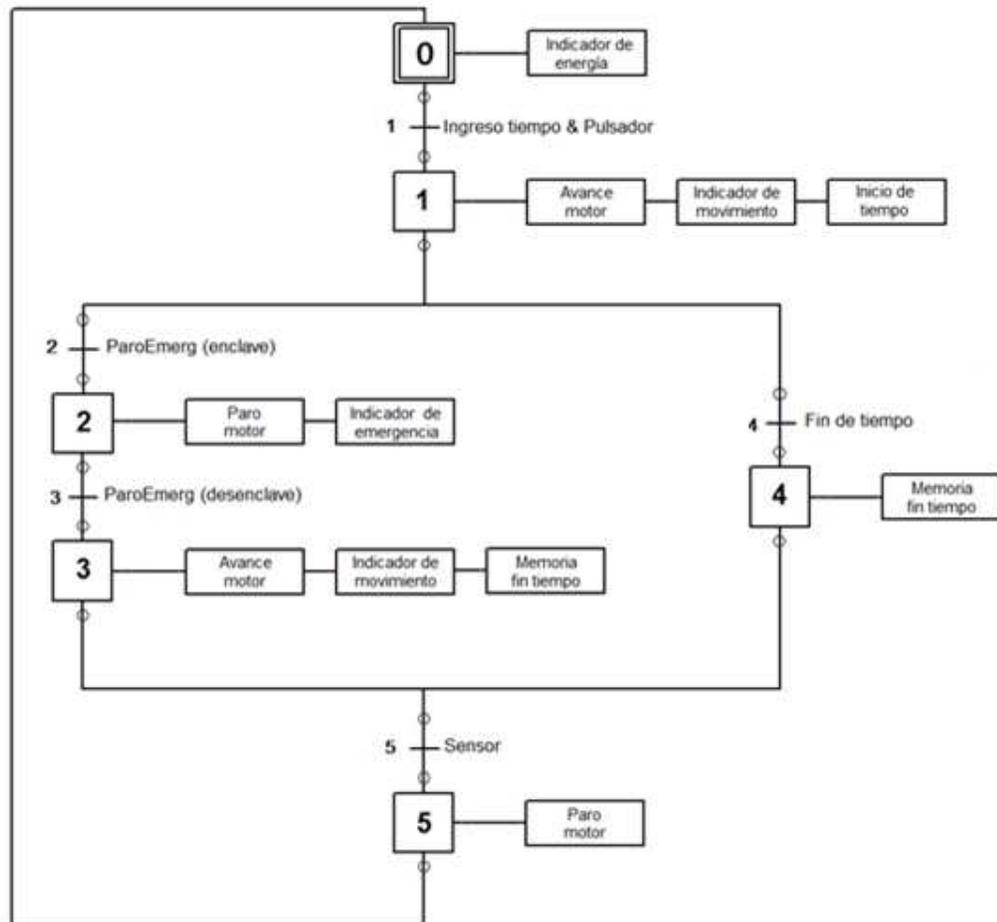


Diagrama 13 Grafcet con descripción general del proceso.

## 4.3.2.2 Grafcet nivel dos

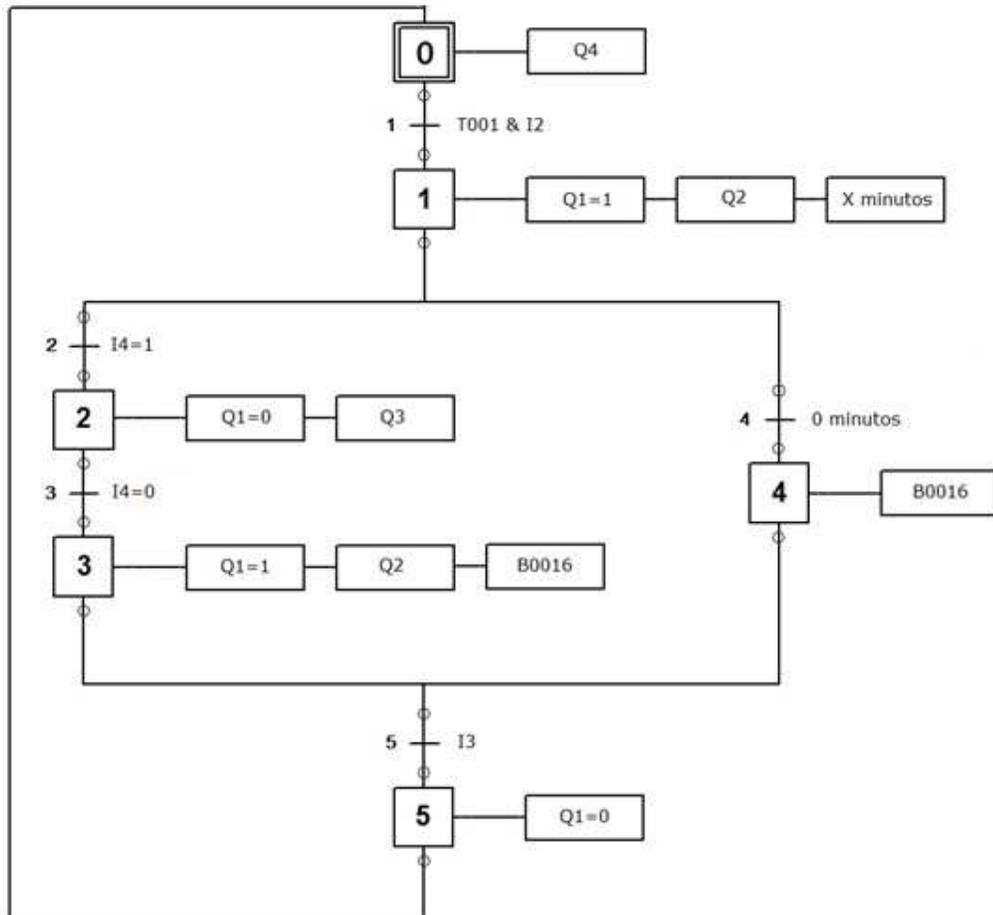
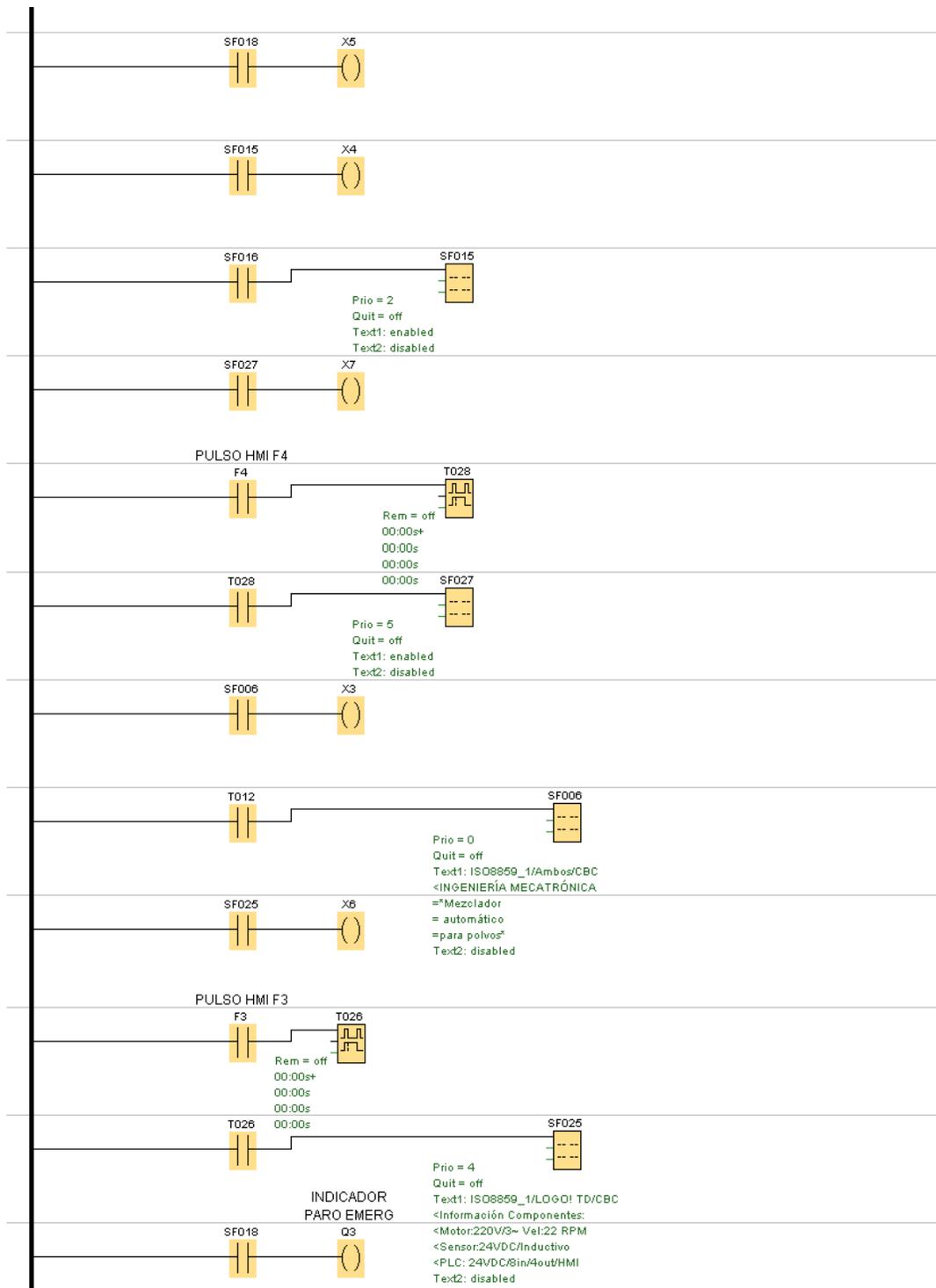
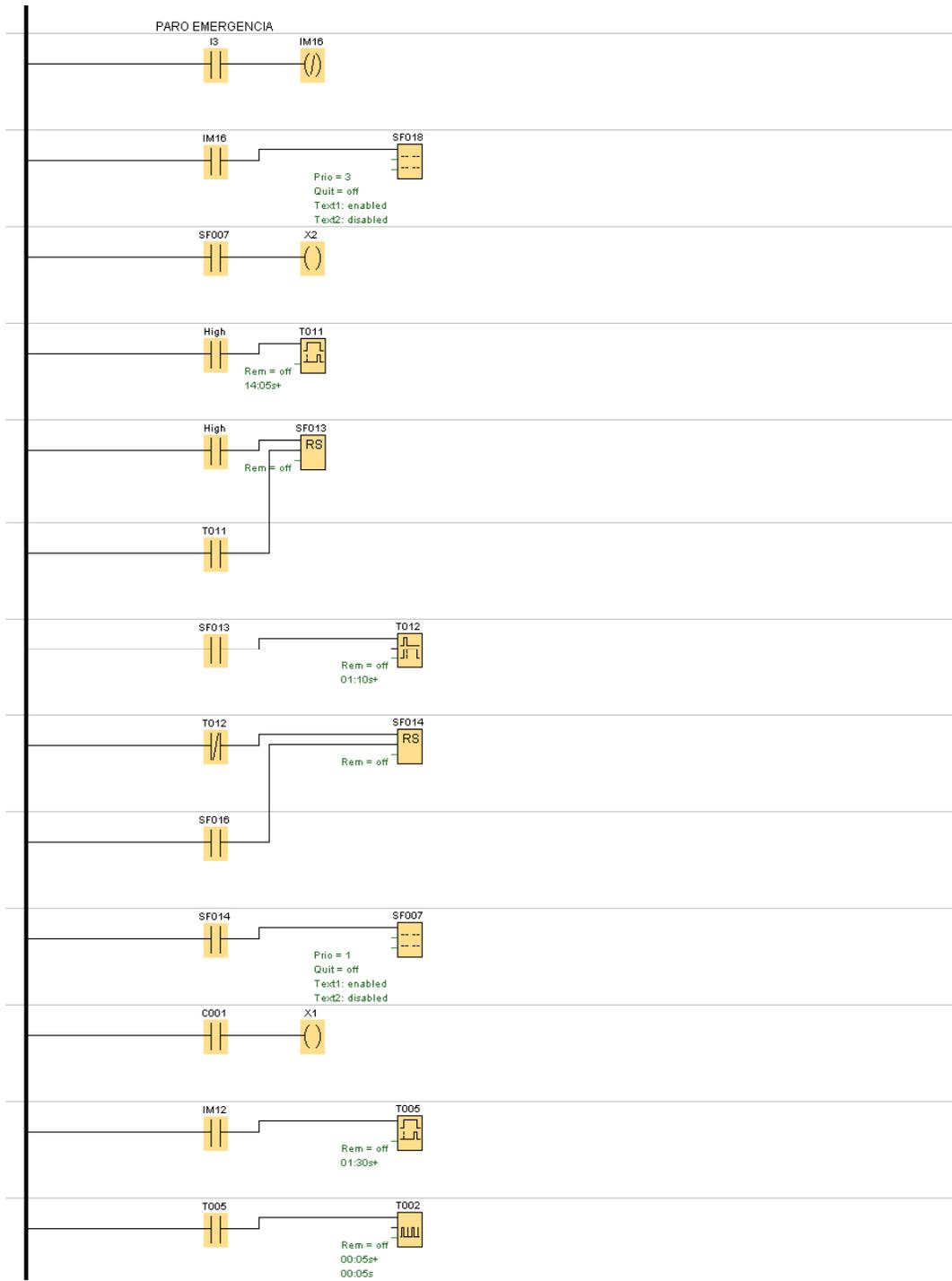
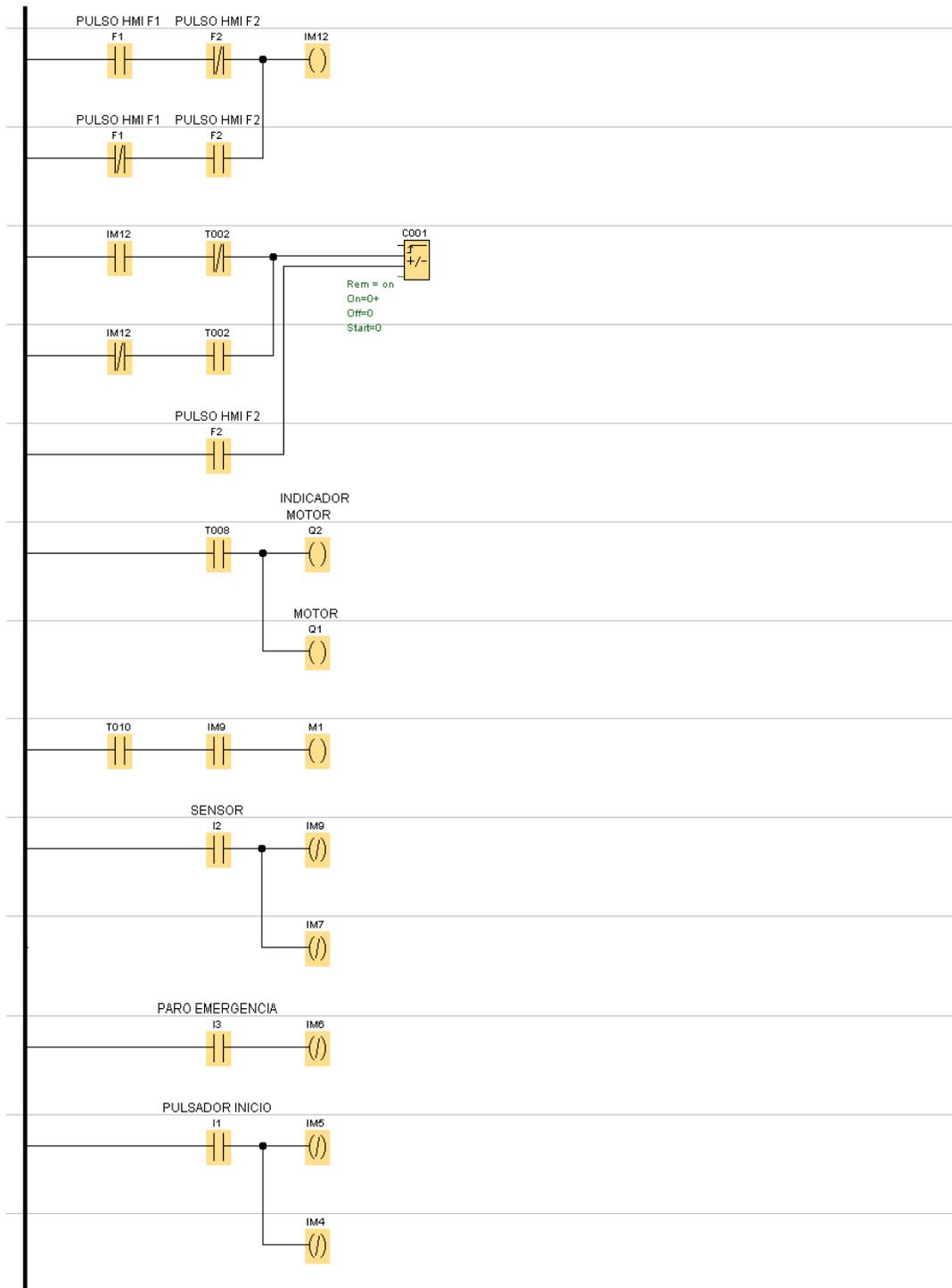


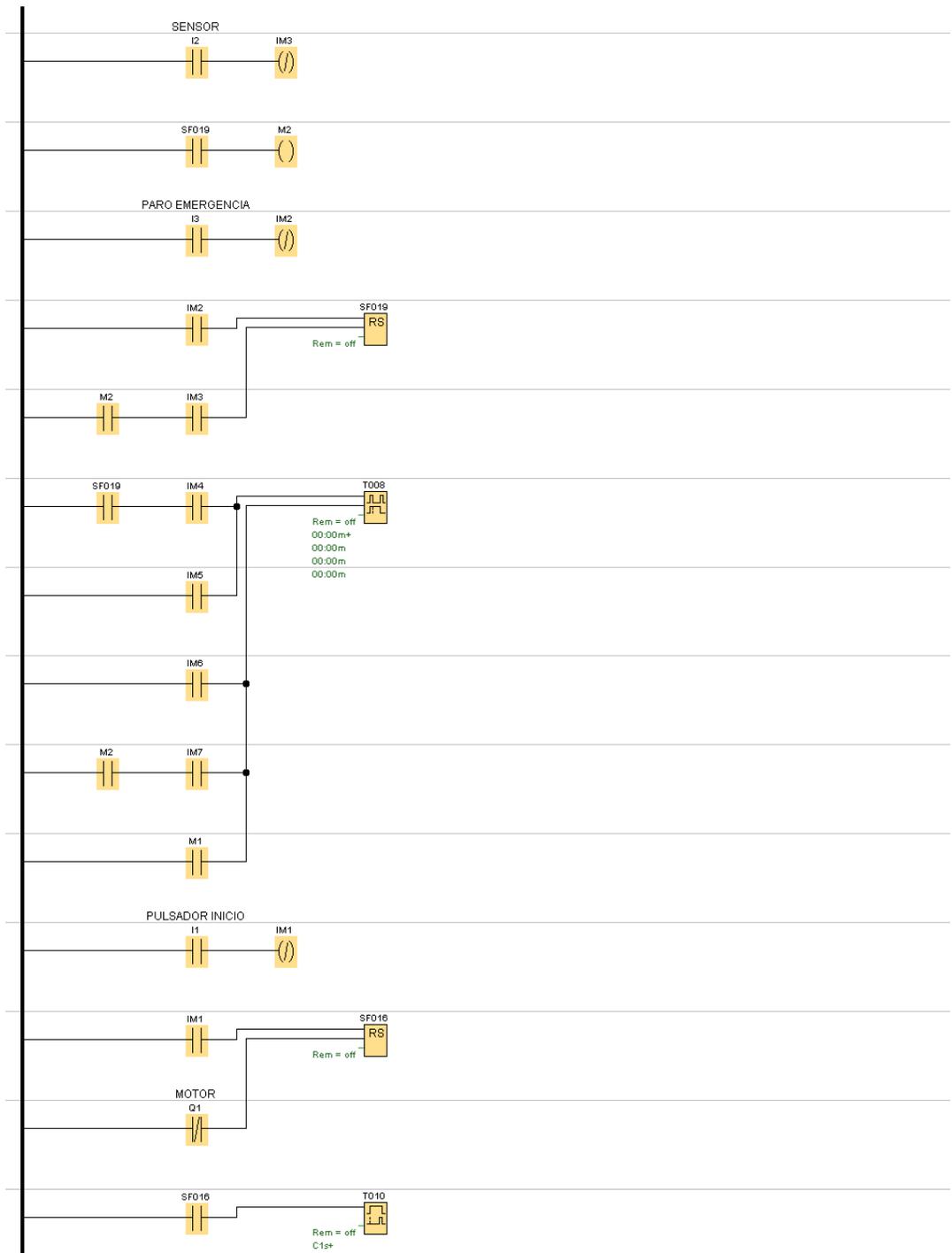
Diagrama 14 Grafcet con descripción operativa del proceso.

## 4.3.2.3 Programa Ladder









#### 4.4 TIEMPOS TOTALES DE DISEÑO E INGENIERÍA

Tabla 28

Tiempos totales de tiempos de diseño e ingeniería

Tiempo de diseño			
Sistema	Sección	Tiempo [min]	Tiempo total [h]
Mecánico	Eje por fatiga	25	240
	Resistencia recipiente	40	
	Estructura final	40	
	Componentes	45	
Eléctrico y Electrónico	Selección componente fuerza	20	30
	Selección componentes control	25	
	Distribución tablero	40	
	Calibración sensor	5	
Programación PLC y control	Simulación y puesta en marcha PLC	20	30
	Inicio de Pantalla HMI	10	

## CAPÍTULO V

### 5 PRUEBAS Y RESULTADOS

Muchos de los problemas en el mezclado se deben a diferencias en forma, tamaño y densidad de las partículas en los ingredientes de la mezcla. Los componentes de tamaño y densidad similares tienden a mezclarse con facilidad y rapidez. En consecuencia hay muy poca dificultad para obtener una mezcla uniforme de los mencionados ingredientes, sin embargo, en este capítulo se realizaran pruebas cuantificables para comprobar la eficacia del mezclador.

#### 5.1 COMPONENTES DEL PRODUCTO FINAL

Debido a los costos implicados y al alto grado de confidencialidad de los fármacos, los ensayos para la medición de la eficacia del mezclado van a ser basados en nutrientes (harinas), dado que su concentración en la dieta nutricional es alta por tener similar composición química.

Adicionalmente las harinas o granos molidos poseen una densidad muy similar a los componentes de la nutrición parenteral, muy por el contrario que los minerales que poseen una densidad mucho mayor. De esta manera, no es muy complejo lograr una mezcla idéntica a la que se obtendría con los fármacos, siendo muy importante para realizar los ensayos precisos, cuyos resultados no diferirán con los ingredientes originales de la receta.

##### 5.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES EN LA NUTRICIÓN PARENTERAL

Los componentes principales de una nutrición parenteral son aminoácidos, hidratos de carbono, vitaminas, oligoelementos lípidos, electrolitos, etc. Algunos componentes se presentan en las tablas a continuación:

Tabla 29

Nombres de componentes usados en la nutrición parenteral

<b>Aminoácidos</b>		<b>Electrolíticos</b>	<b>Oligoelementos</b>
Isoleucina	Tirosina	Sodio	Selenio
Leucina	Alanina	Potasio	Molibdeno
Lisina	Arginina	Calcio	Hierro
Metionina	Prolina	Magnesio	Cinc
Fenilalanina	Serina	Cloruro	Manganeso
Treonina	Glicina	Acetato	Cobre
Triptófano	Ácido aspártico		Cromo
Valina	Ácido glutámico		Flúor
Histidina			Cobalto
Cisteína/cistina			Yodo

Fuente: (Gil, 2010)

## 5.1.2 COMPONENTES PRINCIPALES EN LA HARINA

### 5.1.2.1 Hidratos de Carbono

Los hidratos de carbono se los conoce también por azúcares y sirven como fuentes de energía para el organismo, por lo cual están presentes en toda dieta, existen dos tipos: simples y complejos. A continuación se presenta una tabla con la cantidad de carbohidratos simples:

Tabla 30

Carbohidratos de la harina integral de trigo

<b>Carbohidratos presentes en la harina de trigo</b>	
<b>Azúcar</b>	Lactosa
<b>Fructosa</b>	Maltosa
<b>Galactosa</b>	Oligosacaridos
<b>Glucosa</b>	Sacarosa

Fuente: (Losalimentos, 2015)

### 5.1.2.2 Aminoácidos

Se pueden encontrar una gran cantidad de aminoácidos que son utilizadas por nuestro organismo para la formación muscular.

A continuación se pueden observar los aminoácidos presentes en la harina de trigo (integral):

Tabla 31

Aminoácidos en la harina integral de trigo

<b>Aminoácidos presentes en la harina de trigo</b>	
Ácido aspártico	Leucina
Ácido glutámico	Lisina
Alanina	Metionina
Arginina	Prolina
Cistina	Serina
Fenilalanina	Tirosina
Glicina	Treonina
Hidroxiprolina	Triptofano
Histidina	Valina
Isoleucina	

Fuente: (Losalimentos, 2015)

### 5.1.2.3 Minerales (Cenizas)

Son componentes esenciales para el ser humano, ya que necesariamente deben ser obtenidos del exterior a través de la alimentación para que el organismo funcione correctamente (poseen función reguladora).

Están relacionadas con la obtención de energía a nivel celular y forman parte de reacciones químicas. Forman parte en los dientes, huesos, sangre, etc.

Tabla 32

Minerales en la harina integral de trigo

Minerales presentes en la harina de trigo	
Aluminio	Fósforo
Azufre	Hierro
Bromo	Yodo
Calcio	Magnesio
Zinc	Manganeso
Cloro	Flúor
Cobalto	Potasio
Cobre	Selenio
Cromo	Sodio

Fuente: (Losalimentos, 2015)

## 5.2 PRUEBAS EN EL PRODUCTO FINAL

La gran mayoría de las mezclas de polvos o sólidos se las conoce como “neutras” dado que no tienden a mezclarse espontáneamente por la complejidad en el sistema físico que poseen las partículas de un sólido.

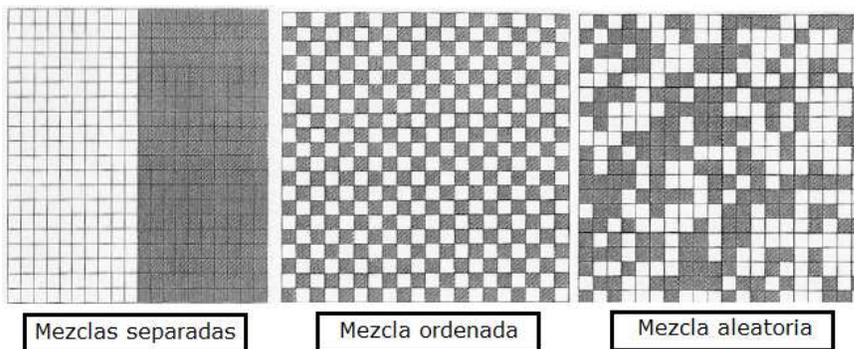


Figura 51 Diferencias en el mezclado de sólidos

Fuente: (Arévalo, 2007)

Una “mezcla ordenada” o mezcla perfecta de dos partes iguales se caracteriza por tener el 100% de probabilidad de elegir una partícula de cada componente al azar, sin embargo, es poco probable ya que se considera como ideal. Por lo general, en la práctica se obtiene una “mezcla aleatoria” en donde se tiene 50% de probabilidad de hallar una partícula de cada componente y

un 25% de probabilidad de encontrar dos partículas del componente A o del componente B. Ver figura 51.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, cuanto más diferentes son las cantidades de cada sustancia o componente, mucho más difícil será conseguir la homogeneidad en el mezclado. Por ello en la realización de las pruebas se tomaran dos partes iguales de cada componente.

La realización de las pruebas consiste en el análisis del tamaño de la partícula por medio del tamizado de cada una de las mezclas. Los componentes a mezclar son harina de trigo (entre 180 – 250  $\mu\text{m}$ ) y harina de maíz (125 – 180  $\mu\text{m}$ ) categorizada por la USP (sus siglas en ingles U.S. Pharmacopeial Convention) como polvos moderadamente fino y fino respectivamente, de los cuales se harán 6 mezclas de 500 gramos totales en proporciones iguales de cada componente. Cada muestra fue tomada en intervalos de 5 minutos terminando la última muestra a los 30 minutos.

Tabla 33

Resultados de la pruebas realizadas por tamizado

<b>No. TAMIZ</b>	<b>DIAMETRO (um)</b>	<b>Muestra No 1</b>	<b>Muestra No 2</b>	<b>Muestra No 3</b>	<b>Muestra No 4</b>	<b>Muestra No 5</b>	<b>Muestra No 6</b>
<b>40</b>	425	1,27	194,05	253,41	310,91	375,77	381,69
<b>60</b>	250	133,65	124,31	96,99	60,55	3,55	2,13
<b>80</b>	180	284,83	154,27	129,6	115,08	109,62	108,34
<b>100</b>	150	50,83	5,11	5,65	3,41	2,02	1,45
<b>200</b>	75	24,02	16,76	9,5	7,14	4,48	2,55
<b>270</b>	53	0,92	1,15	0,59	0,78	0,51	0,3
<b>FONDO</b>	0	0,09	0,08	0,04	0,06	0,02	0,04
	<b>Total (g)</b>	495,61	495,73	495,78	497,93	495,97	496,5
	<b>Pérdida (g)</b>	4,39	4,27	4,22	2,07	4,03	3,5

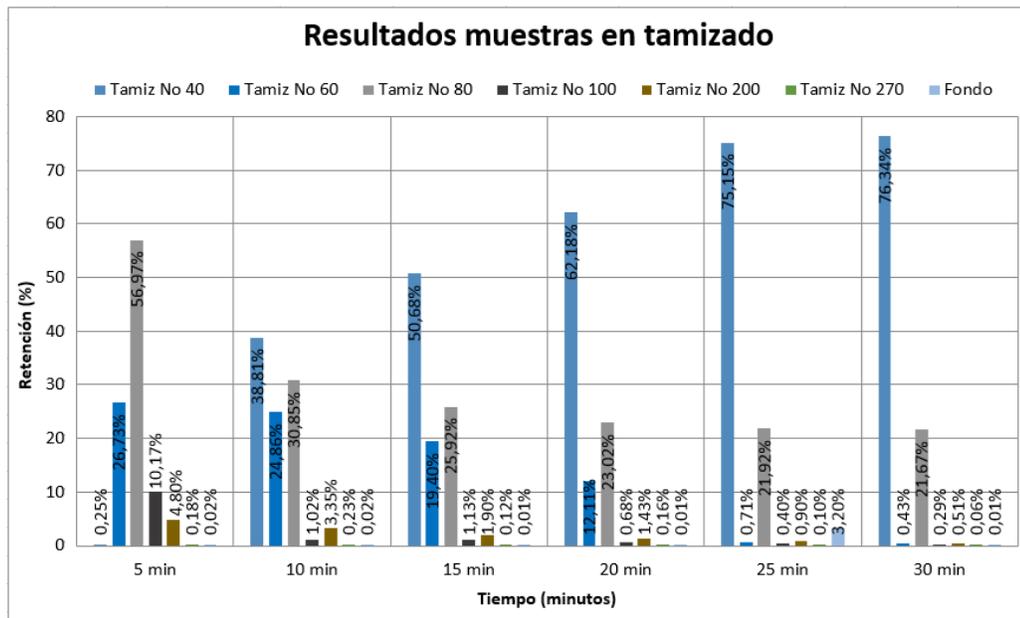


Figura 52 Retención de la mezcla vs tiempo en muestras

En la Figura 52 se puede observar que en función del aumento en tiempo de mezclado incrementa la retención del material en el tamiz No 40 y una pequeña proporción en el tamiz No 80.

Tomando en cuenta que cada una de las mezclas fue sometida a una agitación mecánica de 15 minutos para las pruebas de tamizado, se descarta que la retención sea en base a que las partículas de mayor diámetro hayan quedado por sobre encima de la malla, impidiendo así el paso de partículas de menor tamaño al resto de tamices.

La gráfica de barras demuestra que, las partículas de ambos componentes a los 25 y 30 minutos, obtuvieron un grado óptimo de unión (ver figura 53) comprobando que la mezcla está homogénea; es por esta razón que el material queda retenido en el tamiz. Por este principio se comprueba que el mezclador produjo una mezcla adecuada, cabe recalcar que el tiempo de mezclado variará en función de las características que tengan las partículas de las sustancias a usar.

Por ello, es importante mencionar que para optimizar el proceso de mezcla se debe de utilizar sustancias cuyo tamaño de partícula sea lo más parecido posible.

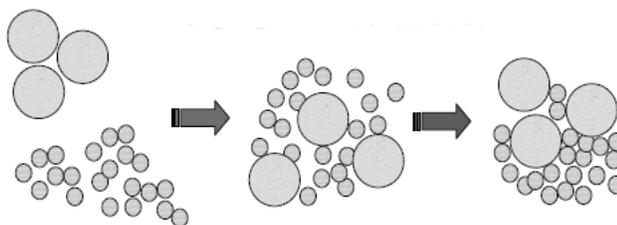


Figura 53 Mezclado óptimo de sustancias

Fuente: (Arévalo, 2007)

### 5.3 PRUEBAS TÉCNICAS

Inicialmente se realizaran pruebas a los sistemas mecánicos, eléctricos y de control mediante el uso continuo y repetitivo de los mismos, a continuación se presentan los resultados de las mismas.

Tabla 34

Resultados de pruebas técnicas en sistemas

PRUEBAS TÉCNICAS			
MEZCLADOR AUTOMÁTICO INDUSTRIAL			
SISTEMA	PRUEBA	ESTADO	
		Satisfactorio	No Satisfactorio
<b>Mecánico</b>	Movimiento de los elementos	✓	
	Mecanismo de movimiento	✓	
	Mecanismo de carga	✓	
	Mecanismo de descarga	✓	
	Lubricación	✓	
<b>Eléctrico y Electrónico</b>	Motor sin sobrecalentamiento	✓	
	Estado de actuadores	✓	
	Estado de indicadores	✓	
	Funcionamiento componentes potencia	✓	
<b>Control</b>	Funcionamiento del PLC (in/out)	✓	
	Funcionamiento del sensor	✓	

Las pruebas técnicas se han culminado exitosamente, dado que se ha verificado y probado cada uno de los sistemas que componen la máquina. Se garantiza rendimiento, duración y operatividad de cualquier proceso de producción.

#### **5.4 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

El manual de operación se detalla en el anexo M.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

#### **6.1 PRESUPUESTO GENERAL**

Al momento de iniciar este proyecto se realizó una estimación de los costos que tendrían los materiales y la construcción de la máquina en función de la capacidad que tendrá, mismos que deberán ser recuperables basados en el uso y la aplicación que le daremos que le daremos al mezclador.

Por medio de proformas se planificó un presupuesto inicial de aproximadamente 2000 dólares americanos, mismo que incluyen materiales mecánicos, eléctricos y de control, sin tomar en cuenta el costo de ingeniería el cual se presenta en este trabajo. Una conclusión de mayor profundidad y con datos reales se verá reflejado por medio de un análisis económico.

#### **6.2 ANÁLISIS ECONÓMICO**

Este rubro es el encargado de hacer conocer a detalle los costos del proyecto, tomando en cuenta valores directos e indirectos, para finalmente analizar la rentabilidad y viabilidad del mismo.

##### **6.2.1 COSTOS DIRECTOS**

Involucra todo lo referente a la construcción y funcionamiento de la máquina, como lo son costos de materia prima, costos hora de trabajo hombre máquina de los procesos constructivos (mecanizado), costos de los accesorios, costos de elementos normalizados y por ultimo costos de automatización; mismos que se presentan a detalle a continuación:

Tabla 35

Costos materiales directos

<b>COSTO DE MATERIA PRIMA</b>			
<b>Material</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio unitario [USD]</b>	<b>Precio total [USD]</b>
Plancha de acero AISI 304 2440x1220x3mm	1	325,00	325,00
Eje de acero AISI 304 $\varnothing$ 44,45x1200mm (Kg)	16	7,5	120,00
Tubo cuadrado acero estructural A36 40x40x4	3	18,00	54,00
Eje de acero A36 $\varnothing$ 19x500mm (Kg)	1,2	2,60	3,12
Chapa acero A36 500x350x3mm	1	25,80	25,80
Chapa latón 600x800x1mm	1	15,50	15,50
		<b>Total</b>	<b>486,30</b>

Tabla 36

Costos elementos y accesorios

<b>COSTO DE ELEMENTOS Y ACCESORIOS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio unitario [USD]</b>	<b>Precio total [USD]</b>
Válvula Mariposa AISI 304 clamp 4"	1	150,00	150,00
Ferrul corto AISI 304 4"	1	6,50	6,50
Abrazadera AISI 304 4"	2	14,50	29,00
Empaque ferrul 4"	2	1,10	2,20
Chumacera SKF de pie 13/4	2	24,00	48,00
Piñon 40B25	2	15,00	30,00
Cadena cédula 40 x 2m	1	8,00	16,00
Perno hexagonal inox AISI304 5/8 x 2"	2	1,20	2,40
Perno hexagonal negro 16x2x100	4	1,30	5,20
Perno hexagonal negro 8 x 1.25x30	4	0,10	0,40
Tuerca hexagonal inox AISI304 5/8"	2	0,40	0,80
Tuerca hexagonal negro16x2	4	0,20	0,80
Tuerca hexagonal negro 8x1.25	4	0,05	0,20
Arandela plana inox AISI304 5/8"	4	0,25	1,00
Arandela plana negra 5/8"	4	0,17	0,68
Arandela presión negra 5/8"	4	0,10	0,40
Arandela presión negra 5/16"	4	0,03	0,12
		<b>Total</b>	<b>293,70</b>

Tabla 37

Costos material eléctrico y electrónico

<b>COSTO DE MATERIAL ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio unitario [USD]</b>	<b>Precio total [USD]</b>
Motor Lafert Trifásico 0.5 HP RMP 170	1	280,00	280,00
Caja reductora ortogonal Varvel BOX50 i=80	1	150,00	150,00
Contactador 10 Amp 220V Siemens	1	35,00	35,00
Relé Térmico 2,5 Amp 220V Siemens	1	58,00	58,00
Disyuntor Bifásico 10 Amp 220V Schneider	1	15,00	15,00
Porta fusible/Fusible 10 Amp	2	3,25	6,50
Selector 2 posiciones NA	1	3,50	3,50
Pulsador Botón NA	1	3,50	3,50
Paro de Emergencia NC	1	4,00	4,00
Luz piloto 220V	3	2,00	6,00
Riel Din 1m	1	3,50	3,50
Bornera para Riel Din 4mm	4	1,15	4,60
Canaleta 25x25 1m	1	3,50	3,50
Cable Eléctrico AWG 18 1m	12	0,40	4,80
Cable Eléctrico AWG 10	10	0,60	6,00
Cable Concéntrico #3 AWG 10	3	2,10	3,30
Tomacorriente 220 V trifásico	1	1,80	1,80
		<b>Total</b>	<b>589,00</b>

Tabla 38

Costos elementos de control

<b>COSTO DE MATERIAL DE CONTROL</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio unitario [USD]</b>	<b>Precio total [USD]</b>
PLC Siemens Logo 12/24RC 8in/4out	1	185,00	185,00
Fuente de Poder Logo 2.5 Amp 120-230 V	1	125,50	125,50
Panel de textos Logo TD display	1	228,00	228,00
Cable programación Logo PC-USB	1	132,00	132,00
Sensor proximidad Inductivo NPN 6-24V DC	1	65,00	65,00
		<b>Total</b>	<b>735,50</b>

Tabla 39

Costos mano de obra directa

<b>COSTO MANO DE OBRA DIRECTA</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Tiempo [horas]</b>	<b>Costo mano obra [USD/hora]</b>	<b>Costo total [USD]</b>
Soldadura TIG	20	5,25	105,00
Soldadura de Arco Eléctrico	8	4,25	34,00
Torno	3	8,00	24,00
Fresadora	5	7,50	37,50
Máquina-Herramienta (Amoladora, Taladro, Sierra de mano, Pulido, Limpieza)	80	3,50	280,00
Ensamblaje parcial / total	6	4,50	27,00
Montaje Eléctrico / Electrónico	24	4,50	108,00
		<b>Total</b>	<b>615,50</b>

### 6.2.2 COSTOS INDIRECTOS

Hace referencia a costos que no intervienen directamente en la elaboración del mezclador. Involucran a materiales y mano de obra indirecta (costo del trabajo de ingeniería).

Es importante tener en cuenta e incluir estos valores en la sumatoria de los costos totales finales, ya que influyen y afectan directamente al presupuesto estimado que se tiene para la construcción y puesta en marcha de la máquina mezcladora industrial.

Tabla 40

Costos de materiales indirectos

<b>COSTO DE MATERIALES INDIRECTOS</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cant.</b>	<b>Precio unitario [USD]</b>	<b>Precio total [USD]</b>
Electrodo AGA 6011 (Kg)	6	4,20	25,20
Argón (m <sup>3</sup> )	10	24,50	245,00
Aporte (Kg)	2	4,60	9,20
Electrodo de Tungsteno	10	2,25	22,50
Disco corte	5	3,35	16,75
Disco de desbaste	2	3,50	7,00
Disco de pulimento	5	2,80	14,00
Gratas	8	2,75	22,00
Lija	8	0,60	4,80
Copa de sierra	2	3,10	6,20
Limpiador acero inox	2	18,00	36,00
Empaques	2	2,25	5,00
		<b>Total</b>	<b>413,65</b>

Tabla 41

Costos mano de obra indirecta

<b>COSTO MANO OBRA INDIRECTA</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Tiempo [horas]</b>	<b>Costo mano obra [USD/hora]</b>	<b>Costo total [USD]</b>
Ingeniería en diseño	240	8,00	1920,00
Planos Mecánicos	60	5,00	300,00
Planos Eléctricos	30	5,00	150,00
Implementación del Control	30	10,00	300,00
		<b>Total</b>	<b>2670,00</b>

### 6.2.3 Costos totales

Tabla 42

Costos totales de implementación del mezclador

<b>COSTOS TOTALES</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Precio total [USD]</b>
COSTO DE MATERIA PRIMA	486,30
COSTO DE ELEMENTOS Y ACCESORIOS	486,30
COSTO DE MATERIAL ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO	589,00
COSTO DE MATERIAL DE CONTROL	735,50
COSTO MANO DE OBRA DIRECTA	615,50
COSTO DE MATERIALES INDIRECTOS	413,65
COSTO MANO OBRA INDIRECTA	2670,00
<b>TOTAL COSTO</b>	<b>5996,25</b>

### 6.3 ANÁLISIS FINANCIERO

Este análisis es importante ya que los números de un proyecto suelen ser la clave para su evaluación y ayudan en la toma de decisiones de inversión. Todo lo que se determinó en el estudio técnico adquiere un valor, y una vez realizada su cuantificación (costo total de la inversión), se determinara la rentabilidad de la máquina, por medio de los indicadores económicos.

Los indicadores más usados en la evaluación de proyectos de inversión son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), mismos que permiten analizar y comparar dichos flujos de fondos.

### 6.3.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Determina si la inversión en un proyecto es favorable, mediante el cálculo del flujo de caja futuro, a partir de ingresos (valores positivos) y pagos futuros (valores negativos). El flujo que generaría un proyecto menos la inversión inicial representa un valor, si la diferencia es cero o positiva la inversión es aceptable, caso contrario de existir un valor negativo, la inversión no sería recomendable. El cálculo se lo realiza con la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{FN_t}{(1+i)^n} \quad Ec (6.1)$$

$VAN =$  Flujo de la inversión (caja neta)

$I_0 =$  Inversión inicial

$n =$  número de años de la inversión

$FN_t =$  Beneficio neto del flujo de un período

$i =$  tasa de interés

#### 6.3.1.1 Flujo Neto (FNt)

El flujo neto total se calcula por medio de los valores de ganancia generados con el uso de la máquina (ingresos) y los costos de producción (egresos) por año.

Cabe destacar que la máquina no devolverá el retorno de capital, dado que el principal objetivo de este proyecto es optimizar el proceso de mezcla mediante el ahorro de tiempo y la disminución en la mano de obra (de 2 operarios a solamente 1), es por ello que el cliente se verá beneficiado ahorro de gastos generados.

El sueldo de cada operario actualmente es de \$365 por cada uno, gastando un total de \$8760 anuales con dos operarios. Con el mezclador solamente se gastaría \$4380 por un operario.

Los costos de mantenimiento son de agua, detergente, alcohol y aceite (sistema piñon-cadena). Los gastos juntos son de \$100 mensuales.

El costo de operación de la máquina va a ser únicamente la energía eléctrica de consumo del motor y el pago a un operador, a diferencia del gasto generado al momento usando tres batidoras de mano con tres operarios. Los gastos de operación se comparan a continuación:

Tabla 43

Comparación entre el gasto de operación propuesto y actual

<b>Gasto</b>	<b>Equipo</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Horas /Año</b>	<b>Energía (kW*h)</b>	<b>Costo (USD/kWh)</b>	<b>Costo anual (USD)</b>
Propuesto	Motoreductor	0,37	1920	710,4	0,0858	60,95
Actual	Motores (x2)	0,90	1920	1728	0,0858	148,26

En la tabla 44 se presenta el flujo neto total usando una tasa de inflación al cierre de año del 3,67% y un tiempo de vida de cinco años:

Tabla 44

Flujo neto total para los cinco años de uso

<b>Año</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Inversión</b>	-5996,25	0	0	0	0	0
<b>Operación</b>	0	-60,95	-63,19	-65,51	-67,91	-70,40
<b>Mantenimiento</b>	0	-1200	-1244,04	-1289,7	-1337,03	-1386,1
<b>Ahorro operador</b>	-4380	4540,75	4707,39	4880,15	5059,25	5244,93
<b>Totales</b>	-10376,25	3279,80	3400,16	3524,95	3654,32	3788,43

Ahora bien obtenido el valor del flujo neto retomamos el cálculo del VAN, se realizara la proyección para la vida útil de la máquina y con una tasa de interés sugerida del 10%:

$$VAN = -5996,25 + \frac{3279,8}{(1+0,10)^1} + \frac{3400,16}{(1+0,10)^2} + \frac{3524,95}{(1+0,10)^3} + \frac{3654,32}{(1+0,10)^4} + \frac{3788,43}{(1+0,10)^5}$$

$$VAN = 7292,05 \text{ USD}$$

El resultado muestra un valor de VAN muy significativo, demostrándose así una gran oportunidad de negocio, ya que se recupera lo invertido en su totalidad y se generan ganancias por medio de la optimización del tiempo.

### 6.3.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Este indicador se relaciona con el VAN, ya que utilizando una fórmula similar, determina cuál es la tasa de descuento que hace que el VAN de un proyecto sea igual a cero. Es decir, que este indicador determinará la rentabilidad del proyecto.

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^n \frac{FN_t}{(1+TIR)^n} \quad \text{Ec (6.2)}$$

Entonces:

$$VAN = -5996,25 + \frac{3279,8}{(1+TIR)^1} + \frac{3400,16}{(1+TIR)^2} + \frac{3524,95}{(1+TIR)^3} + \frac{3654,32}{(1+TIR)^4} + \frac{3788,43}{(1+TIR)^5}$$

$$0 = -5996,25 + \frac{3279,8}{(1+0,50)^1} + \frac{3400,16}{(1+0,50)^2} + \frac{3524,95}{(1+0,50)^3} + \frac{3654,32}{(1+0,50)^4} + \frac{3788,43}{(1+0,50)^5}$$

$$0 = 0$$

El valor más próximo que vuelve cero al VAN es 50%, lo cual indica y corrobora que la rentabilidad de esta inversión es lo suficientemente atractiva para el riesgo que podría presentar este proyecto.

### 6.3.3 RELACIÓN COSTO-BENEFICIO (B/C)

Se determina con los ingresos sobre los gastos. Si el valor es mayor a 1 es aceptable, caso contrario se debe rechazar, entonces:

$$\frac{B}{C} = 2,006 \quad Ec (6.3)$$

Por lo tanto al ser esta relación mayor a 1, demuestra que el proyecto es rentable, porque existen muchos más ingresos que gastos.

Tomando en cuenta todos los indicadores, se ha podido verificar que la máquina mezcladora es rentable, no solo en el ámbito ahorro de tiempo sino también desde el punto de vista económico.

### 6.4 ANÁLISIS DE IMPACTO SOCIAL

En una valoración económica cuantitativa más específica debe tenerse en cuenta la influencia de otros servicios como la cocina, farmacia, endoscopia digestiva o el laboratorio clínico. La cuestión siguiente es plantear la relación costo-efectividad del apoyo nutricional, enfocados en mezclas de sólidos.

Se estima que para una incidencia del 20% de complicaciones atribuibles al estado nutricional, el tratamiento con nutrición artificial supondría una reducción del 50% de las complicaciones mayores, por lo que el índice costo-eficacia es efectivo. Este costo-efectividad-ahorro puede alcanzarse en dos formas:

1. Hay que tratar de aplicar y tener siempre presente que la primera indicación para la nutrición es la natural, es decir, la vía oral con fórmulas culinarias de alimentos comunes.

2. Una valoración y terapia nutricional bien concebida y realizada con eficacia influirá favorablemente en los indicadores siguientes:

- Disminuirá las demandas de camas para las unidades de atención a enfermos críticos.
- Disminuirá la realización de operaciones de urgencia en estos pacientes por dehiscencia de suturas, fístulas intestinales y abscesos intraabdominales.
- Menor realización de estudios diagnósticos de tecnología compleja (ultrasonidos, TAC, ecocardiogramas, antibiogramas).

Los resultados anteriormente señalados se convertirán automáticamente en indicadores de impacto social que mida efectividad en:

- Reducción de la mortalidad.
- Reducción de la estadía.
- Reducción de reingresos.
- Reducción de los costos.
- Aumento del grado de satisfacción.

En conclusión ayudarse de la nutrición parenteral en relación a las enfermedades que se podrían presentar, es menos caro prevenirlas que tratarlas.

## CAPÍTULO VII

### 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

El presente proyecto contribuye al desarrollo productivo de la región, en razón que pequeños empresarios dedicados a la comercialización de mezclas encontrarán en este proyecto, una oportunidad de crecimiento económico dado el ahorro en ingeniería de diseño además de la capacidad de mejorar la calidad y producción del mezclado.

Se probó el mezclador industrial de sólidos en una jornada completa de trabajo continuo (8 horas), produciendo un total de veinte muestras, cada una de ellas con un peso aproximado de 15 kilogramos. La misma cantidad de muestras con ese mismo peso se producía en tres días laborables (24 horas) empleando técnicas artesanales con el doble de operarios (2), con ello se logró optimizar el tiempo de mezclado aumentando la producción en un 285%.

La construcción de la máquina cumple las características propias de la manufactura especializada, ya que tiene un alto nivel de protección contra la corrosión cumpliendo el grado sanitario, además de usar controles adecuados para procesar y manejar el producto, cumpliendo así las normas BPM (Buenas prácticas de manufactura).

El tablero eléctrico fue fabricado e instalado en base a las normas IEC 60439-1, IEC 60529 e IEC 62262, mismas que garantizan un óptimo funcionamiento en las características técnicas como límites de calentamiento, propiedades dieléctricas, eficacia de funcionamiento y protección mecánica, además que cumple con verificación IP e IK.

Las pruebas demuestran obtener una mezcla homogénea al usar similares tamaños de partículas de cada sustancia, por ello, para la realización de un

mezclado óptimo es necesario el uso de componentes con tamaños muy parecido de partículas, no variando entre si más del 20% en su diámetro, dado que este requerimiento es primordial para el correcto desempeño del equipo.

La máquina no devolverá el retorno de capital, sin embargo, con el cálculo del VAN y del TIR se demuestra que en un periodo no mayor de cinco años se recupera por completo la inversión realizada, con el solo hecho de optimizar el proceso de mezcla mediante el ahorro de tiempo y además, la automatización del proceso, permite un ahorro de un 50% mensual al usar solamente un operador para la producción.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

Se debe tomar en cuenta un plan de mantenimiento preventivo para evitar anomalías y daños del mezclador industrial, con esto se logrará alargar el tiempo de vida útil del equipo. Para una adecuada limpieza se recomienda usar agua detergente y alcohol.

La gran mayoría de veces en la industria farmacéutica el fármaco se encuentra en una proporción mucho menor que la del resto de componentes, en este caso se recomienda proceder inicialmente a mezclar la totalidad del fármaco con otra cantidad similar del resto de los componentes. A continuación se debería mezclar el polvo obtenido con otro peso similar para obtener el doble de la mezcla, y así sucesivamente hasta agotar la totalidad de las sustancias. De este modo se asegura un reparto más homogéneo del fármaco y, por lo tanto, una dosificación más exacta.

El sistema de control permite el ingreso de tiempo variable dando flexibilidad al sistema, sin embargo, en una investigación posterior se deja la posibilidad de almacenar registros de producción con tiempos y en base a un historial de registros, se puede obtener programas de mezclado (tiempos automáticos) basados en los tipos de materiales a usar.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Aliexpress*. (2015). Obtenido de <http://es.aliexpress.com/w/wholesale-proxim-inductive-proximity-sensors.html>
- Arévalo, M. F. (2007). *Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica*. Obtenido de <http://personal.us.es/mfarevalo/recursos.htm>
- Bressani , R., & Turcios, J. (s.f.). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de consumo humano en América Central. En *Instituto de Investigaciones*. Guatemala:: Universidad del Valle de Guatemala.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- DirectIndustry*. (2015). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/jp-selecta/mezcladoras-v-69528-590882.html>
- Elektro*. (29 de Enero de 2015). Obtenido de [http://www.elektro.it/magnetotermico/magnetotermico\\_02.html](http://www.elektro.it/magnetotermico/magnetotermico_02.html)
- Erazo Soria , P., & Vizuite Benítez, R. (2011). Diseño y construcción de una mezcladora industrial para la elaboración de vino de frutas con capacidad de 2000 litros. En *Proyecto de tesis para la obtención de ingeniero mecánico*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Gil, Á. (2010). *Tratado de Nutrición: Nutrición Clínica*. Madrid: Médica Panamericana.
- Gómez De la Torre , A., & Mitau Caride, J. (2006). Diseño y simulación de una mezcladora y dosificadora de polvos finos, y la construcción de un modelo. En *Proyecto de tesis para la obtención de ingeniero mecánico*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército.
- Harper, E. (1996). *Guía de práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas*. México: Limusa Noriega.
- Lleal*. (20 de Enero de 2015). Obtenido de <http://www.lleal.com/?s=mezclador&lang=es>

*Losalimentos.* (2015). Obtenido de <http://www.alimentos.org.es/nutrientes-harina-trigo>

*Manalux.* (2015). Obtenido de [http://www.manalux.es/product\\_info.php?products\\_id=3RH2122-1AB00](http://www.manalux.es/product_info.php?products_id=3RH2122-1AB00)

Martín, F. J. (1990). *Apuntes de electricidad aplicada a los buques*. Madrid: Club Universitario.

Niebel, B., & Freivalds, A. (2008). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Alfaomega.

Nisbett, R. G. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.

SKF. (2010). Catálogo General.

*Socomec.* (2015). Obtenido de [http://www.socomec.com/webdav/site/Socomec/shared/SCP/pdf\\_catalogue/ESP/cat\\_FusiblesgG\\_aM-esp.pdf](http://www.socomec.com/webdav/site/Socomec/shared/SCP/pdf_catalogue/ESP/cat_FusiblesgG_aM-esp.pdf)

*Tianfeng.* (2015). Obtenido de <http://www.cntabletpress.com.es/5-swing-mixer-2.html>

*TME.* (2015). Obtenido de [http://www.tme.eu/html/ES/modulos-programables-logicos-logo-siemens/ramka\\_4535\\_ES\\_pelny.html](http://www.tme.eu/html/ES/modulos-programables-logicos-logo-siemens/ramka_4535_ES_pelny.html)