



# **UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS  
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DEVANADORA  
AUTOMÁTICA PARA LA MEDICIÓN DE LONGITUD DE  
CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**EFRAÍN DARÍO ÁVILA LÁRRAGA**

**DIRECTORA: SANDRA ELIZABETH ESPINEL JARAMILLO, (ING, MSc)**

**D.M. Quito**

**2015**

## DECLARACIÓN

Yo EFRAÍN DARÍO ÁVILA LÁRRAGA, con cédula de ciudadanía N. 1717127615 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que además he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

EFRAÍN DARÍO ÁVILA LÁRRAGA

C.I. 1717127615

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por EFRAÍN DARÍO ÁVILA LÁRRGA, bajo mi supervisión.

---

**SANDRA ELIZABETH ESPINEL JARAMILLO, (ING, MSc)**  
**C.I. 1711460152**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a mi Dios por ser tan bueno conmigo, por todas sus bendiciones y por haberme ayudado a culminar esta etapa de mi vida

A la Universidad Internacional del Ecuador, por haberme otorgado el privilegio de estudiar mi carrera universitaria

A mi tutora de proyecto, la Ingeniera Sandra Espinel por haber compartido conmigo sus conocimientos, sus enseñanzas y experiencias como docente, ya que sin su guía y asesoramiento, no hubiese culminado con éxito mi proyecto de titulación.

A cada uno de mis lectores, el Ingeniero Xavier Sánchez y el Ingeniero Esteban Montufar, por haberme encaminado y ayudarme a crecer en conocimiento y como profesional.

Al cada una de las personas del equipo de trabajo de la empresa Protecnycom, y en especial a su representante, el Ingeniero Marcos Suarez.

Al Ingeniero Ramiro Brito, por haberme motivado a estudiar la carrera de ingeniería en mecatrónica y ayudado a pensar que no sólo sería un sueño, sino una hermosa realidad.

## DEDICATORIA

Éste proyecto de titulación es el reflejo del transcurso de toda mi vida universitaria, es por eso, que se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino y ayudarme a llegar a esta etapa de mi vida, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar antes los problemas que se presentaban, y enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni darme por vencido.

A ti madre Dolorosa por haberme dado el valor de luchar y ayudarme a conseguir las metas que tú tenías preparadas para mí.

A mis padres Efrén y Nubia por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles. Me han dado todo y es por ellos que soy lo que soy.

A mis hermanos Fernando y Panchito por haber estado siempre presentes y permitirme crecer junto a ustedes, es una felicidad que no podría explicar jamás.

A ti mi Diana Carolina porque eres un ser muy importante en mi vida, ya que nunca me dejaste de apoyar, ni dejaste de creer en mí y aunque estés lejos y no pueda verte físicamente, siento que estás conmigo.

*“Un mundo sin cuerda es el caos” Rudolf Smuntz*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.4 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	2
1.5 DIMENSIONES APROXIMADAS DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CABLE.....	5
1.6 PARTES DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CABLE .....	6
1.7 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	7
1.8 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	7
1.9 MARCO TEÓRICO .....	8
1.10 MARCO CONCEPTUAL.....	12
1.11 HIPÓTESIS .....	13

1.12 ASPECTOS METODOLÓGICOS .....	13
CAPÍTULO II.....	14
ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS .....	14
2.1 GESTIÓN DE LA CALIDAD .....	14
2.2 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) .....	16
2.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD .....	16
2.4 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DEVANADO AUTOMÁTICO .....	33
2.5 ANÁLISIS FUNCIONAL .....	35
2.6 ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO.....	39
2.7 ALTERNATIVAS DE FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LA MÁQUINA..	43
2.8 ANÁLISIS FUNCIONAL .....	44
2.9 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MÓDULOS .....	46
CAPÍTULO iii.....	49
DISEÑO MECATRÓNICO .....	49
3.1 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA.....	50
3.2 SISTEMA MECÁNICO-HIDRAULICO .....	66
3.3 CÁLCULOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	78
3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENROLLADO .....	92
CAPÍTULO iv .....	144
CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS .....	144
CONCLUSIONES .....	157
RECOMENDACIONES .....	161
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Árbol de Problemas.....	2
Figura 1.2. Árbol de Objetivos .....	3
Figura 1.3. Árbol de Alternativas .....	3
Figura 1.4. Dimensiones Aproximadas de la Máquina Devanadora .....	5
Figura 1.5. Partes de la Máquina Devanadora de Conductores Eléctricos .....	6
Figura 1.6. Diámetros Relativos de Varios Calibres (AWG) [8].....	11
Figura 2.1. Diagrama Funcional Nivel Cero.....	37
Figura 2.2. Diagrama Funcional Nivel Uno .....	37
Figura 2.3. Estructura Modular (Anexo D).....	39
Figura 2.4. Descarga Carretes (Dancer) .....	40
Figura 2.5. Unidad Hidráulica.....	41
Figura 2.6. Pistón Hidráulico .....	41
Figura 2.7. PLC s7-1200 .....	42
Figura 3.1. Análisis de la Deformación de un Cuerpo con un Volado Estático .....	51
Figura 3.2. Dimensiones de los Brazos Mecánicos en mm .....	52
Figura 3.3. Estructura con Carga Viva (1300 kgf) (Diseñada en SAP200).....	54
Figura 3.4. Relación de Interacción con Cargas.....	55
Figura 3.5. Simulación de Esfuerzos .....	56
Figura 3.6. Análisis de Deflexiones .....	57
Figura 3.7. Análisis de Esfuerzos Brazos Mecánicos .....	57
Figura 3.8. Brazo Derecho (Plano en ST5) .....	59
Figura 3.9. Brazo Derecho de la Máquina Devanaflex .....	59
Figura 3.10. Análisis de Momento .....	60
Figura 3.11. Momento Flector .....	60
Figura 3.12. Momento de Corte .....	61
Figura 3.13. Momento Torsor.....	61



Figura 3.14. Momento Torsor.....	62
Figura 3.15. Diagrama del Eje del Brazo Derecho .....	63
Figura 3.16. Partes de los Sistemas de la Máquina Devanadora .....	67
Figura 3.17. Gráfica de Tolerancias y Ajustes .....	68
Figura 3.18. Ubicación del Sistema Hidráulico Máquina Medidora en Solid Edge .....	69
Figura 3.19. Sistema Hidráulico .....	69
Figura 3.20. Funcionamiento Unidad Hidráulica.....	70
Figura 3.21. Cilindro Comercial de 3” de diámetro y 10” de recorrido.....	70
Figura 3.22. Gráfico del Pistón Hidráulico .....	72
Figura 3.23. Motores Trifásicos.....	75
Figura 3.24. Gráfico Carrera del Pistón Hidráulico .....	75
Figura 3.25. Tanque Hidráulico .....	76
Figura 3.26. Bomba con Engranajes de Alta Presión .....	78
Figura 3.27. Esquema del Carrete más Grande.....	79
Figura 3.28. Momento de Inercia de un Cilindro Hueco.....	80
Figura 3.29. Diagrama de la Velocidad Mínima del Sistema de Devanado .....	82
Figura 3.30. Fórmula para Encontrar la Potencia de Entrada del Motor .....	83
Figura 3.31. Gráfico Fuerza Tangencial Carrete Lleno y Vacío .....	85
Figura 3.32. Datos de Placa de un Motor Trifásico.....	87
Figura 3.33. Motor de 5hp Trifásico.....	92
Figura 3.34. Caja Reductora. ....	92
Figura 3.35. Esquema del Sistema de Enrollado.....	94
Figura 3.36. Gráfico Sistema Medidor .....	99
Figura 3.37. Gráfico Sistema Medidor .....	99
Figura 3.38. Relación de Giro Tornillo-Motor.....	100
Figura 3.39. Emparejamiento Tornillo-Motorreductor .....	101
Figura 3.40. Emparejamiento Tornillo-Motorreductor .....	102
Figura 3.41. Gráfico Desplazamiento de Medidor .....	105
Figura 3.42. Gráfico Uniforme del Conductor Eléctrico y Carrete .....	105
Figura 3.43. Gráfico Desplazamiento de Medidor Horizontalmente.....	106
Figura 3.44. Gráfico Sistema de Brazos Mecánicos.....	112

Figura 3.45. Control de Velocidad de un Motor Asíncrono por Estrella-Triángulo.....	116
Figura 3.46. Servicio Continuo .....	119
Figura 3.47. Servicio S3.....	119
Figura 3.48. Servicio S4 .....	120
Figura 3.49. Servicio S8.....	120
Figura 3.50. Datos de Placa de Motor de 5hp .....	123
Figura 3.51. Niveles de Voltaje (rangos en Ecuador) .....	123
Figura 3.52. Contactores de Baja Tensión 3RT20.....	124
Figura 3.53. Selección de Contactores de Baja Tensión 3RT20 .....	126
Figura 3.54. Datos de Placa Motor de 3hp .....	127
Figura 3.55. Contactor para Motor de 3hp.....	127
Figura 3.56. Datos de Placa del Motor de 2hp .....	128
Figura 3.57. Contactor Compatible con Motor de 2hp .....	128
Figura 3.58. Clases para los Tipos de Protección .....	129
Figura 3.59. Datos de Placa motor de 3hp .....	130
Figura 3.60. Guardamotor para Motor de 3hp .....	130
Figura 3.61. Breaker de Tres Polos 60[A] Máximo/400 [V].....	135
Figura 3.62. Dimensionamiento de Cables Eléctricos (IEC 60 909) .....	137
Figura 3.63. Variables de PLC en PC Access .....	140
Figura 3.64. Pantalla Principal HMI DEVANAFLEX (Anexo F) .....	141
Figura 3.65. Pantalla de Ingreso de Conductores Eléctricos .....	142
Figura 3.66. Pantalla Egreso de Conductores Eléctricos.....	142
Figura 3.67. Ingreso de Nuevos Clientes .....	142
Figura 3.68. Saldos de Conductores Eléctricos.....	143
Figura 3.69. Pantalla para Impresión de Reportes de Trabajo .....	143
Figura 4.1. Diseño de la Máquina Devanadora en Solid Edge St5 .....	144
Figura 4.2. Construcción de la Estructura .....	144
Figura 4.3. Construcción de la Estructura .....	145
Figura 4.4. Construcción Sist.Medidor .....	145
Figura 4.5. Construcción Sist.Medidor .....	145

Figura 4.6. Construcción Sist.Enrollado .....	146
Figura 4.7. Construcción Sist.Devanado .....	146
Figura 4.8. Alineación de Tornillos y Pernos .....	147
Figura 4.9. Alineación de Poleas y Rodamientos .....	147
Figura 4.10. Alineación de Motores.....	147
Figura 4.11. Alineación de Motores Brazos M. ....	147
Figura 4.12. Alineación de Motores Sist. Enrollado y Devanado .....	148
Figura 4.13. Estructura Mecánica Pintada.....	148
Figura 4.14. Sistema de Brazos Mecánicos .....	149
Figura 4.15. Sistema Hidráulico .....	149
Figura 4.16. Motor sistema de Brazos.....	150
Figura 4.17. Motor Sistema Devanado y Enrollado .....	150
Figura 4.18. Colocación Contador de Metros y Fines de Carrera .....	151
Figura 4.19. Colocación de Elementos Eléctricos en el Gabinete Metálico .....	151
Figura 4.20. Sistema de Control de la Máquina.....	152
Figura 4.21. Pantalla de Visualización de la Máquina Devanadora (HMI) .....	153
Figura 4.22. Rango Mediciones Conductores Eléctricos .....	156
Figura 4.23. Rango Mediciones Máquina Devanadora de Conductores Eléctricos.....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Clasificación General de los Conductores Eléctricos.....	11
Tabla 2.1. Tabla de Segmentación del Cliente (TSC).....	17
Tabla 2.2. Tabla Voz del Cliente .....	19
Tabla 2.3. Clasificación de Verbalizaciones .....	20
Tabla 2.4. Estructuración Respecto a las Necesidades del Cliente .....	21
Tabla 2.5. Estructuración de las Necesidades del Cliente .....	22
Tabla 2.6. Priorización de las Necesidades del Cliente .....	25
Tabla 2.7. Despliegue de Necesidades Priorizadas del Cliente.....	27
Tabla 2.8. Matriz de Relaciones (Necesidades del Cliente y Parámetros de Diseño)....	31
Tabla 2.10. Resultados y Prioridades de la Casa de la Calidad .....	33
Tabla 2.11. Especificaciones Técnicas para el Diseño del Sistema de Devanado .....	33
Tabla 2.12. Especificaciones Generales del Sistema .....	44
Tabla 2.13. Análisis Funcional de Módulos .....	45
Tabla 2.14. Comparación de Criterios .....	47
Tabla 2.15. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Confiabilidad .....	47
Tabla 2.16. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Manipulación.....	47
Tabla 2.17. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Mantenimiento .....	47
Tabla 2.18. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Costo .....	48
Tabla 2.19. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Fuerza y Velocidad .....	48
Tabla 2.20. Conclusiones.....	48
Tabla 3.1. Datos Técnicos de la Bomba Hidráulica .....	78
Tabla 3.2. Tipos de Servicio Primario S1-S9.....	88
Tabla 3.3. Comparación de Criterios .....	88
Tabla 3.4. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Manteniabilidad .....	89
Tabla 3.5. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Manteniabilidad .....	89
Tabla 3.6. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Manteniabilidad .....	89
Tabla 3.7. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Manteniabilidad .....	89

Tabla 3.8. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Manteniabilidad .....	89
Tabla 3.9. Comparación de Precios .....	90
Tabla 3.10. Comparación de Precios .....	90
Tabla 3.11. Comparación de Precios .....	90
Tabla 3.12. Comparación de Precios .....	91
Tabla 3.13. Comparación de Precios .....	91
Tabla 3.14. Comparación de Precios .....	91
Tabla 3.15. Comparación de Precios .....	96
Tabla 3.16. Comparación de Precios .....	96
Tabla 3.17. Comparación de Precios .....	96
Tabla 3.18. Comparación de Precios .....	97
Tabla 3.19. Comparación de Precios .....	97
Tabla 3.20. Comparación de Precios .....	97
Tabla 3.21. Comparación de Precios .....	109
Tabla 3.22. Comparación de Precios .....	109
Tabla 3.23. Comparación de Precios .....	109
Tabla 3.24. Comparación de precios.....	110
Tabla 3.25. Comparación de precios.....	110
Tabla 3.26. Comparación de precios.....	110
Tabla 3.27. Clasificación de los Variadores Según la Potencia de Entrada del Motor .	117
Tabla 3.28. Tipo de Servicio de Cada Motor de la Máquina .....	118
Tabla 3.29. Contactores de Baja, Media y Alta Tensión .....	125
Tabla 3.30. Datos de Placa de Cada Motor de la Máquina Devanadora .....	132
Tabla 3.31. Datos de Corriente del Lazo de Control.....	134
Tabla 4.1. Prueba Sist. Devanado del Conductor Eléctrico (ø10mm) .....	153
Tabla 4.2. Prueba Sist. Devanado del Conductor Eléctrico (ø 40mm) .....	154
Tabla 4.3. Prueba Sist. Enrollado Conductor Eléctrico (ø 10mm) .....	155
Tabla 4.4. Prueba Sist. Enrollado del Conductor Eléctrico (ø 40mm) .....	155

## ABREVIATURAS

**Eeasa:** Empresa Eléctrica de Ambato

**PDM-MIX2000:** Protecnycom, Diseñada, Mixta 2000

**HMI:** Interfaz hombre-máquina

**Kardex:** Sistema de almacenamiento de datos e inventarios

**PLC:** Controlador lógico programable

**PC:** Computador Personal

**AWG:** American Wire Society

**TQM:** Total Quality Management

**QFD:** Quality Function Deployment

**TSC:** Tabla de Segmentación del Cliente

**Kgf:** Kilogramos fuerza

**Ton:** Tonelada

**m:** Metros

**mm:** Milímetros

**m<sup>3</sup>:** Metros cúbicos

**seg:** Segundos

**min:** Minutos

**N:** Newtons

**Fy:** Factor de fluencia

**L:** Carga viva

**D:** Carga muerta

**V:** Volumen

**gal:** Galones

**pulg:** Pulgadas

**cm<sup>2</sup>:** Centímetros cuadrados

**RPM:** Revoluciones por minuto

**P:** Presión

**R:** Radio

**L:** Longitud

**PD:** Emparejamiento tornillo-motor

**I:** Momento de inercia

**$\alpha$ :** Aceleración angular

**T:** Torque

**$\Delta_w$ :** Velocidad angular

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en un diseño y construcción de una máquina devanadora automática para la medición de longitud de conductores eléctricos (modelo DEVANAFLEX PDM-MIX 2000), para la bodega número cinco de la empresa eléctrica de Ambato (Eeasa).

La empresa Electrocable S.A. facilita a la empresa Eeasa la disponibilidad de los conductores eléctricos a través de carretes, es por eso, que para tener un mejor control en los trabajos manuales de medición por parte de los operarios, fue necesario realizar una investigación para determinar cómo resolver el problema de control y la pérdida de recursos en la empresa.

A través del Despliegue de la Función de Calidad (QFD), se pudo determinar soluciones para los problemas que presenta la empresa con respecto a la pérdida y control de medición de los carretes que entrega la empresa Electrocable S.A.

Es por eso que Eeasa decide implementar una máquina que realice los procesos de medición y control del conductor eléctrico de manera automática a través de un HMI (interfaz hombre-máquina). Además, en el sistema HMI se añadió un kardex que le permitió a la máquina DEVANAFLEX PDM-MIX2000, observar la cantidad de inventarios en cables y reportes.

Se utilizó un software para realizar el control por HMI, observar las mediciones y velocidad del cable devanado u enrollado y optimizar de mejor manera el uso recursos de la empresa.



## ABSTRACT

This project involves in a design and construction of an automatic winding machine for measuring length of electrical conductors (model DEVANAFLEX PDM-MIX 2000), for the winery number five of Eeasa (Empresa Eléctrica de Ambato).

The company Electrocable S.A. facilitates to Eeasa the availability of electrical conductors through reels, however, in order to have better control in manual labor measurement by the operators. It was necessary to conduct an investigation to determine how to solve the problem control and loss of resources.

Through a Quality Function Deployment (QFD) system it is able to determine solutions to the problems presented by the company regarding the loss measurement and control reels delivery company Electrocable S.A.

Eeasa's company decide to implement a machine to perform the measurement processes and control power driver automatically through a HMI (Human Machine Interface). Furthermore, if the HMI system added a data bank on the machine DEVANAFLEX PDM-MIX2000, that allowed us to look the amount of inventory cables and reports.

Software was used to perform the HMI control, measurements and observe the speed of the winding wire or rolling and better optimize the use of company resources.

## INTRODUCCIÓN

Los métodos manuales realizados en una empresa, provocan que ésta no optimice sus recursos, generando pérdidas económicas.

En la época actual, muchos son los medios para alcanzar la automatización de procesos, en este caso, la Empresa Eléctrica de Ambato (Eeasa) ha venido experimentando las desventajas de trabajar en forma manual, razón por la cual ha expuesto la necesidad de contar con una máquina que realice estos procesos de manera automática, mejorando la eficacia y la eficiencia.

Esta máquina deberá cumplir con las características determinadas por la Eeasa, requerimientos que cumplirán con las necesidades operacionales de la empresa.

En este proceso de construcción de la máquina es necesario establecer el modelo de gestión de la calidad más adecuado que se adapte a éste proceso motivo de éste estudio y posteriormente en base a los resultados obtenidos conseguir que la máquina construida se acerque a satisfacer las necesidades del cliente.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Empresa Eléctrica de Ambato (Eeasa) se realiza manualmente la medición, el devanado y el corte de conductores eléctricos, lo cual genera inexactitud en cada uno de éstos procesos, ocasionando pérdida de recursos e ineficiencia en el tiempo empleado.

### 1.2 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué elementos, actualmente, están involucrados en la pérdida de recursos al realizar los procesos de devanado, corte y enrollado de conductores eléctricos?

¿Cómo optimizar el uso de recursos de la Eeasa en el proceso de devanado, corte y enrollado de conductores eléctricos?

¿Cuáles son las ventajas de una máquina automática devanadora de conductores eléctricos?

### 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.3.1 GENERAL

Diseñar y construir una máquina automática que mida, corte y devane conductores eléctricos (máquina devanadora de conductores eléctricos).

#### 1.3.2 ESPECÍFICOS

- Diseñar la estructura de la máquina devanadora de cable que soporte un carrete de una tonelada y media.
- Implementar un controlador lógico programable (PLC), en base a parámetros que permitan establecer la comunicación entre la máquina devanadora y la computadora (PC).
- Diseñar y programar una interfaz hombre-máquina (HMI) que permita el monitoreo total de la máquina devanadora.

- Realizar pruebas de funcionamiento, de control y fallas del sistema.
- Establecer e implementar medidas de seguridad en los procesos de medición, corte y devanado.

## 1.4 ÁRBOL DE PROBLEMAS

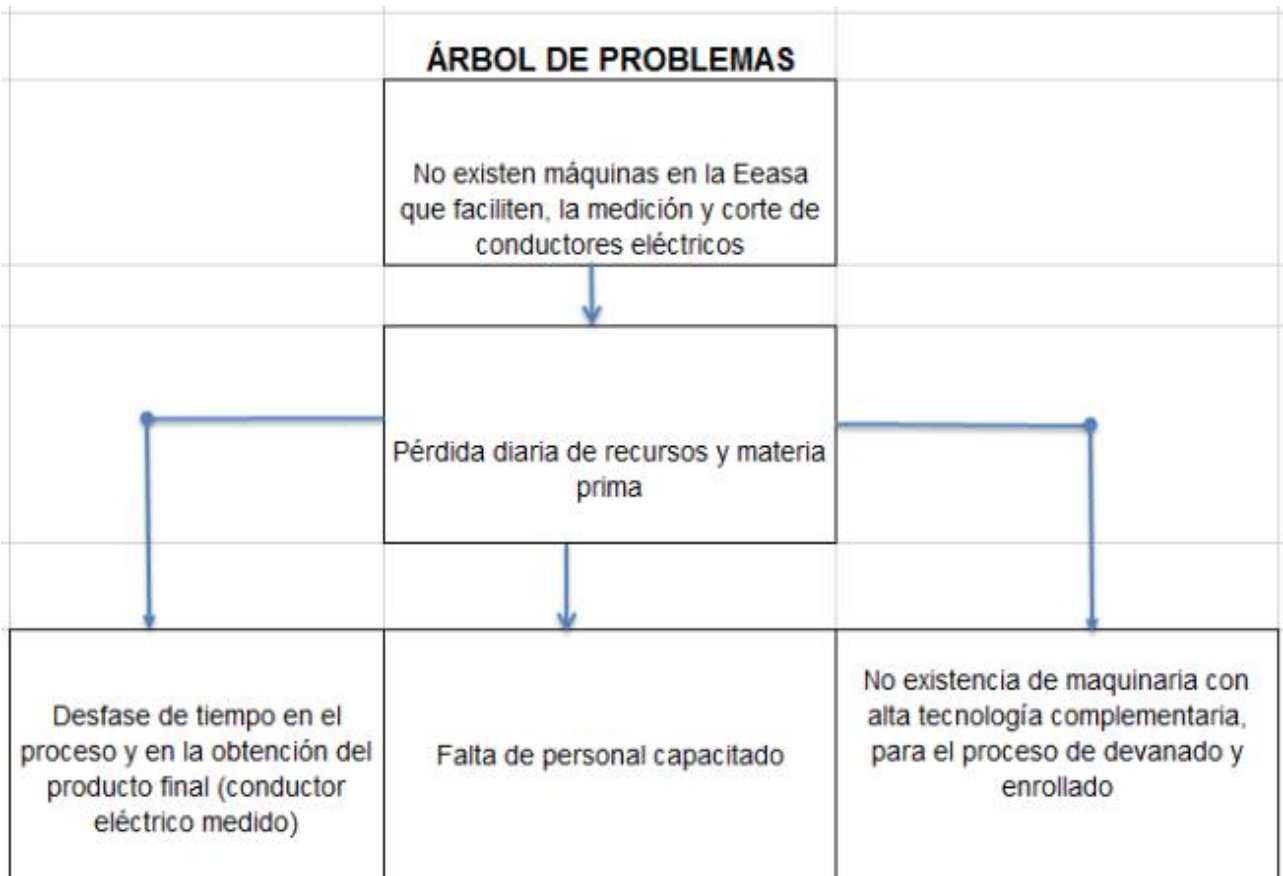


Figura 1.1. Árbol de Problemas

## 1.5 ÁRBOL DE OBJETIVOS

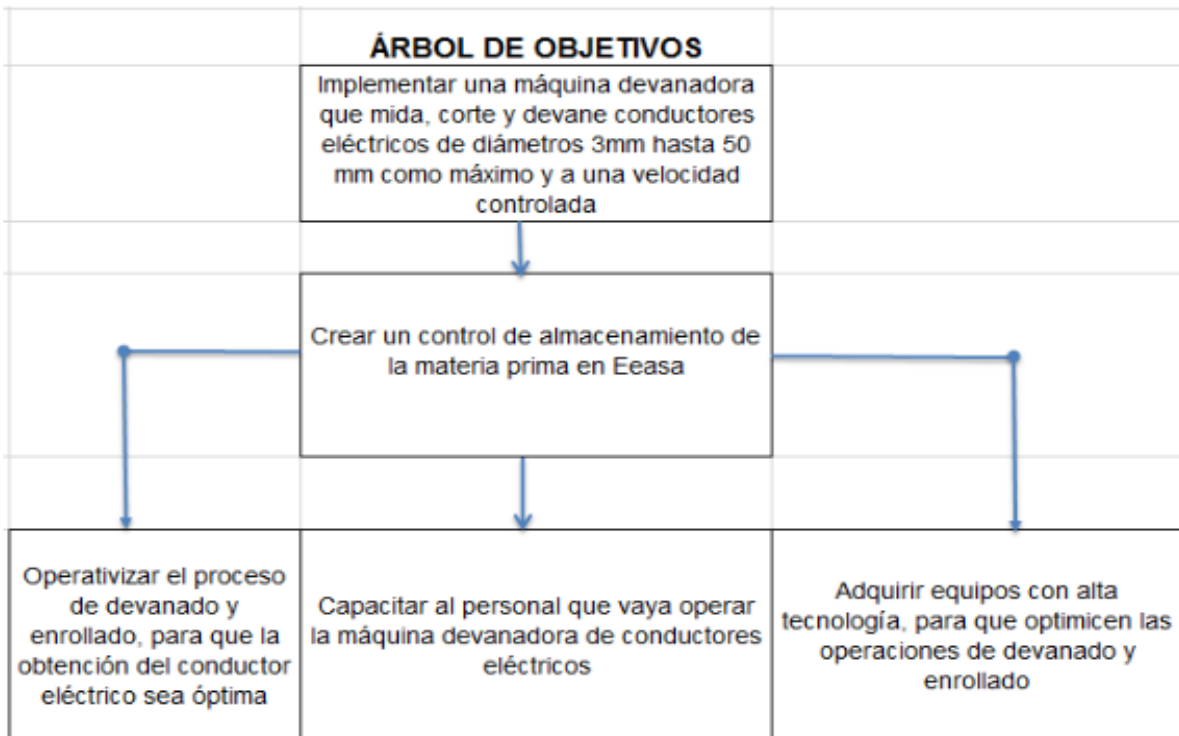


Figura 1.2. Árbol de Objetivos

## 1.6 ÁRBOL DE ALTERNATIVAS

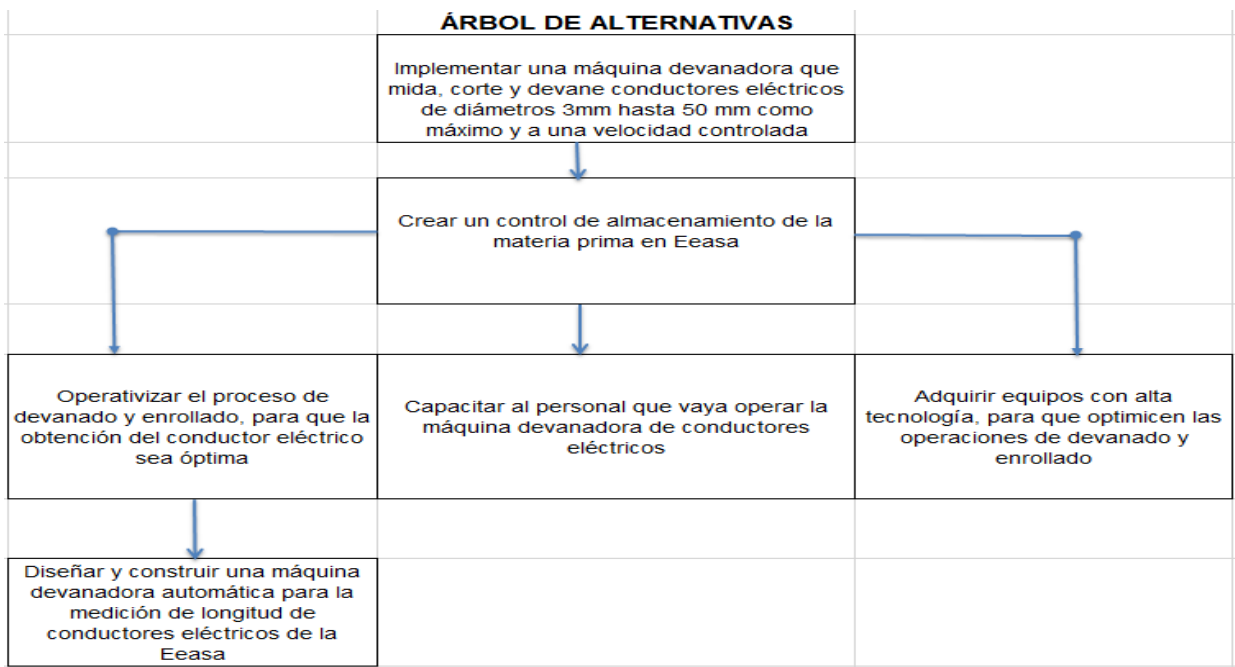


Figura 1.3. Árbol de Alternativas

## 1.7 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El proyecto de investigación aquí planteado se realiza en base a los conocimientos y fundamentos de la ingeniería Mecatrónica, misma que está dividida en tres ramas: la mecánica, la electrónica y la informática centrada en el control de procesos.

“La mecatrónica es un concepto que fue inicialmente desarrollado por una firma japonesa de robots. En un principio, se definió como la integración de la mecánica y la electrónica en una máquina o producto, pero luego se consolidó como una especialidad de la ingeniería y se le han incorporado otros elementos como los sistemas informáticos, los desarrollos de la microelectrónica, la inteligencia artificial, la teoría de control y otros relacionados con las telecomunicaciones.” [1]

En esta propuesta de realizar el diseño, construcción, automatización y control de la máquina devanadora de conductores eléctricos, se justifica la aplicación de las tres ramas mencionadas.

La rama de la mecánica es una rama de la ingeniería que se aplica en las ciencias exactas, en los principios físicos termodinámicos, ciencia de materiales, la mecánica de fluidos, y el análisis estructural. La ingeniería mecánica, por su parte, tiene un rol sumamente significativo, pues posibilita la planeación, construcción, la operación, el mantenimiento y la modernización de proyectos de infraestructura, así como la generación de bienes y productos, la prestación de servicios, necesarios para el desarrollo de un país [2]. Esta rama se aplicará en el cálculo de la estructura metálica para la devanadora, para luego definir después el material a seleccionar en la construcción de la estructura de la máquina.

La rama de la electrónica en la máquina devanadora se aplicará en escoger el modelo correcto de PLC, dependiendo la necesidad de la empresa Eeasa y además teniendo en cuenta que se va trabajar en un ambiente industrial.

La rama de la informática y automatización de procesos es utilizada en la programación del software, así como en el diseño de la interfaz o HMI (interfaz hombre-máquina) para facilidad de los operarios.

## 1.8 DIMENSIONES APROXIMADAS DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CABLE (Medidas en mm)

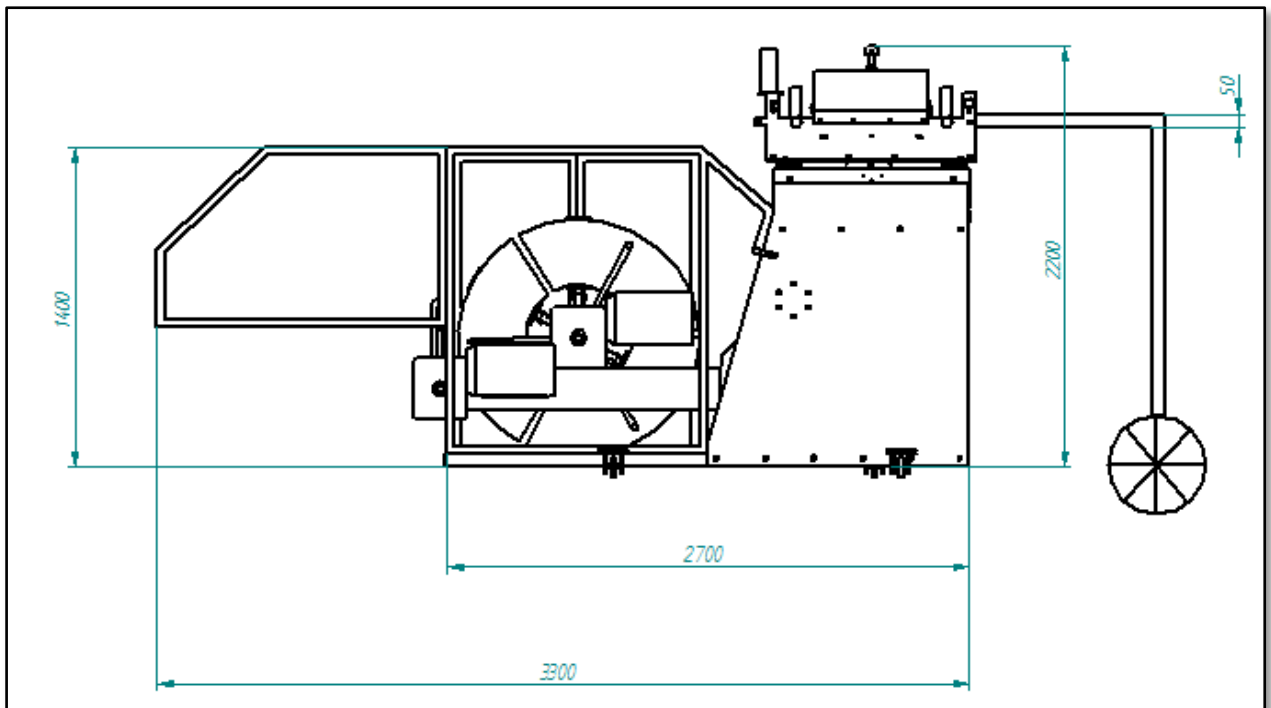


Figura 1.4. Dimensiones Aproximadas de la Máquina Devanadora de Conductores Eléctricos

## 1.9 PARTES DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CABLE

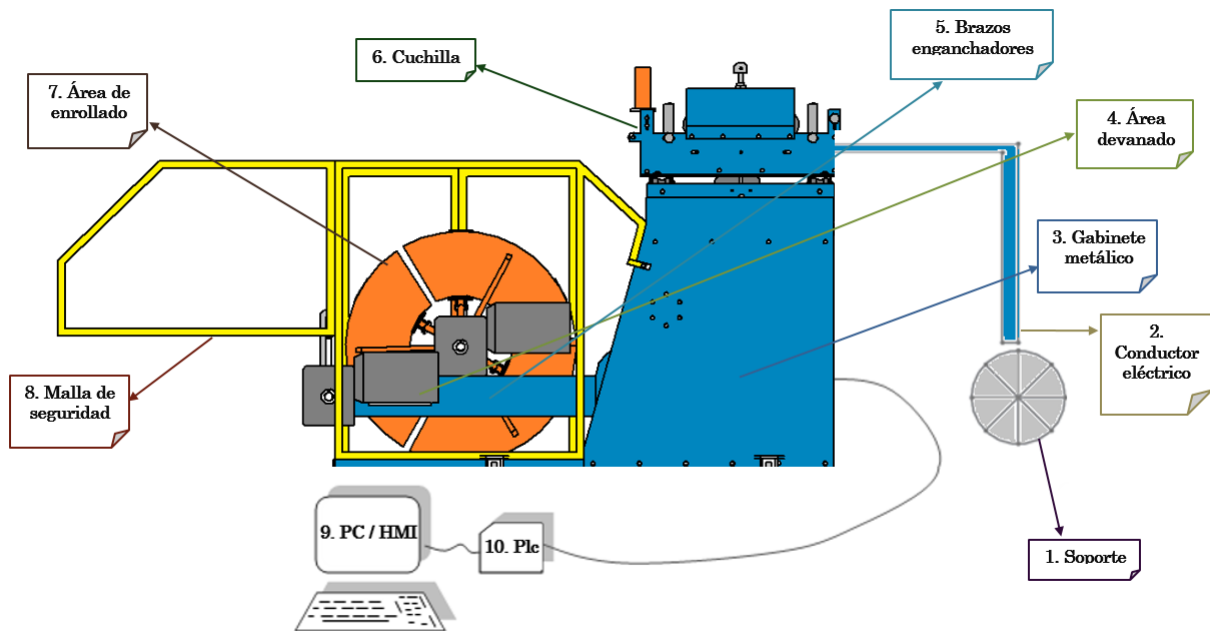


Figura 1.5. Partes de la Máquina Devanadora de Conductores Eléctricos

La máquina devanadora de conductores eléctricos será específicamente diseñada y fabricada para realizar trabajos en los cuales se necesite devanar y enrollar de manera automática conductores eléctricos.

Como se muestra en la Figura 1.5., la máquina devanadora de cable cuenta con diez partes: 1) el soporte de apoyo, elemento donde se ubica el carrete a ser descargado; 2) el conductor eléctrico, que es la unidad a ser descargada (devanada o enrollada); 3) el gabinete metálico, lugar donde se almacenan los elementos eléctricos y electrónicos que generan el funcionamiento de la máquina; 4) el área de devanado del conductor eléctrico, elemento que se ubica con un carrete vacío (a ser cargado) para devanar el conductor eléctrico; 5) los brazos enganchadores de carrete, piezas que levantan el carrete vacío, soportando a éste mientras ocurre el proceso de devanado; 6) la cuchilla metálica, realiza el corte del conductor eléctrico; 7) el área de enrollado, espacio donde se realizan rollos más pequeños a diferencia de devanar en carretes de mayor tamaño; 8) la malla de seguridad, que sirve de protección para el/los operario/s mientras la máquina trabaja; 9) la PC, a través de la cual se ejecuta y control la máquina mediante la interfaz hombre-máquina (HMI); y, 10) el controlador lógico programable (PLC), que se encarga de



controlar todas las funciones mecánicas y electrónicas que realiza la máquina devanadora de conductores eléctricos.

### **1.10 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La Eeasa estableció los parámetros que debe cumplir el funcionamiento de la máquina, es por eso que la metodología a seguir se basará en la búsqueda de conocimientos a través de los cuales se pueda crear las especificaciones de la máquina.

El modelo teórico conceptual está compuesto por el diseño de modelos teóricos, elaboración de prototipos, prueba y experimentación de prototipos y verificación experimental de prototipos.

Una vez que se obtienen las nociones teóricas de la investigación, se podrá diseñar los distintos componentes de la máquina, se procederá a realizar simulaciones en software (prueba y experimentación de prototipos), y una vez hecha la experimentación y obtenidos los resultados se procederá a crear el prototipo (verificación experimental del prototipo).

### **1.11 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

A través del diseño y la construcción de una máquina devanadora de conductores eléctricos, se busca minimizar las dificultades del proceso artesanal, proporcionando un control efectivo en la medición, el devanado y el corte de conductores eléctricos.

La máquina en sí es un robot, ya que contempla el diseño, creación de una estructura y de un mecanismo de control a través de una HMI, con lo que se busca cumplir los diferentes procesos y funciones de la misma (medición, devanado y corte del conductor eléctrico). En esta creación intervienen la robótica y la automatización de procesos.

La realización de esta máquina busca, promover e incentivar a la investigación para la mejora de los productos creados en la industria ecuatoriana.

Al realizar la máquina devanadora de conductores eléctricos para Eeasa, ésta proporciona un control efectivo de medición y velocidad del conductor, brindado seguridad y confort en los procesos descritos.

## **1.12 MARCO TEÓRICO**

### **1.12.1 DEVANADORA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

Una devanadora de conductores eléctricos es una máquina utilizada para envolver o enrollar cable, cuerdas, cordeles, cintas, y otras cosas similares en una bobina o un carrete. De manera que con una devanadora se obtiene precisión en la medida y en el corte; y, sobre todo en la no pérdida de material. [3]

Al respecto de la estructura de la máquina, Pérez [4] establece que una estructura metálica deberá ser de un material rígido y duro para actividades productivas, carga y descarga de conductores eléctricos.

Se tiene que tomar algunas consideraciones para el diseño de la estructura de la máquina devanadora:

- La necesidad de optimizar las instalaciones de la máquina garantizando las especificaciones del cliente y el cumplimiento de la norma INEN.
- Reducción de costes para la empresa y tiempo de fabricación.

### **1.12.2 MOTORES DE INDUCCIÓN**

Se utilizarán cinco motores trifásicos de inducción asincrónicos tipo jaula de ardilla de cuatro polos, ya que el costo consumo-energía es menor y más efectivo que un motor monofásico. Además el arranque de los motores trifásicos es controlable, lo que significa que podemos controlar su velocidad. Por otra parte, los repuestos y accesorios eléctricos son menores, como también la corriente trifásica y el tiempo de respuesta de un motor de inducción es más pequeño y efectivo.

Existen en el mercado motores síncronos y asíncronos dependiendo de la aplicación y el costo-manteniendo.

#### **1.12.2.1 Motores síncronos**

Los motores síncronos son motores que funcionan en corriente alterna, es decir que la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación. El período de rotación es exactamente igual a un número entero de ciclos de corriente.

Su velocidad de giro es constante ya que depende de la frecuencia, de la tensión de la red eléctrica a la que está conectada y el número de pares de polos del motor, más conocida ésta velocidad como "velocidad de sincronismo". El motor síncrono contiene electromagnetos en el estator y crea un campo magnético que rota en el tiempo a la velocidad de sincronismo. [5]

#### **Características:**

- El arranque necesita dos alimentaciones corriente alterna (AC) y corriente continua (DC). Arranca en AC cuando entra en sincronía, ya sea por relevador de tiempo o frecuencia, luego entra en DC.
- Mejora el factor de potencia
- Requiere excitatriz<sup>1</sup>
- Es libre de capacitores
- El precio del motor es mayor y requiere mayor cantidad de mantenimiento.

#### **1.12.2.2 Motores de inducción asíncronos**

Los motores asíncronos o de inducción son motores que funcionan en corriente alterna donde, la corriente eléctrica necesaria para producir torsión en el rotor, es transmitida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator. Por lo tanto un motor de inducción no requiere una conmutación mecánica aparte de su misma excitación, o parte de la energía transferida del estator al rotor, lo que no ocurre con los motores grandes síncronos. La velocidad de un motor asíncrono siempre es menor que la de un motor síncrono debido al deslizamiento entre el rotor y el campo magnético giratorio del estator. [5]

#### **Características**

- No requiere arrancador especial
- Baja el factor de potencia

---

<sup>1</sup> Generador de corriente continua que se utilizaba en el pasado para alimentar el campo de excitación de la máquina síncrona y acoplado al mismo eje. A menos que sea una máquina vieja, ya no se utilizan porque hoy día los campos se alimentan con tiristores o con generadores sin escobillas

- No requiere excitatriz
- El arranque con jaula de ardilla es a bajo costo y requiere menor mantenimiento.

Por otra parte es muy importante el cálculo de la capacidad máxima y la resistencia de la máquina comparada con el valor esperado o real (factor de seguridad) lo que implica confianza y seguridad para la persona que opere y manipule la máquina. [4]

Se efectuará el diseño de la estructura en Solid Edge ya que es proporcionado por la empresa y facilita el ensamblaje.

### **1.12.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PROGRAMER LOGIC CONTROLLER)**

“Un PLC es un computador industrial, que permite realizar procesos de automatización, convirtiendo los tres pilares (PLC, robots, CAD/CAM) en una tecnología industrial moderna para el hombre. Posee un sinnúmero de ventajas, como la tolerancia a fallos, problemas de adaptación, etc.

Por otra parte su tiempo de respuesta y señal es mucho más nítido y rápido, además se utiliza en control de procesos complejos en la industria. [6] Los PLC se caracterizan por ser de gama alta y estar adecuados para la automatización además, poseen muchos de ellos características técnicas que se ajustan a los requerimientos de control y automatización. Además la transportabilidad y la amplia memoria que éstos poseen como son memorias volátiles (RAM) y no volátiles (EPROM Y EEPROM) según requieran o no de energía eléctrica. [6]

### **1.12.4 CONDUCTOR ELÉCTRICO**

Un conductor eléctrico es un material por el cual puede haber un flujo de cargas eléctricas, sin descomponerse químicamente y circulando con facilidad. Su principal función es conducir electricidad (de alta y baja tensión). Están fabricados bajo la norma American Wire Gauge (AWG) [7].

### 1.12.4.1 Norma AWG para conductores eléctricos

Norma estadounidense establecida para el calibre de conductores eléctricos, utilizada dentro y fuera de los Estados Unidos. El diámetro del conductor empieza desde el calibre más grande 4/0 (cuatro ceros 13,412mm) y va disminuyendo hasta llegar al rango 1/0 (9,462mm). A partir de este valor (1/0) el calibre del cable está asociado a un valor numérico creciente (2, 4, 6, etc.), es decir, el diámetro del conductor se reduce cuando el valor numérico asignado aumenta, como se muestra en la figura 1.6. [8]

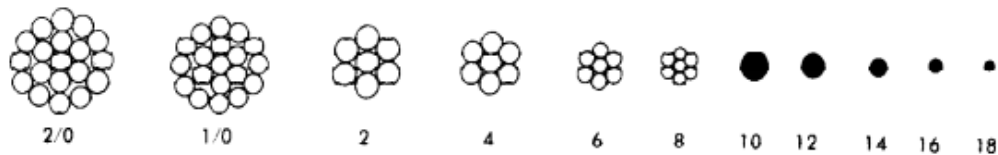


Figura 1.6. Diámetros Relativos de Varios Calibres (AWG) [8]

### 1.12.5 CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores eléctricos se clasifican en dos tipos:

- Cables redondos de cobre y aluminio
- Cables preensamblados de aluminio

De la información encontrada en Electrocable S.A.:

Tabla 1.1 Clasificación General de los Conductores Eléctricos

<b>Cables redondos de cobre y aluminio</b>	
<b>Cobre desnudos</b>	Utilizados generalmente para puestas a tierra
<b>Cobre aislados</b>	Utilizados para instalaciones eléctricas aéreas y subterráneas
<b>Aluminio desnudos</b>	Utilizados para el tendido de líneas eléctricas aéreas en baja tensión (1000 voltios hacia abajo) y alta tensión (1000-36000 voltios)
<b>Aluminio aislados</b>	Comúnmente utilizados para instalaciones aéreas domiciliarias
<b>Cables preensamblados en aluminio</b>	

<b>Aluminio dúplex</b>	Conocidos como multiplex son utilizados para acometidas eléctricas en lugares secos y húmedos con temperaturas máximas a 75°C
<b>Aluminio tríplex</b>	Utilizados para acometidas eléctricas en lugares secos y húmedos, soportan corrientes de hasta 185[A] amperios.

### 1.12.6 CONTROL DE LA MÁQUINA

La máquina devanadora de conductores eléctricos poseerá un control por PC a través de un HMI y conectado a un PLC vía Ethernet con el objeto de controlar el devanado y enrollado en la máquina devanadora. De igual manera se podrá controlar la velocidad de devanado y enrollado del conductor eléctrico.

Se pretende que la máquina devanadora sea apropiada para la medición y despacho de conductores, de modo que permitirá realizar un efectivo control de materiales e inventarios de conductores eléctricos de la empresa Eeasa.

### 1.13 MARCO CONCEPTUAL

“**Bobinador de cable** es un dispositivo para medir y enrollar rollos de cable en un carrete hasta un peso máximo de 150 Kg [9]”.

“**Unidad Hidráulica** son componentes que sirven para la generación, control y la transmisión del circuito de aceite/ presión, de aceite y para accionar la transmisión y de presión el mecanismo de control [9]”.

“**HMI** es una herramienta que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas; usan ventanas de procesos. Estas ventanas pueden estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora, ayudando a que la operatividad de la máquina sea sencilla [10]”.

“**PLC** dispositivo electrónico programable para el usuario, destinado a gobernar máquinas o procesadores lógicos y/o secuenciales [11]”.

“**Motor trifásico** es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía alterna conocida como trifásica. Está compuesto de un rotor y un estator. Son utilizados en

infinidad de sectores; instalaciones industriales, comerciales, particulares; como ventiladores, teléfonos, bombas, máquinas herramientas [12]“.

### **1.14 HIPÓTESIS**

La máquina devanadora de conductores eléctricos levanta un carrete con una inercia de giro de mínimo a 1,3 toneladas de peso y corta el conductor eléctrico en un diámetro mínimo de 3mm hasta los 50 mm, a una velocidad de 80 rpm como máximo.

### **1.15 ASPECTOS METODOLÓGICOS**

Eeasa requiere que la máquina muestre los metros medidos del conductor, la velocidad en la que se devane u enrolle el conductor y la ubicación del cable en referencia al tamaño del carrete. Es por ello que se buscará responder a lo requerido por el cliente en base al análisis pertinente.

Para dar respuesta a esto, se realizará un estudio de variables tanto de visualización como de operación de la máquina. Posteriormente, se pasará al análisis del número de elementos que serán incluidos en la máquina para los diferentes tipos de operaciones (medición del conductor eléctrico, devanado, corte y enrollado). Luego, se diseñará la estructura de la máquina devanadora. Para llegar a ello, se realizará el cálculo de estructuras de materiales y el cálculo del torque que debe tener la máquina para levantar un carrete de máximo dos toneladas de peso.

En secuencia, se procederá a la realización de simulaciones en software para seleccionar el tipo de material a ser empleado.

Seguidamente, se escogerá tipo de PLC para luego programarlo. Ya contando con la parte electrónica y mecánica, se realizarán pruebas de conexión entre la PC y el PLC seleccionado para luego crear la HMI.

## **CAPÍTULO II**

# **ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE CALIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

### **2.1 GESTIÓN DE LA CALIDAD**

Se entiende por gestión de la calidad al conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad. Generalmente incluye el establecimiento de la política de la calidad y los objetivos de la calidad, así como la planificación, el control, el aseguramiento y la mejora de la calidad. La calidad se enfoca en los requerimientos que busca el cliente, planificándose en una serie de pasos hasta lograr la excelencia. Es por eso que surge la necesidad de aplicar herramientas para obtener un buen diseño de calidad.

Dentro de las metodologías de gestión de la calidad se encuentran:

- TQM (Total Quality Management)
- SEIS (6) SIGMA
- RUTAS DE LA CALIDAD
- QFD (Quality Funtion Deployment (Despliegue de la función de calidad)

La metodología manejo de la calidad total (TQM) es más utilizado en procesos a largo plazo como los procesos manufactureros. Se llama calidad total porque se enfoca en la satisfacción y necesidades del cliente (todo lo que se realiza gira en torno al cliente). TQM interfiere más cuando se necesita hacer mejoras a productos, procesos y servicios que ya están realizados.

Una de las metodologías de gestión de calidad conocida es seis sigma ( $6\sigma$ ) o desviación estándar, misma que se encarga en mejorar procesos, reducir, eliminar defectos y fallas



en la entrega. El fin de 6 sigma es llegar al máximo de 3,4 defectos en un millón de oportunidades, es decir logra una exactitud de 99,99% en defectos de entrega. Entendiéndose como defecto cualquier suceso que un producto o servicio no cumple con las necesidades del cliente.

La metodología rutas de la calidad, es una herramienta que se utiliza en la mejora continua de procesos y servicios o procedimientos para solucionar problemas. Esta herramienta se basa en el ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), consiste en realizar un análisis de los defectos y disminuir permanente causas en las organizaciones. Como conclusión se revisa las actividades analizadas y planear a cambios futuro.

La metodología despliegue de la función de calidad (QFD) es un método globalizador, cuyo objetivo principal es asegurar en la definición de un producto o un servicio sean considerados los requerimientos más importantes del cliente o usuario. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos del cliente en requerimientos de ingeniería a un precio no elevado.

Para el desarrollo del presente proyecto, se usará la metodología QFD con los pasos y herramientas a seguir para conseguir calidad en el diseño y construcción de la máquina devanadora automática de conductores eléctricos para la Eeasa, que ayudarán a identificar las necesidades del cliente conocidas como la voz del usuario, para lograr el diseño de la máquina.

Ventajas del QFD:

- Define de forma muy consistente el producto
- Acorta los plazos de desarrollo
- Acumula conocimiento
- Requiere pocos cambios durante el desarrollo
- Mejora la relación entre departamentos de la empresa
- Elimina procesos que no añaden valor
- Identifica procesos que requieren mejoras

- Genera una documentación mucho más accesible
- Descubre nichos de mercado
- Facilita los cambios rápidos
- Aumenta la productividad
- Elimina reclamaciones de los usuarios

## **2.2 QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD) [13]**

El *quality function deployment* (QFD) o despliegue de la función de calidad “es un sistema que busca focalizar el diseño de los productos y servicios en dar respuesta a las necesidades de los clientes. Esto significa alinear lo que el cliente requiere con lo que la organización produce [14]”.

Esta herramienta permite entender las necesidades de los clientes y encuentra respuestas innovadoras a dichas necesidades, por medio de la mejora continua de productos y servicios, maximizando la oferta del valor. [14]

## **2.3 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD**

En el desarrollo del QFD se siguen distintos pasos, cada de uno de éstos cuenta con diferentes tipos de herramientas según sea el proceso a realizar, que a continuación se detallará cada paso a seguir.

### **2.3.1 SELECCIÓN DEL SERVICIO IMPORTANTE A MEJORAR**

Para una adecuada selección del proceso a mejorar, se usará la tabla 2.1. de segmentación (TSC) para obtener las necesidades del cliente. Es una herramienta que está orientada hacia el exterior de la empresa. Su finalidad es conocer al cliente, escucharle y recoger sus expectativas de un producto o servicio. El método que se usa es el 5W1H (preguntar quién, qué, cuándo, dónde, por qué y finalmente cómo). Cada una de estas preguntas significa:

- ¿Quién? → quién está involucrado en el problema/ ¿quién es el cliente?
- ¿Qué?→ de que se trata el problema (ser conciso)/ ¿Qué está haciendo el cliente cuando usa o podría estar usando el producto o servicio?
- ¿Cuándo? → en qué momento fue detectado el problema; la frecuencia del mismo/ ¿cuándo en el tiempo el cliente usa o podría usar el producto o servicio?
- ¿Dónde? → cuáles son los orígenes del problema / ¿dónde está o podría estar ubicado el cliente cuando usa el producto o servicio
- ¿Por qué? → Ésta pregunta que se debe hacer después de contestar las anteriores (confirma cualquier respuesta) / ¿por qué el cliente usa o podría querer usar el producto o servicio?
- ¿Cómo? → A raíz de que situación aparece el problema; cómo resolverlo y qué se propone / ¿Cómo es que el cliente está usando o podría estar usando nuestro producto o servicio?

Tabla 2.1. Tabla de Segmentación del Cliente (TSC)

¿Quién?	¿Qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Por qué?	¿Cómo?
Directivos Empresa Eléctrica Ambato (Eeasa)	Optimizando el uso de recursos de la empresa	Turnos diurnos y tardíos del año	Ciudad de Ambato- Centro	Control del conductor eléctrico	Mediante el proceso automático
Área de operaciones de la máquina devanadora	Trabajando de manera óptima y cómoda	Turnos diurnos y tardíos	Complejo Catligata bodega número cinco Ciudad Ambato	Facilidad y control de devanado	Mediante el proceso automático
Área financiera-administrativa	Reportando los procesos realizados a diario	Días/ períodos laborales	Ciudad de Ambato- Centro	Base de registros para reportes	Mediante datos obtenidos

Departament o de sistemas	Controlando el sistema de kardex	Días/ períodos laborales	Ciudad de Ambato- Centro	Registro y control de base de datos	Mediante inventarios en bodega
------------------------------	--	--------------------------------	-----------------------------	--	--------------------------------------

Fuente: qfdlat.com [15]

Los clientes potenciales, o mayores motivadores son los pertenecientes al área de operaciones, ya que es en ese lugar donde se encuentran anomalías referentes al uso y optimización de recursos en el proceso de devanado del conductor eléctrico. Por otra parte está el área financiera-administrativa que es la proveedora de los recursos para efectuar el diseño y construcción de la máquina devanadora.

### **2.3.2 OBTENCIÓN, ANÁLISIS, ORGANIZACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE LA VOZ DEL CLIENTE**

Para este paso a seguir se utiliza la metodología del Blitz-QFD ya que es una herramienta muy práctica que nos permite alinear nuestros recursos con las verdaderas necesidades del cliente.

#### **2.3.2.1 Obtener la voz del cliente**

Esto implica “ir a lugar de los hechos” o ir “a donde está la acción”, es decir, no se puede escuchar la voz del cliente a la distancia, por lo que se realizó una encuesta a las personas del área de operaciones, al área administrativa de la obra y al área financiera-administrativa de la Eeasa, como se indica los resultados en la tabla 2.2:

Tabla 2.2. Tabla Voz del Cliente

Área de operaciones	Área administrativa de la obra	Área financiera-administrativa
“Que el proceso de bobinado sea automático”	“Que el mantenimiento del equipo sea como mínimo cada año”	“Que sea seguro”
“Que sea rápido”	“Que la velocidad sea controlada”	“Que no exista riesgos”
“Que no sea difícil de usar”	“Que el control se lo realice por HMI-PC”	“Que se pueda controlar los registros por una base de datos”
“Que se pueda ver la velocidad del cable y los metros bobinados”	“Que se muestre la velocidad y devanado del conductor en el HMI”	“Que guarde los últimos registros de los trabajos en el computador”
“Que alce un carrete de máximo 1,5 toneladas”	“Que levante una tara vacía de 30kg y llena de hasta 1,5 ton máximo”	“Que sea a bajo costo”
“Que se pueda observar la cantidad de cable restante”	“Que posea un sistema de kardex para control del conducto eléctrico”	“Que los operarios no puedan ingresar a la base de datos principal”
“Que sea un diseño bonito y atrayente”	“Que el HMI sea de fácil uso para los operarios”	“Que los procesos no sean complejos”

### 2.3.2.2 Clasificación de las verbalizaciones

El objetivo de este paso es clasificar las verbalizaciones por temas afines, motivos por el cual hay “voces del cliente” similares, otras incluso son opuestas. Esta herramienta nos permite buscar patrones que ayudan a entender mejor las necesidades del cliente.

Algo muy importante es que no es un estudio cualitativo, si no cuantitativo. Es por ello que no interesa en esta etapa las estadísticas sobre "el número de verbalizaciones de

cada tipo", sino más bien clasificar las verbalizaciones para poder obtener de ellas las necesidades reales del cliente, como se indica en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Clasificación de Verbalizaciones

<b>Verbalizaciones</b>
"Que el proceso de devanado sea automático"
"Que sea rápido"
"Que la velocidad sea controlable"
"Que no sea difícil de usar"
"Que se muestre la velocidad y metros devanados del conductor en el HMI"
"Que levante una tara vacía de 30kg y llena de hasta 1,5 ton máximo"
" Que se pueda observar la cantidad de cable restante"
"Que posea un sistema de kardex para control del conducto eléctrico"
"Que el HMI sea de fácil uso para los operarios"
"Que sea seguro"
"Que no exista peligros ni riesgos"
"Que se pueda controlar los registros por una base de datos"
"Que guarde los últimos registros de los trabajos en el computador"
"Que los operarios no puedan ingresar a la base de datos principal"

### **2.3.2.3 Estructuración de las necesidades del cliente**

Una vez que clasificamos las verbalizaciones, se tiene que "extraer" de ellas las necesidades de los clientes. Ya que algunas son explícitas y muy claras; otras son implícitas y algunas hasta nos podrán parecer absurdas. Es un muy importante y necesario saber que están buscando las necesidades del cliente y no lo que muchas veces se conoce como las "versiones del cliente". En la tabla 2.4. se muestra las verbalizaciones que suelen usar los clientes, y las necesidades del cómo se lo va entregar.

Tabla 2.4. Estructuración Respecto a las Necesidades del Cliente

No.	Verbalizaciones	Necesidades
1	"Que el proceso de devanado sea automático"	Necesito que el proceso de devanado sea de manera automática
2	"Que sea rápido"	Necesito que la máquina posea un sistema de arranque rápido en los procesos
3	"Que la velocidad sea controlable"	Necesito poder controlar la velocidad de operación de la máquina de la manera sencilla
4	"Que no sea difícil de usar"	Necesito que los operarios de la bodega número 5 y cualquier persona pueda manejar la máquina
5	"Que se muestre la velocidad y metros devanados del conductor en el HMI"	Necesito que a través de un HMI se muestre por pantalla las variables velocidad y metros del conductor eléctrico
6	"Que levante una tara vacía de 30kg y llena de hasta 1,5 ton máximo"	Necesito que la máquina soporte el peso de un carrete lleno de hasta 1.5 toneladas como máximo.
7	"Que se pueda observar la cantidad de cable restante"	Necesito que por pantalla en la PC se pueda visualizar la cantidad de conductor eléctrico que se devana o enrolla en la máquina.
8	"Que posea un sistema de kardex para control del conducto eléctrico"	Necesito que a través de un sistema de kardex se pueda visualizar la cantidad de cable que existe en bodega
9	"Que el HMI sea de fácil uso para los operarios"	Necesito que el HMI sea entendible para el operario

10	“Que sea seguro”	Necesito que el sistema en sí posea medidas de seguridad para cualquier persona que opere la máquina
11	“Que no exista peligros ni riesgos”	Necesito que la persona que opere la máquina no corra ninguna clase de peligro
12	“Que se pueda controlar los registros por una base de datos”	Necesito que a través de una base de datos se pueda ingresar y controlar los registros de la máquina
13	“Que guarde los últimos registros de los trabajos en el computador”	Necesito que por seguridad la PC guarde los últimos registros de trabajo de la máquina
14	“Que los operarios no puedan ingresar a la base de datos principal”	Necesito que los operadores de la bodega no puedan ingresar a la base de datos principal

Fuente: qfdlat.com [15]

#### 2.3.2.4 Analizar la estructura de las necesidades del cliente

Hay necesidades que tienen relaciones de dependencia. Es por ello que se puede obtener más necesidades. En la tabla 2.5. se indica el análisis de manera clara y concisa, las necesidades del cliente.

Tabla 2.5. Estructuración de las Necesidades del Cliente

No.	Verbalizaciones	Necesidad
1	“Que el proceso de devanado sea automático”	Necesito que el proceso de devanado sea de manera automática
2	“Que posea un arranque rápido”	Necesito que la máquina posea un sistema de arranque rápido en los procesos



3	“Que la velocidad sea controlable”	Necesito que la velocidad máxima de la máquina sea controlable
4	“Que no sea difícil de usar”	Necesito que los operarios de la bodega número 5 y cualquier persona puedan manejar la máquina
5	“Que la empresa no requiera contratar más personas en la bodega número 5”	Necesito que el personal que tiene la empresa sea más que suficiente para poder operar la máquina
6	“Que posea un paro de emergencia”	Necesito que por seguridad, cuidado de la empresa y del personal posea la máquina un paro de emergencia
7	“Que se muestre la velocidad y metros devanados del conductor en el HMI”	Necesito que a través de un HMI se muestre por pantalla las variables velocidad y metros del conductor eléctrico
8	“Que levante una tara vacía de 30kg y llena de hasta 1,5 ton máximo”	Necesito que la máquina soporte el peso de un carrete lleno de hasta 1.5 toneladas como máximo.
9	“Que el HMI sea lo más detallado posible”	Necesito que el HMI sea lo mejor detallado para entendimiento de los operadores
10	“Que no llame la atención del operario”	Necesito el sistema sea discreto para que no llame la atención del operador
11	“Que se pueda observar la cantidad de cable restante”	Necesito que por pantalla en la PC se pueda visualizar la cantidad de conductor eléctrico que se devana o enrolla en la máquina.
12	“Que posea un sistema de kardex para control del conducto eléctrico”	Necesito que a través de un sistema de kardex se pueda visualizar la cantidad de cable que existe en bodega
13	“Que el HMI sea de fácil uso para los operarios”	Necesito que el HMI sea entendible para el operario

14	“Que sea seguro”	Necesito que el sistema en sí posea medidas de seguridad para cualquier persona que opere la máquina
15	“Que no exista peligros ni riesgos”	Necesito que la personal que opere la máquina no corra ninguna clase de peligro
16	“Que se pueda controlar los registros por una base de datos”	Necesito que a través de una base de datos se pueda ingresar y controlar los registros de la máquina
17	“Que guarde los últimos registros de los trabajos en el computador”	Necesito que por seguridad la PC guarde los últimos registros de trabajo de la máquina
18	“Que sea confidencial el ingreso a la BD”	Necesito que para ingresar material o borrar pueda ingresar a la base de datos con un usuario y clave.
19	“Que los operarios no puedan ingresar a la base de datos principal”	Necesito que los operadores de la bodega no puedan ingresar a la base de datos principal
20	“Que trabaje a 220[V]”	Necesito que la máquina medidora trabaje con un voltaje de operación a 220 voltios, con una conexión puesta a tierra
21	“Que mida bien el devanado y en tiempo real”	Necesito que la máquina posea un error de medición no mayor a $\pm 0,3\%$ de acuerdo a la norma INEN.
22	“Que el corte del cable sea por computador”	Necesito que la máquina corte el conductor eléctrico con un control automatizado a través de un enlace por computador”

Fuente: qfdlat.com [15]

### 2.3.2.5 Priorizar las necesidades del cliente

Quiere decir que se tiene que establecer cuáles necesidades son más importantes para el cliente. La mejor manera de hacer esto, es una vez que tenemos identificadas y estratificadas las necesidades, hay que preguntar directamente a los clientes.

Tabla 2.6. Priorización de las Necesidades del Cliente

Prioridad	Verbalización	Necesidad
1	“Que el proceso de devanado sea automático”	Necesito que el proceso de devanado sea de manera automática
2	“Que trabaje a 220[V]”	Necesito que la máquina medidora trabaje con un voltaje de operación a 220 voltios, con una conexión puesta a tierra
3	“Que mida bien el devanado y en tiempo real”	Necesito que la máquina posea un error de medición no mayor a $\pm 0,3\%$ de acuerdo a la norma INEN.
4	“Que la velocidad sea controlable”	Necesito que la velocidad máxima de la máquina sea controlable
5	“Que posea un arranque rápido”	Necesito que la máquina posea un sistema de arranque rápido en los procesos
6	“Que sea seguro”	Necesito que el sistema en sí posea medidas de seguridad para cualquier persona que opere la máquina
7	“Que no exista peligros ni riesgos”	Necesito que la persona que opere la máquina no corra ninguna clase de peligro
8	“Que levante una tara vacía de 30kg y llena de hasta 1,5 ton máximo”	Necesito que la máquina soporte el peso de un carrete lleno de hasta 1.5 toneladas como máximo.

9	“Que el HMI sea lo más detallado posible”	Necesito que el HMI sea lo mejor detallado para entendimiento de los operadores
10	“Que se muestre la velocidad y metros devanados del conductor en el HMI”	Necesito que a través de un HMI se muestre por pantalla las variables velocidad y metros del conductor eléctrico
11	“Que el corte del cable sea por computador”	Necesito que la máquina corte el conductor eléctrico con un control automatizado a través de un enlace por computador (HMI)”
12	“Que no sea difícil de usar”	Necesito que los operarios de la bodega número 5 y cualquier persona puedan manejar la máquina
13	“Que el HMI sea de fácil uso para los operarios”	Necesito que el HMI sea entendible para el operario
14	“Que la empresa no requiera contratar más personas en la bodega número 5”	Necesito que el personal que tiene la empresa sea más que suficiente para poder operar la máquina
15	“Que se pueda observar la cantidad de cable restante”	Necesito que por pantalla en la PC se pueda visualizar la cantidad de conductor eléctrico que se devana o enrolla en la máquina.
16	“Que posea un sistema de kardex para control del conductor eléctrico”	Necesito que a través de un sistema de kardex se pueda visualizar la cantidad de cable existente en bodega
17	“Que no llame la atención del operario”	Necesito el sistema sea discreto para que no llame la atención del operador
18	“Que se pueda controlar los registros por una base de datos”	Necesito que a través de una base de datos se pueda ingresar y controlar los registros de la máquina
19	“Que sea confidencial el ingreso a la BD”	Necesito que para ingresar material o borrar pueda ingresar a la base de datos con un usuario y clave.

20	“Que guarde los últimos registros de los trabajos en el computador”	Necesito que por seguridad la PC guarde los últimos registros de trabajo de la máquina
21	“Que los operarios no puedan ingresar a la base de datos principal”	Necesito que los operadores de la bodega no puedan ingresar a la base de datos principal
22	“Que posea un paro de emergencia”	Necesito que por seguridad, cuidado de la empresa y del personal posea la máquina un paro de emergencia

Fuente: qfdlat.com [15]

### 2.3.2.6 Desplegar las necesidades priorizadas

Una vez que se tiene identificadas las necesidades de preferencia del cliente, entonces se procede a identificar qué parámetros, procesos o elementos de nuestro sistema contribuyen más a cumplir (o a no cumplir) estas necesidades. Es por eso que para mejorar, se tiene que enfocar en todo aquello que afecte más a las necesidades prioritarias, como se muestra en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Despliegue de Necesidades Priorizadas del Cliente

No.	Necesidad	Parámetros
1	Necesito que el proceso de devanado sea de manera automática	Diseño del sistema automático
2	Necesito que la máquina medidora trabaje con un voltaje de operación a 220 voltios, con una conexión puesta a tierra	Elementos y equipos compatibles con voltajes trifásicos
3	Necesito que la máquina posea un error de medición no mayor a $\pm 0,3\%$ de acuerdo a la norma INEN.	Equipos con alta fidelidad y precisión

4	Necesito que la velocidad de la máquina sea controlable	Elemento de control de velocidad en el sistema desde un máximo a un mínimo (Rpm)
5	Necesito que la máquina posea un sistema de arranque rápido en los procesos	Equipos confiables de arranque y rápidos en el sistema
6	Necesito que el sistema en sí posea medidas de seguridad	Elementos confiables en el sistema
7	Necesito que la persona que opere la máquina no corra ninguna clase de peligro	Medidas de seguridad en el sistema de operación
8	Necesito que la máquina soporte el peso de un carrete lleno de hasta 1.5 toneladas como máximo.	Equipos resistentes con alta inercia de giro
9	Necesito que el HMI sea lo más detallado para entendimiento de los operadores	Diseño del HMI para facilidades de uso
10	Necesito que a través de un sistema de kardex se pueda visualizar la cantidad de cable existente en bodega	Sistema de kardex incluido en el HMI
11	Necesito que a través de un HMI se muestre por pantalla las variables velocidad y metros del conductor eléctrico	
12	Necesito que la máquina corte el conductor eléctrico con un control automatizado a través de un enlace por computador (HMI)”	
13	Necesito que los operarios de la bodega número 5 y cualquier persona puedan manejar la máquina	

14	Necesito que el HMI sea entendible para el operario	
15	Necesito que el personal que posee la empresa sea más que suficiente para poder operar la máquina	
16	Necesito que por pantalla en la PC se pueda visualizar la cantidad de conductor eléctrico que se devana o enrolla en la máquina.	
17	Necesito el sistema sea discreto para que no llame la atención del operador	
18	Necesito que a través de una base de datos se pueda ingresar y controlar los registros de la máquina	
19	Necesito que para ingresar material o borrar pueda ingresar a la base de datos con un usuario y clave.	
20	Necesito que por seguridad la PC guarde los últimos registros de trabajo de la máquina	
21	Necesito que los operadores de la bodega no puedan ingresar a la base de datos principal	
22	Necesito que por seguridad, cuidado de la empresa y del personal posea la máquina un paro de emergencia	

Fuente: qfdlat.com [15]

### **2.3.2.7 Analizar sólo las relaciones prioritarias a detalle**

Al evaluar el sistema en sí, los puntos más importantes son aquellos que impactan a las necesidades prioritarias o preferencia. Si se va a pedir al cliente que evalúe, hay que enfocarse en aquellos elementos que impactan a las necesidades prioritarias.

A continuación se describen algunos puntos en los cuales se deberá enfocar los recursos ya que el nivel de calidad del servicio estará determinado por la medida en que logremos alinear el valor de los recursos con la prioridad de las necesidades del cliente.

- Diseño del sistema automático
- Elementos y equipos compatibles con voltajes trifásicos
- Equipos con alta fidelidad y precisión
- Elemento de control de velocidad en el sistema desde un máximo a un mínimo (Rpm)
- Equipos confiables de arranque y rápidos en el sistema
- Elementos confiables en el sistema
- Medidas de seguridad en el sistema de operación
- Equipos resistentes con alta inercia de giro
- Diseño del HMI para facilidades de uso
- Sistema de kardex incluido en el HMI

### **2.3.3 ESTABLECIMIENTO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO MEDIANTE LA MATRIZ DE RELACIONES**

La Matriz de Relaciones sirve para analizar la relación que existe entre las necesidades de cliente y los parámetros de diseño. Se debe trabajar renglón por renglón, ya que el énfasis está en satisfacer las necesidades del cliente. En la tabla 2.8. se muestra los parámetros de diseño y las necesidades del cliente, es decir, el qué desea el cliente y el cómo se lo va entregar.

Se crea una relación entre los ¿Qué? y los ¿Cómo? (si existe asociación o relación entre cada “qué” y cada “cómo” desde un análisis cualitativo o mediante una revisión de las



evidencias disponibles). Se utilizan una serie de valores o iconos que indican las mayor o menor relación:

- **0** No existe relación o existe duda
- **1** Existe una relación débil
- Existe una relación media
- **9** Existe una relación fuerte

Para elaborar la matriz de relaciones se toman en cuenta las necesidades del cliente y los parámetros (tabla con despliegue de las necesidades del cliente), según sea su referencia numérica mostrada en la tabla 2.7.

Tabla 2.8. Matriz de Relaciones (Necesidades del Cliente y Parámetros de Diseño)

Necesidades del Cliente	PARÁMETROS DE DISEÑO									
	21	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	9	9	9	3	1	9	1	0	9	3
<b>2</b>	9	9	3	3	0	9	9	1	0	0
<b>3</b>	9	1	9	9	3	9	9	1	9	3
<b>4</b>	3	1	9	9	1	3	0	0	0	0
<b>5</b>	1	1	0	3	9	9	0	0	3	0
<b>6</b>	3	9	1	0	3	9	9	0	0	0
<b>7</b>	0	1	9	0	3	9	9	3	0	0
<b>8</b>	0	0	9	0	3	3	3	9	3	0
<b>9</b>	9	0	0	9	3	1	0	0	9	9
<b>10</b>	3	0	0	3	3	3	0	1	9	9

### 2.3.3.1 Casa de la calidad [17]

Para una mayor organización y priorizar las necesidades de los clientes se componen dichas demandas mediante la casa de la calidad.

Es una herramienta utilizada en la ingeniería concurrente, que se asemeja a una casa, traduce las demandas de los clientes en características técnicas del producto. Se utiliza para definir la relación entre los deseos de los clientes y las capacidades y los deseos de las empresas.

Se trata de realizar una matriz de planificación para relacionar lo que el cliente quiere contra cómo una empresa (que produce los productos) va a cumplir esas necesidades.

Se asemeja a una casa con una matriz de correlación. En el techo se ubica los deseos de los clientes frente a las características del producto como una parte principal, así obtener los detalles de ingeniería con la fabricación.

De esta manera se obtendrán los requerimientos técnicos más importantes desarrollados en el subcapítulo 2.3.2.

Como se puede observar, los resultados de la casa de la calidad (anexo C), explica cuáles son las prioridades para el diseño y construcción de la máquina devanadora como se muestra en la figura 2.1.

La prioridad más importante como muestra la figura es primeramente adquirir equipos y elementos confiables para voltajes trifásicos, lo cual hace sentido, ya que el cliente lo primero que pide es que sea compatible con voltajes trifásicos. Seguido por elementos confiables en el sistema de operación. Los demás aspectos a ser realizados, se irán ejecutando conforme a la necesidad del cliente.

Tabla 2.10. Resultados y Prioridades de la Casa de la Calidad

Meta o valor límite	Diseño del sistema automático	Elementos y equipos compatibles con voltajes trifásicos	Equipos con alta fidelidad y precisión	control de velocidad en el sistema desde un máximo a un mínimo (Rpm)	Equipos confiables de arranque y rápidos en el sistema	Elementos confiables en el sistema	Medidas de seguridad en el sistema de operación	Equipos resistentes con alta inercia de giro	Diseño del HMI para facilidades de uso	Sistema de kardex incluido en el HMI
Dificultad (0=Fácil de lograr, 10=Extremadamente difícil)	9	9	5	9	5	5	8	5	8	7
Máximo valor de la relación en la columna	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Peso / Importancia	187,0	373,9	339,1	256,5	278,3	343,5	169,6	169,6	260,9	343,5
Peso relativo	6,9	13,7	12,5	9,4	10,2	12,6	6,2	6,2	9,6	12,6

## 2.4 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DEVANADO AUTOMÁTICO

Tabla 2.11. Especificaciones Técnicas para el Diseño del Sistema de Devanado

<b>Empresa Cliente:</b> Empresa Eléctrica Ambato S.A. (Easa)		Fecha inicial: Última revisión:	
<b>Empresa de Ingeniería:</b> Protecnycm S.A		<b>Producto:</b> Diseño y construcción de una máquina devanadora automática para la medición de conductores eléctricos	
<b>Especificaciones</b>			
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	C+I	R	Medir el conductor eléctrico
	C+I	R	Escoger y realizar el proceso (devanado o enrollado)
	C+I	R	Cortar el conductor eléctrico
	C+F	R	Suministrar los datos de la realización del proceso para el etiquetado
	C+F+I	D	

			Abastecer los datos cuantitativos y cualitativos de la existencia de conductores eléctricos en bodega
Energía	C	D	Eléctrica
Voltaje de operación	I	R	Trifásico
Control de máquina y elementos	C+I	R	Control de los elementos de la máquina a través de un controlador lógico programable
	C+I	R	Monitoreo de la máquina y distintos procesos mediante un HMI
	I	D	Ingreso de datos a través de un computador
	C+I	NR	Control de cables por un sistema de kardex incorporado al HMI
Mantenimiento	C+I	R	En operación: 15 años; Fiabilidad: 99 %
	C+F	D	Elementos del sistema reemplazables fácilmente
	C	R	Mantenimiento de la máquina: mínimo una vez al año
	C+F	D	Sistema modular desmontable con facilidad
Movimiento	C+I	ND	Sistema de devanado de manera horizontal
	C+I	ND	Levantamiento del carrete forma vertical
Fuerzas	C	R	Levantamiento máximo de un carrete lleno 13344.66 Newton
Dimensiones	C	R	Dimensiones espacio disponible: 10mtrs de ancho por 70mtrs de largo.
	C	R	Dimensiones máximas de un carrete: d=1800 mm x 950 mm x 3" diámetro interno (norma estándar).

Fuente: Estructuración del Diseño de Carles Riba [16]

**Propone:** C = Cliente; I = Ingeniería

**R/D:** R = Requerimiento; NR = Nuevo requerimiento; D = Deseo; ND = Nuevo deseo

**Información:** Propia

## 2.5 ANÁLISIS FUNCIONAL

### 2.5.1 DEFINICIÓN DE ANÁLISIS FUNCIONAL [16]

El método análisis funcional es una técnica propuesta por Laurence Miles con el fin de reducir costes, es decir el análisis funcional logra obtener mejores productos a un menor costo.

El análisis funcional es hoy en día una técnica bastante desarrollada. Es difícil pensar que un ingeniero pueda desarrollar rápida y económicamente un producto de calidad sin recurrir a dicha técnica.

Simbología utilizada:

- Función: Rectángulo de línea continua
- Flujo de material y dirección: Flecha de doble línea continua
- Flujo de energía y dirección: Flecha de línea continua
- Flujo de señal y dirección: Flecha de línea discontinua
- Sistema, subsistema, módulo: Polígono de línea de punto y raya

### 2.5.2 ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES

En el caso éste sistema, se desarrolló el diagrama funcional desde el nivel 0 hasta el nivel 1, para obtener un mayor desempeño y explicación del funcionamiento del equipo como se muestra a continuación.

El nivel 0, representa de forma general el proceso de devanado del conductor eléctrico, para que se cumpla esta función son necesarios materiales, energía y señales de control generadas por los operarios.

El nivel 1 está dividido en dos módulos, los cuales representan el desarrollo y los pasos para obtener el conductor eléctrico devanado o enrollado.

El módulo 1, indica desde el proceso de descarga hasta la ubicación del paso que se desea, para que como resultado final se obtenga el conductor eléctrico. El módulo 2, representa la intervención del HMI para que de manera digital se escoja el proceso deseado a seguir (devanado o enrollado) y el monitoreo del proceso.

Nivel 0: Es el resultado final y requerido para alcanzar el objetivo que es la máquina devanadora y así obtener el material (conductor eléctrico)

Entra el material (conductor eléctrico), pasa por una señal (eléctrica) => cable devanado o enrollado.

### **Explicación nivel 1:**

Módulo 1: Está dividido en tres subfunciones detalladas para obtener el resultado final (conductor eléctrico devanado o enrollado):

- Área de descarga: Ubicación carrete + ingreso material1 (conductor eléctrico) + energía manual => conductor ubicado (material 1)
- Unidad de procesamiento: Material 1 (conductor eléctrico) + energía eléctrica + señal => material 1 (conductor eléctrico a pasar al devanado o enrollado)
  - o Escoger devanado o enrollado= Material 1 (conductor ubicado al proceso deseado) + energía eléctrica + señal eléctrica =>conductor devanado o enrollado

Módulo 2: En este subsistema se explica e control a través del HMI de la máquina

- Control de la máquina= energía eléctrica +envío señal =>señal (receptada)
- Finalmente se obtiene conductor deseado, ya sea devanado o enrollado => retirar el conductor eléctrico

### 2.5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS FUNCIONALES

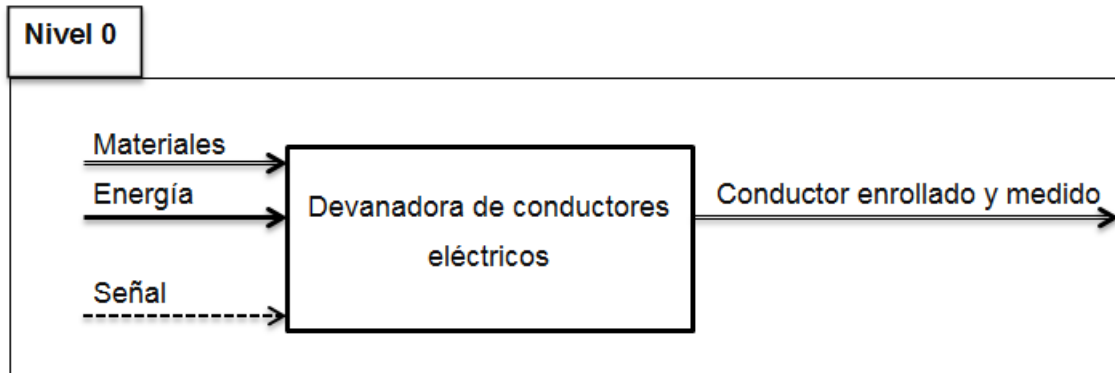


Figura 2.1. Diagrama Funcional Nivel Cero

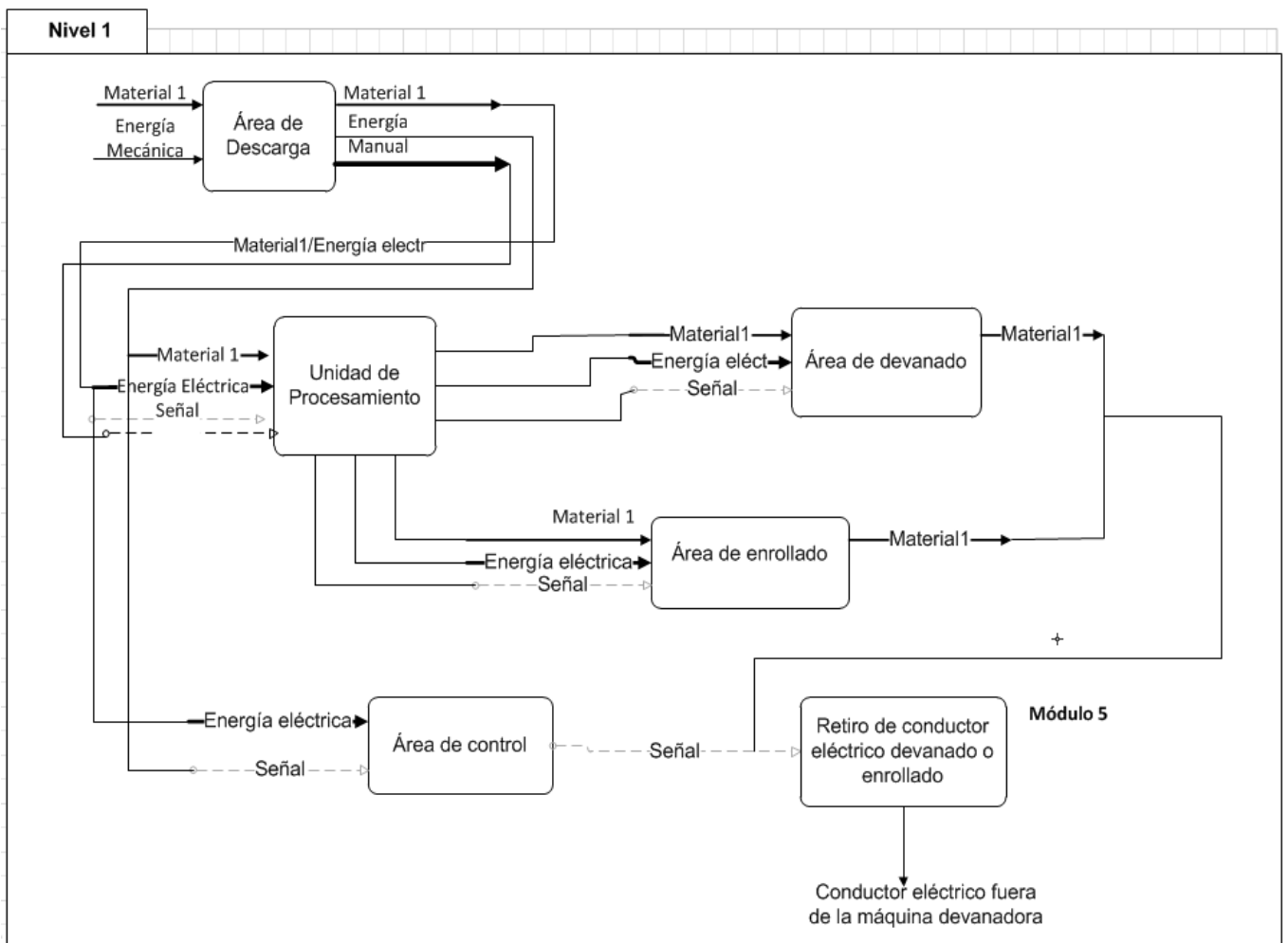


Figura 2.2. Diagrama Funcional Nivel Uno

#### **2.5.4 ESTRUCTURA MODULAR**

Cuando se tiene elaborado el diagrama funcional con sus módulos y subfunciones, se aplica la división modular que es el despliegue de diferentes funciones como las especificaciones originadas por los requerimientos técnicos (Anexo D).

En el sistema planteado, se identifica las funciones de cada módulo tanto la parte mecánica como la parte de interfaz hombre-máquina. De esta manera la estructura modular nos ayudará analizar las funciones de cada módulo con sus conexiones y si es o no necesario reemplazar alguna acción si modificar la función de los otros módulos.

A continuación se describe el desarrollo de los módulos para cada función:

- Módulo 1: Dancer o bailarín (descargas)
- Módulo 2: Unidad hidráulica
- Módulo 3: Ubicaciones
- Módulo 4: Control
- Módulo 5: HMI (interfaz de control)



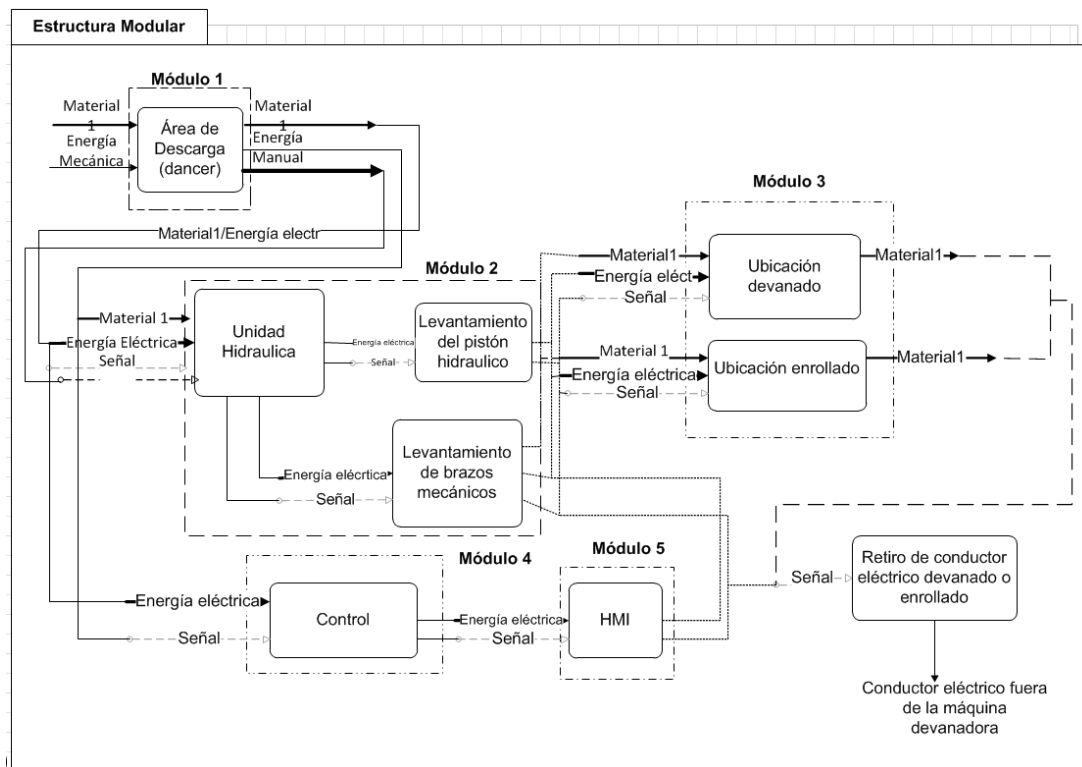


Figura 2.3. Estructura Modular (Anexo D)

El diagrama de la estructura modular se encuentra resumido en la figura 2.3.

## 2.6 ALTERNATIVAS Y SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO

Para el análisis de alternativas, se procede a evaluar cada módulo y así obtener la solución más factible en cada uno de ellos.

### 2.6.1 MÓDULO 1

Tomando en cuenta que la devanadora de conductores eléctricos no levanta peso, al contrario se carga a través de un carrete ya lleno. Pero para trasladar el carrete lleno el operador tiene que muchas veces empujar o alargar el cable debido a su peso.

Es por eso que es importante colocar a pocos metros de distancia de la máquina un desmontador de carretes, “bailarín” o dancer que se lo puede encontrar en la figura 2.5.



Figura 2.4. Descarga Carretes (Dancer)

Fuente: partek.com [17]

### 2.6.2 MÓDULO 2

Una de las opciones para cumplir los requerimientos de la empresa sin modificar el costo establecido en el acuerdo, es contar con un equipo que pueda levantar un carrete vacío de hasta 30kg y soportar un peso de 1.5 toneladas como máximo.

Es por eso que como una solución factible que cumpla con el objetivo es implementar una unidad hidráulica con un pistón que soporte el peso del carrete mencionado, como se muestra en la figura 2.5.



Figura 2.5. Unidad Hidráulica

Fuente: partek.com [17]

Adicionalmente se realiza el cálculo respectivo para obtener el motor adecuado que soporte el peso mencionado, conjuntamente con la carrera del pistón hidráulico que levantará la tara vacía y soportará el peso del carrete lleno.



Figura 2.6. Pistón Hidráulico

Fuente: Directindustry.es [18]

### 2.6.3. MÓDULO 3

Para la ubicación del conductor eléctrico en la unidad de devanado se necesita que la tara vacía sea enganchada por los brazos mecánicos, sabiendo las dimensiones del carrete normalizadas:

Diámetro máximo de un carrete de Eeasa:  $\varnothing$  1.6 metros

### 2.6.3 MÓDULO 4

El módulo 4 abarca diferentes funciones como son:

- Controlador de la máquina
- Protecciones voltaje y corriente
- Transformaciones de voltaje y corriente

#### 2.6.3.1 Controlador de la máquina

Debido a que los elementos electrónicos funcionan con voltajes bajos, el control general de la máquina se lo hará con un PLC, ya que su funcionamiento es con voltajes 110[V] y sus entradas a 24 voltios [V], como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.7. PLC s7-1200

Fuente: siemens.ec [19]

#### 2.6.3.2 Protecciones voltaje y corriente

Es importante realizar protecciones a los elementos electrónicos y eléctricos que funcionan en la máquina para evitar daños de sobrevoltaje y sobrecorriente. Para cada elemento del sistema se utilizará protecciones como fusibles de protección para control y relés de corriente o guardamotores.

### **2.6.3.3 Transformaciones de voltaje y corriente**

En el sistema intervienen dispositivos electrónicos y muchos de ellos trabajan con voltajes 110[V], es necesario utilizar un transformador que convierta la señal trifásica a monofásica y una fuente para controlar las señales digitales, ya que la mayoría trabaja con voltajes de 24[V].

### **2.6.4 MÓDULO 3**

Para mayor comodidad y cumplimiento con la empresa, el controlar la máquina a través de un HMI se diseñará primero una conexión entre el PLC, las variables del sistema y la PC, para luego diseñar la interfaz hombre-máquina (HMI) lo más detallada posible y el operario pueda controlar y monitorear el funcionamiento total del equipo.

## **2.7 ALTERNATIVAS DE FUNCIONAMIENTO Y CONTROL DE LA MÁQUINA**

### Área 1

Encendido de la máquina

- Pulsador
- Switch

Levantamiento del carrete

- Pistones neumáticos
- Unidad hidráulica

### Área 2

Control de velocidad de enrollado y devanado del conductor eléctrico

- Potenciómetro
- Motor reductor

Control de metros devanados y enrollados

- Encoder

### Área 3

Control del sistema de operación de la máquina

- PC-HMI
- Pantalla LCD
- Pantalla propia del PLC

### Área 4

Corte del cable

- Cuchilla de acero hidráulica
- Laser
- Presión de agua y aire

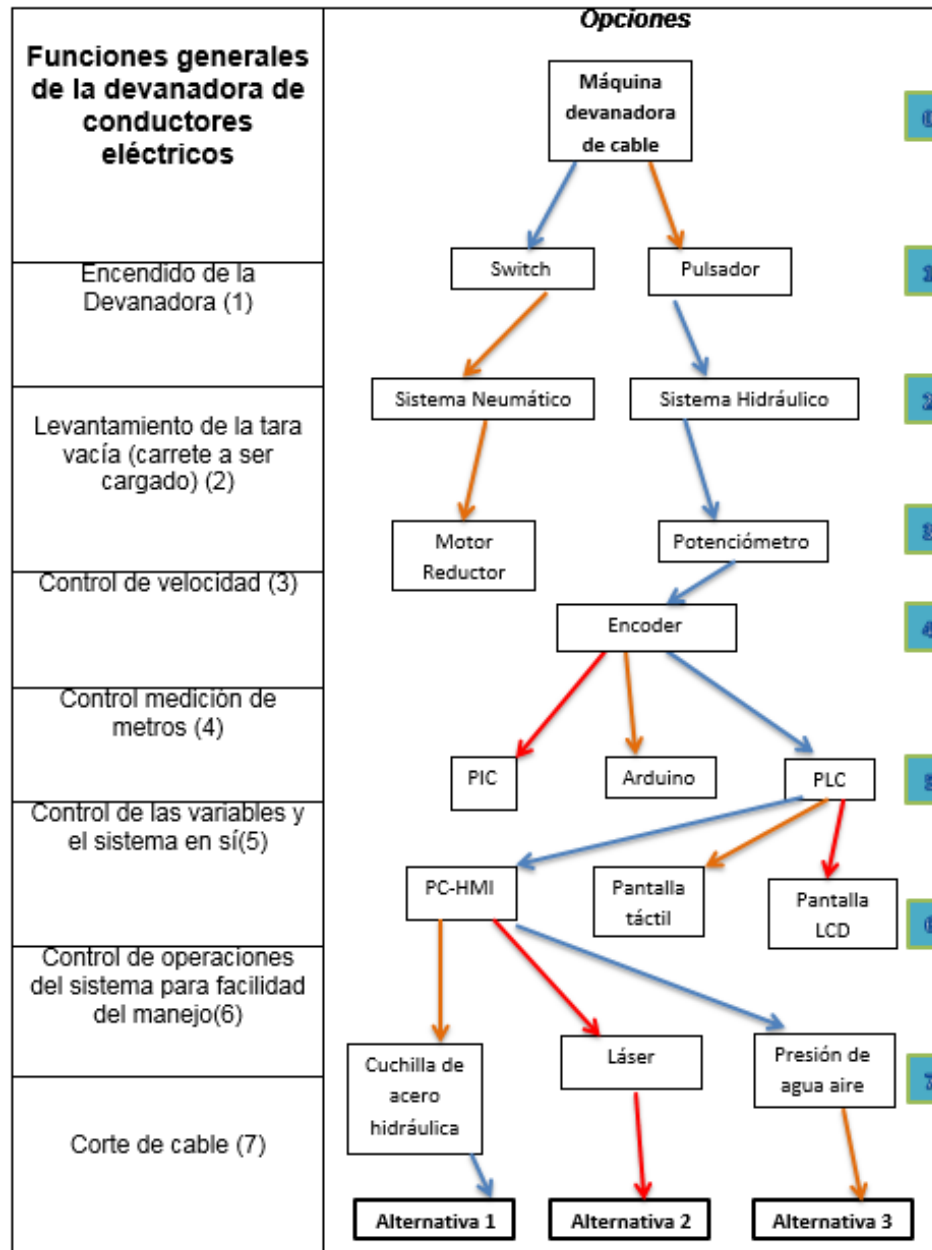
Tabla 2.12. Especificaciones Generales del Sistema

<b>Componente</b>	<b>Especificación</b>	<b>Material</b>	<b>Tamaño</b>
Módulo descarga carrete	sistema de apoyo descarga carrete lleno	Madera	Mediano
Unidad de control	PLC s7-1200 siemens	Plástico	Pequeño
Unidad de procesamiento	Cable ubicado	Aluminio, cobre	Diámetro máximo 50 mm

## 2.8 ANÁLISIS FUNCIONAL

Para hallar la mejor alternativa de diseño se deben combinar las diferentes soluciones propuestas en los módulos anteriores, de esta manera se obtendrá la solución óptima para el sistema. A continuación se muestran las opciones y solución de cada módulo indicados en la tabla 2.13.

Tabla 2.13. Análisis Funcional de Módulos



A continuación se describen las alternativas de solución mostradas en la tabla 2.13. para el diseño del sistema.

Alternativa 1: Encendido de la máquina por pulsador, levantamiento de la tara vacía por sistema hidráulico, control de velocidad manual a través de un potenciómetro, el control de medición de metros por un encoder (medidor de pulsos), control de las variables y el

sistema por PLC, control del sistema para facilidad de los operarios por HMI y el corte del conductor eléctrico a través de una cuchilla de acero con funcionamiento hidráulico

Alternativa 2: Encendido de la máquina por switch, levantamiento de la tara vacía por neumática, control de velocidad a través de potenciómetro, control de medición de metros por encoder, control de las variables y el sistema por arduino, control del sistema para facilidad de los operarios por pantalla táctil, corte del conductor eléctrico por láser.

Alternativa 3: Encendido de la máquina por pulsador, levantamiento de la tara vacía por sistema hidráulico, control de velocidad a través de potenciómetro, control de medición de metros por encoder, control de las variables y el sistema por pic o micro controlador, control del sistema para facilidad de los operarios por pantalla LCD, corte del conductor eléctrico por presión de agua y aire.

## **2.9 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE MÓDULOS**

Una de las mejores alternativas para evaluar la selección de módulos, es por medio del método original corregido de criterios ponderados. El cual consiste en determinar los criterios más importantes para el diseño de la máquina, entre los más importantes tenemos:

- Confiabilidad: Garantiza que la máquina posea un buen funcionamiento
- Fuerza y velocidad: Debe indicar que cumple con los objetivos de la empresa
- Facilidad de manipulación: Debe ser amigable con la persona que opere la máquina.
- Facilidad de mantenimiento: La máquina debe ser desmontable y sus elementos fáciles de reemplazar.
- Costo: No debe superar el valor acordado con la empresa



Tabla 2.14. Comparación de Criterios

Confiabilidad> Manipulación> Mantenimiento> Costo = Fuerza y velocidad							
Criterio	Confiabilidad	Manipulación	Mantenimiento	Costo	Fuerza y velocidad	$\sum +1$	Ponderación
Confiabilidad		1	1	0,5	1	4,5	0,321
Manipulación	0		0,5	0	1	2,5	0,179
Mantenimiento	0	0,5		0,5	0,5	2,5	0,179
Costo	0,5	0	0		0,5	1,5	0,107
Fuerza y velocidad	0	0,5	0,5	0		3	0,214
<b>Suma</b>						14	1,000

Tabla 2.15. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Confiabilidad

solución 1>solución 3=solución 2					
Confiabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,500
Solución 2	0,5		0	1,5	0,250
Solución 3	0,5	0		1,5	0,250
<b>Suma</b>				6	1,000

Tabla 2.16. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Manipulación

Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,500
Solución 2	0		0,5	1,5	0,250
Solución 3	0	0,5		1,5	0,250
<b>Suma</b>				6	1,000

Tabla 2.17. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Mantenimiento

solución 1>solución 3=solución 2					
Mantenimiento	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,333
Solución 2	1		1	3	0,400
Solución 3	1	0		2	0,267
<b>Suma</b>				7,5	1,000

Tabla 2.18. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Costo

solución 1=solución 3>solución 2					
Costo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,500
Solución 2	0		0,5	1,5	0,250
Solución 3	0	0,5		1,5	0,250
<b>Suma</b>				6	1,000

Tabla 2.19. Evaluación del Peso Específico para Criterio de Fuerza y Velocidad

solución 1>solución 3=solución 2					
Fuerza y velocidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\sum +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,375
Solución 2	0,5		1	2,5	0,313
Solución 3	1	0,5		2,5	0,313
<b>Suma</b>				8	1,000

Tabla 2.20. Conclusiones

Conclusiones	Confiability	Manipulación	Mantenimiento	Costo	Fuerza y velocidad	$\sum$	Prioridad
Solución 1	0,161	0,045	0,060	0,054	0,080	0,399	1
Solución 2	0,080	0,089	0,071	0,027	0,067	0,335	2
Solución 3	0,080	0,045	0,048	0,027	0,067	0,266	3

Como se puede observar en la tabla de conclusiones 2.20., la opción más factible para el diseño es la alternativa 1, ya que cumple con los parámetros más importantes y las necesidades del cliente.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO MECATRÓNICO**

En este capítulo se realiza el diseño mecánico y cálculos respectivos de los sistemas de devanado, enrollado, medidor, brazos mecánicos, el movimiento total de la máquina y el análisis para el diseño mecánico y eléctrico de la máquina devanadora de conductores eléctricos. Estos datos obtenidos son tomados del programa para cálculos estructurales SAP 200 y aseguran al diseñador el óptimo funcionamiento para cada uno de los sistemas como se muestra a continuación.

Para el diseño de la máquina devanadora de conductores eléctricos se desarrolla bajo el criterio de tolerancias y ajustes, ya que teniendo un rango de tolerancias en cada pieza se optimiza el diseño, su fabricación, repuestos y fácil mantenimiento.

La máquina devanadora de conductores eléctricos, utiliza tres bocines en bronce fosfórico, ya que el bronce fosfórico ayuda a evitar el desgaste y trabajar con altas velocidades, además es auto lubricante y evita la corrosión. Factores que brindan larga vida y cortos mantenimientos a la máquina devanadora.

El factor principal a tomar en cuenta de la máquina devanadora de conductores eléctricos es el cálculo mecánico hidráulico, que dentro de la parte mecánica esta es cálculo estructural, ya que teniendo una estructura robusta la máquina logra soportar el peso de un carrete de hasta máximo 1,3 toneladas y los componentes que conforman los demás sistemas. El cálculo hidráulico determina la presión y fuerza que necesita la unidad hidráulica y los sistemas que lo conforman para levantar un carrete de hasta 1.3 toneladas.

La máquina devanadora posee una alimentación trifásica (220 V), lo que quiere decir que para cada uno de los sistemas antes mencionados se realiza el cálculo de las potencias

de entrada de los motores con cajas reductoras, esto es para mantener el torque del motor a bajas velocidades.

### **3.1 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA MECÁNICA**

La estructura consta de un pórtico en plancha metálica el mismo que se interconecta mediante un eje y un marco rectangular a los brazos elevadores de los carretes. Para las uniones entre el eje y las placas de los brazos se usó un constraint que una fuerza aplicada de tipo local.

El análisis estructural consiste en la verificación de los perfiles, ya que estos en su conjunto deben soportar cargas según normativas.

#### **3.1.1 MATERIAL DE LA ESTRUCTURA**

La estructura metálica consta de pórticos conformados por una plancha metálica de 10mm de espesor, los marcos son de acero negro con dimensiones 160x50x6mm y 76x76x3mm y el eje que soporta el peso de los brazos mecánicos posee un diámetro de  $\varnothing 68$ mm. Fabricados en acero ASTM A-36 con un  $F_y=2500$  Kg/cm<sup>2</sup> (límite de fluencia)<sup>2</sup>.

#### **3.1.2 NORMA DE DISEÑO**

El diseño de la estructura está basado en la norma “AISC LRFD99” (norma de diseño de cargas y resistencia de los materiales).

#### **3.1.3 CARGAS DE DISEÑO**

Tenemos dos tipos de cargas para el análisis de la estructura:

- Carga muerta (D): Se considera al peso de todos los elementos que componen la estructura (software de análisis).
- Carga viva (L): Carga puntual ubicada en los extremos de cada brazo con un valor de 650 kgf (kilogramos fuerza), sumados ambos brazos nos da un valor 1300 kgf que es el peso máximo del carrete.

---

<sup>2</sup> Límite de fluencia: Conocido como resistencia de un material o la tensión existente en la sección de una probeta normalizada de dicho material, sometida a un ensayo de tracción o a un ensayo de compresión, en el instante en que se inicia la fluencia o deformación plástica del mismo.

### 3.1.4 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

El análisis estructural se lo realizará de dos maneras, tanto manual (ecuación de la elástica para un volado), y de manera simulada utilizando las facilidades computacionales para resolver mediante el método de elementos finitos, conocido como el modelo matemático representativo de la estructura real, para lo cual se utiliza el programa SAP 200 y luego se comparará los resultados obtenidos.

El modelo estructural es tridimensional y considera la ubicación en el espacio de todos y cada una de los elementos que lo componen, por lo que, se toman en cuenta en estos, todas las acciones de un elemento espacial, como son: los momentos flectores<sup>3</sup> en los dos ejes principales de la sección transversal, su fuerza axial<sup>4</sup>, las fuerzas de corte en dirección de los dos ejes principales, y el momento torsor<sup>5</sup>.

Dichas estas consideraciones se calcula en base a los materiales mencionados, sabiendo las características de los perfiles (Anexo I) y finalmente se diseña la estructura.

### 3.1.5 CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

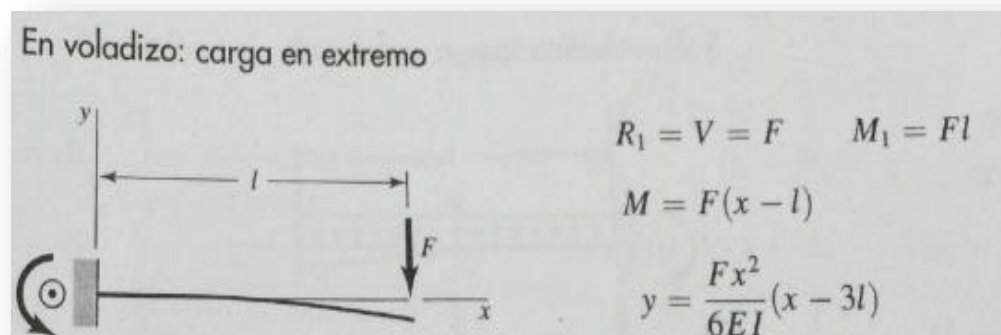


Figura 3.1. Análisis de la Deformación de un Cuerpo con un Volado Estático

Fuente: Mecánica de Shigley [20]

<sup>3</sup> Momento flector: Es la suma algebraica de los momentos producidos por todas las fuerzas extremas a un mismo lado de la sección, respecto a un punto de dicha sección.

<sup>4</sup> Fuerza axial: Fuerza que actúa directamente sobre el centro axial de un objeto en la dirección del eje longitudinal.

<sup>5</sup> Momento torsor: Es un giro o vuelta que tiende a producir rotación.

Como se muestra en la figura 3.1, partiendo con la ecuación de la elástica para un volado se analiza y viene dado por la fórmula:

$$EI * y(x) = \frac{Fx^2}{6}(x - 3L) \quad \text{Ecuación 3. 1}$$

donde:

$F = \text{carga (1,3 toneladas)}$

$L = \text{longitud} = x = 1265 \text{ mm} = 126,5 \text{ cm}$

$E = \text{Modulo de elasticidad del acero} = 2 \times 10^6$

$I = \text{Inercia}$

*Unidades:*

$Fuerza = \text{Ton}$

$Longitud = \text{cm}$

$$E = \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$I = \text{cm}^4$$

Se encuentra primero el momento de Inercia que viene dado por la fórmula:

$$I = \frac{bxh^3}{12}$$

donde:

$I = \text{Momento de Inercia}$

$b = \text{Base}$

$h = \text{Altura}$

En este caso se tiene dos inercias, es decir, la inercia superficial (grande) y la interna (pequeña), utilizando el espesor (0,6cm) como se muestra a continuación.

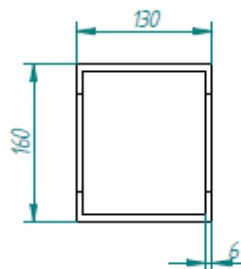


Figura 3.2. Dimensiones de los Brazos Mecánicos en mm

entonces se reemplaza datos:

$$I_{Grande} = \frac{bxh}{12}$$

$$I_{Grande} = \frac{13 \text{ cm} * 16 \text{ cm}^3}{12} = 4437,33 \text{ cm}^4$$

$$I_{Pequena} = \frac{(13 \text{ cm} - 1,2\text{cm}) * 14,8 \text{ cm}^3}{12} = 3187,762 \text{ cm}^4$$

$$I = I_{Grande} - I_{Pequena}$$

$$I = 1249,57 \text{ cm}^4$$

Teniendo el dato de la inercia, se reemplaza a continuación en la ecuación de la elástica de volado, para saber cuánto se deforma el material y luego compararla con el cálculo en SAP 200.

$$y(x) = \frac{Fx^2}{E * I} (x - 3L)$$

$$y(x) = \frac{\frac{(650 \text{ kg} * (126,5 \text{ cm})^2)}{6} * (126,5 \text{ cm} - 3(126,5 \text{ cm}))}{2x10^6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} * 1249,57 \text{ cm}^4}$$

$$y(x) = 0,175 \text{ cm} = 1,750 \text{ mm}$$

$$y(x) = 1,750 \text{ mm} \cong 2 \text{ mm}$$

Como se puede observar en el cálculo de la deformación del volado de los brazos mecánicos a una carga de 1,3 toneladas, se deforma 2mm, a continuación se realizará la simulación con la carga viva máxima (1,3 toneladas), para luego compararla con el software SAP 200.

### 3.1.6 RESULTADOS EN SAP 200

#### 3.1.6.1 Carga viva

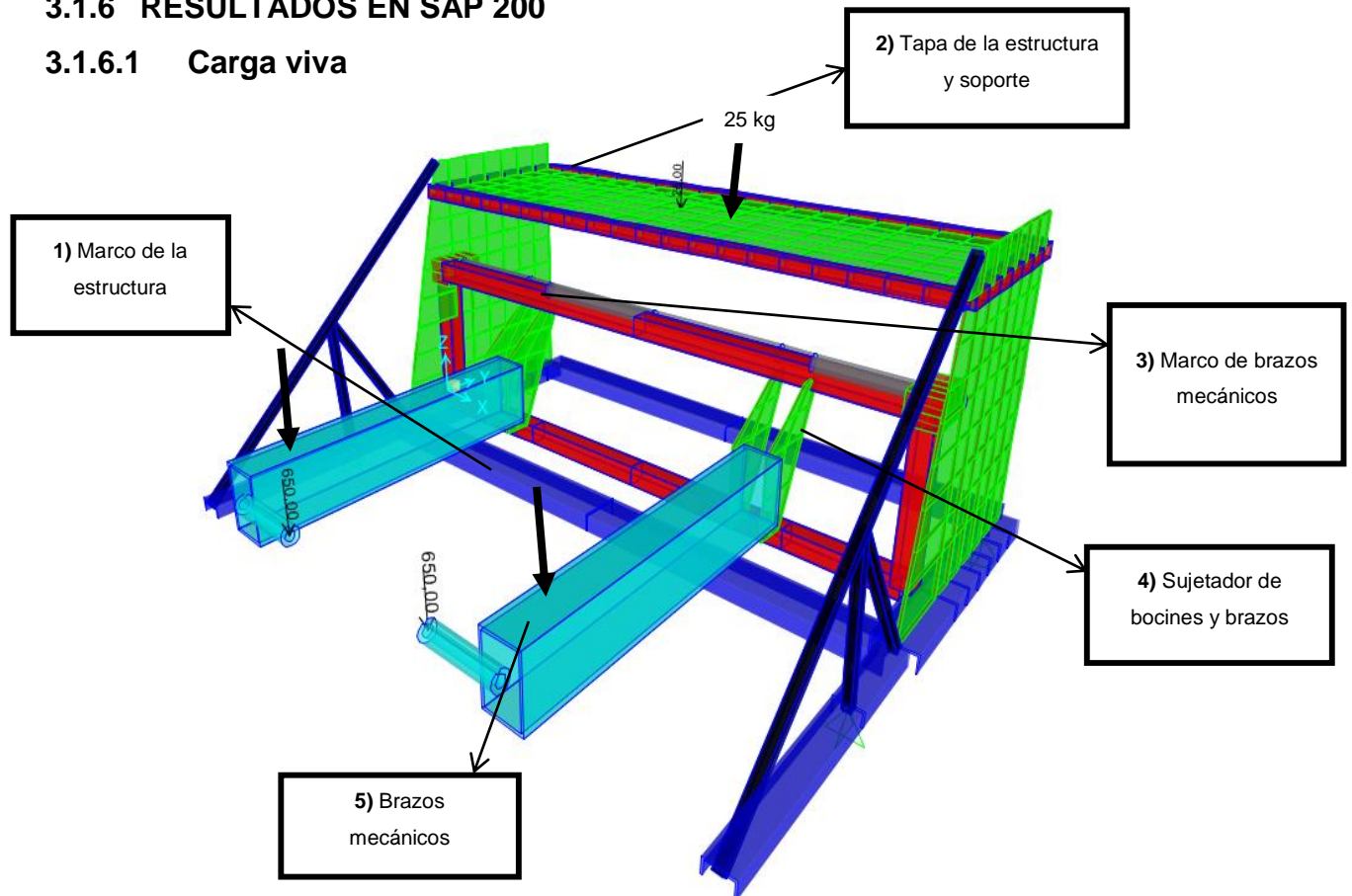


Figura 3.3. Estructura con Carga Viva (1300 kgf) (Diseñada en SAP200)

Como se muestra en la figura 3.3., se indica las cargas en cada brazo (650 kg), que sumadas nos da los 1300 kgf.

La estructura se encuentra apoyada y articulada, debido a que tiene ruedas para su traslado total.



### 3.1.7 RESUMEN DEL DISEÑO DE ELEMENTOS

#### 3.1.7.1 Relaciones de interacción

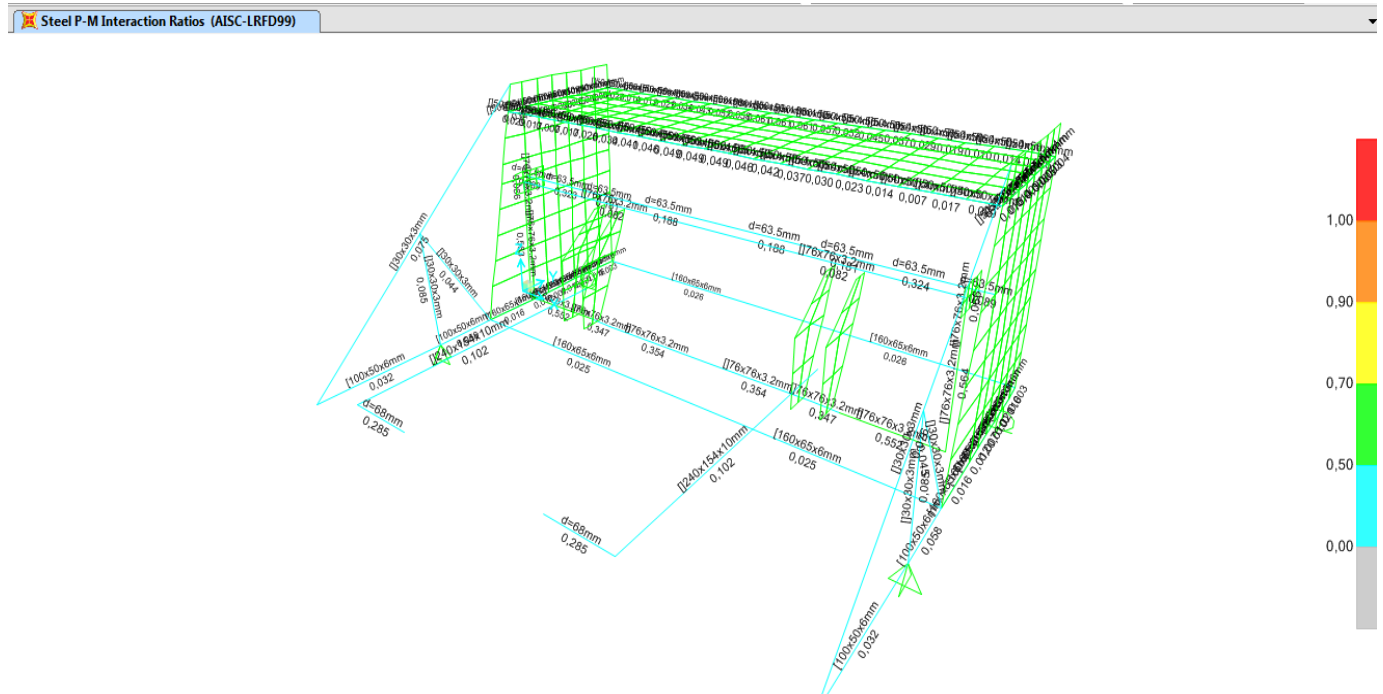


Figura 3.4. Relación de Interacción con Cargas

Los perfiles tienen relaciones de interacción de alrededor de 0.5, que comparadas con la relación demanda/capacidad máxima de 0.95, cumple con el criterio de factores de carga, que quiere decir que su desempeño está dentro del porcentaje y la estructura no se sobredimensiona.

Como se muestra en la figura 3.4. bajo las normas técnicas complementarias de diseño por factores de carga en estructuras [21], se observa que analizando con un peso de 1300 kgf en los brazos mecánicos, la estructura soporta el peso sin que el material sea desperdiciado, esto quiere decir que el material seleccionado (acero A36) es el óptimo para el diseño de la máquina devanadora de conductores eléctricos.

### 3.1.7.2 Esfuerzos

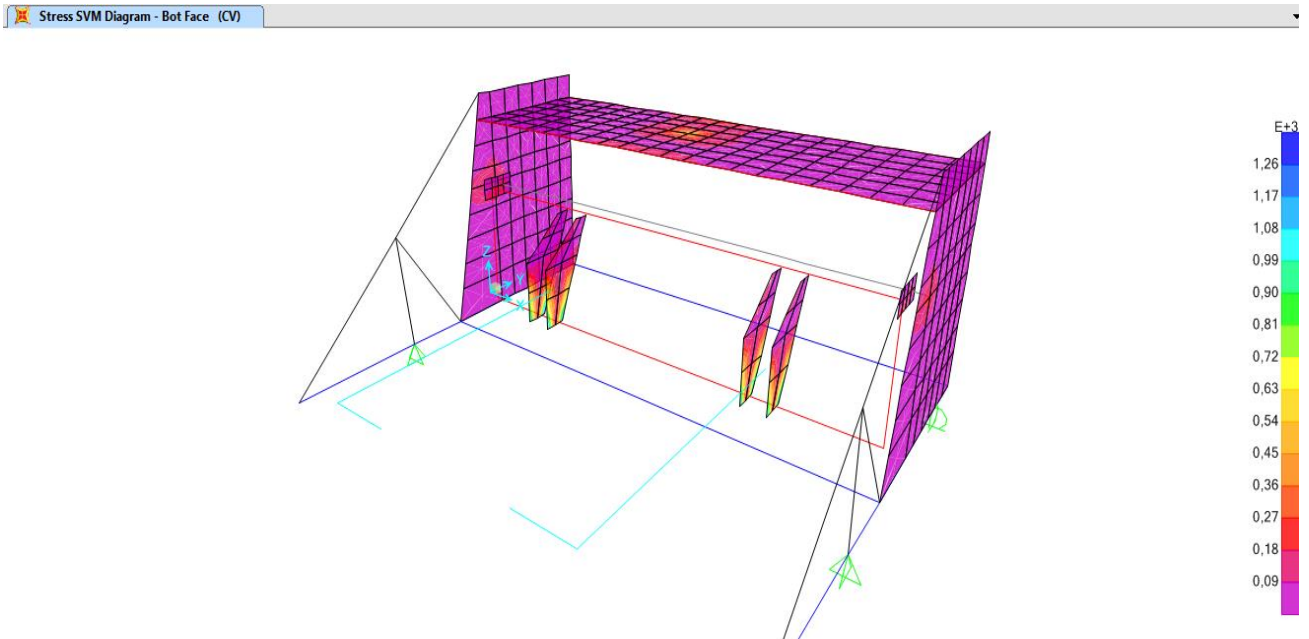


Figura 3.5. Simulación de Esfuerzos

Los esfuerzos en las placas están en el orden de  $1460 \text{ kgf/cm}^2$  que si se compara con el esfuerzo permisible<sup>6</sup> de  $1530 \text{ kgf/cm}^2$  (factor de fluencia =  $F_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$ ) con un factor de seguridad de 1.65) cumple con el criterio de esfuerzo permisible, que quiere decir que el material no sufre rotura ni deformación como se muestra en la figura 3.5.

### 3.1.8 DEFLEXIONES EN LA ESTRUCTURA

A continuación se muestran las deformaciones que sufre la estructura con un peso máximo de  $1300 \text{ kgf}$ .

<sup>6</sup> Esfuerzo permisible: Carga máxima que puede soportar un elemento sin fallar antes de que termine su vida útil predeterminada.

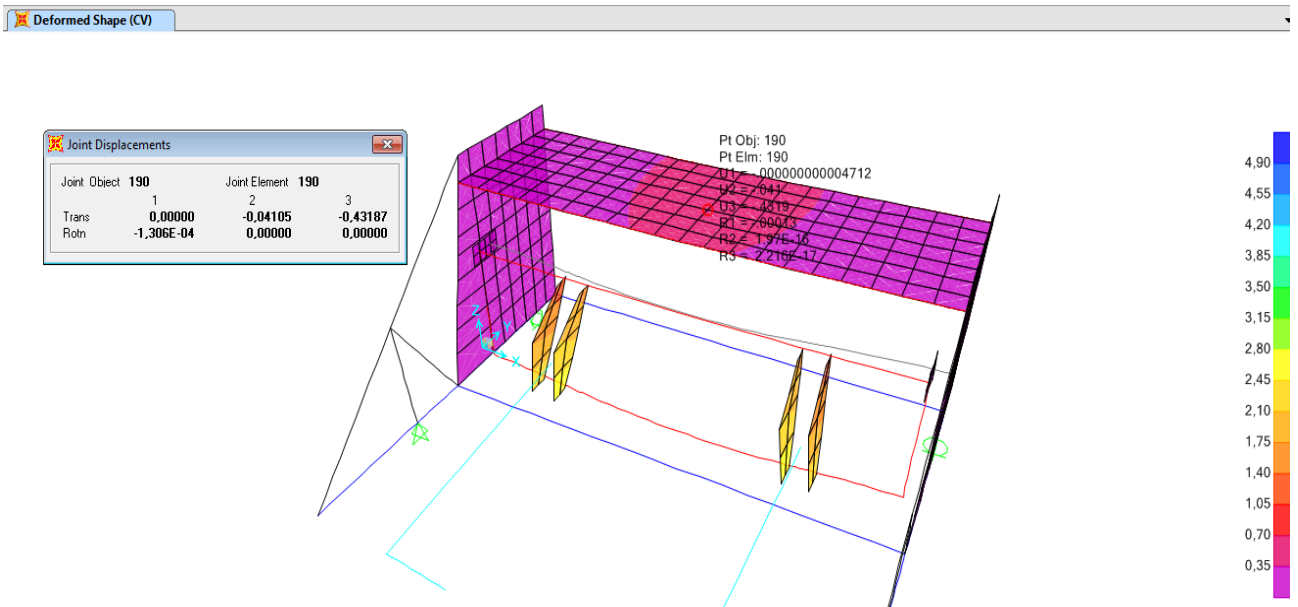


Figura 3.6. Análisis de Deflexiones

Como se puede observar en la figura 3.6, poniendo un peso en la tapa de la estructura de 30 kg, que además en el gráfico se encuentra estático sabiendo que es peso que se mueve de manera horizontal para medición del conductor eléctrico, lo que significa que la deformación se reduce mucho más de la indicada (0.43mm). Sin embargo, existe una deformación plástica del material de 0,43 mm, lo que significa que entra fácilmente dentro del rango de plasticidad del material, es decir el material no se sobredimensiona.

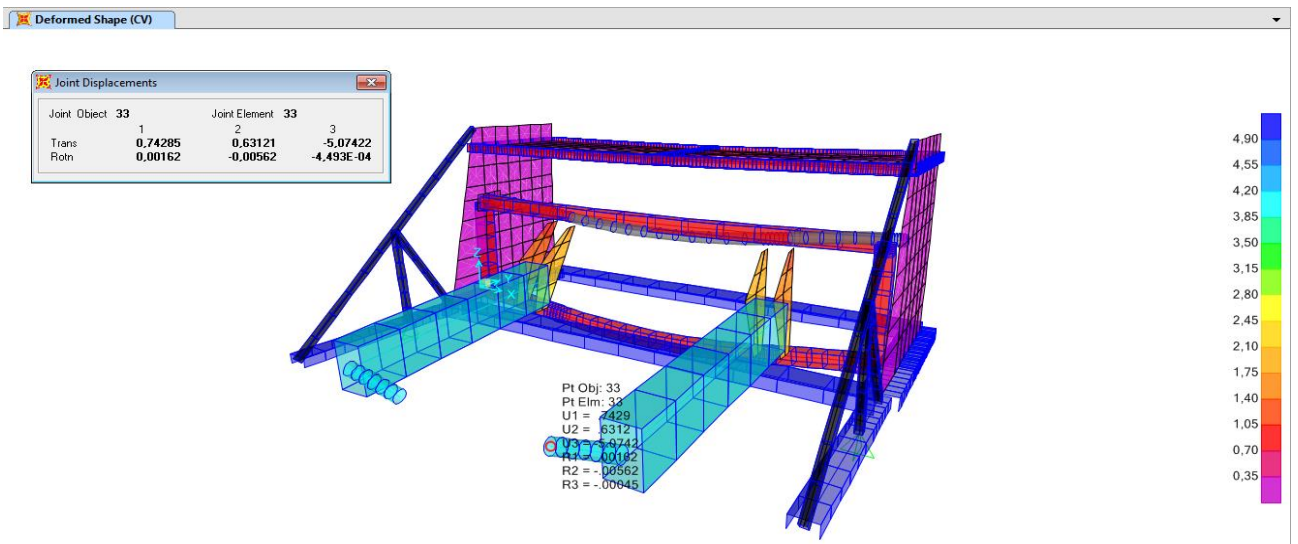


Figura 3.7. Análisis de Esfuerzos Brazos Mecánicos

Las mayores deflexiones se suscitan en el extremo de los brazos elevadores del carrete y como se puede observar en la figura 3.7. y es de 5mm para una carga viva de (1.3 toneladas), que si se la compara con la permisible (del material) es de 10.5mm (1/240 dos veces la longitud del voladizo<sup>7</sup>). Es decir que el conjunto estructural cumple con la normativa.

En comparación con la ecuación de la elástica para un volado y de manera computacional (SAP 200), se obtuvo una deformación de 5mm en el volado de los brazos con una carga móvil en simulación de software, lo cual hace mucho sentido con el cálculo manual, ya que se existe una diferencia de 3mm con el cálculo de la deformación del material a un volado estático, es decir los pórticos no se sobredimensionan ni deforman, ya que el material no sobrepasa su límite de elasticidad.

### **3.1.9 ANÁLISIS DE CARGA Y DEFLEXIÓN EN EL CLAMP DE LA MÁQUINA DEVANAFLEX PDM-MIX2000**

La máquina devanadora de conductores eléctricos soporta una carga máxima de 1,3 toneladas de peso, lo que significa que las mayores cargas se suscitan en los brazos mecánicos de la estructura, como se observa en las figuras 3.8. y 3.9. Sin embargo, existe un factor que podría producirse a una máxima carga (1.3 T) y es en el clamp de los brazos mecánicos, especialmente en el brazo derecho al sostener el carrete lleno, como se muestra en la figura 3.8. Para ello se efectuará un análisis en la estructura del clamp de los brazos mecánicos en puntos de flexión, corte y torsión del material como se muestra a continuación.

Primero se analizará el momento que existe en clamp de arrastre de la máquina

---

<sup>7</sup> Longitud de voladizo: En ingeniería suelen ser prolongaciones de vigas continuas de varios apoyos, que de esta manera se consigue equilibrar el peso en los pilares externos de una estructura.

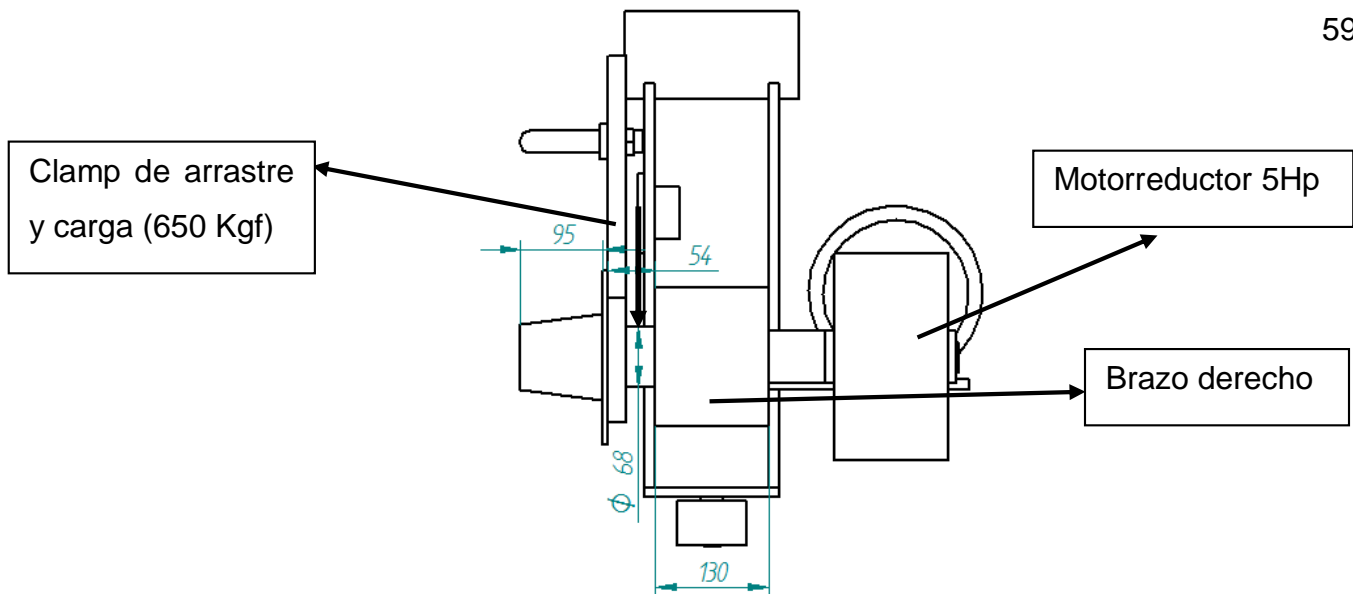


Figura 3.8. Brazo Derecho (Plano en ST5)



Figura 3.9. Brazo Derecho de la Máquina Devanaflex

### 3.1.9.1 Cálculo del Momento

Se analiza la barra del brazo derecho con el clamp, que en donde se suscitará la mayor carga "P", como se muestra en la figura 3.10. para luego teniendo las dimensiones, calcular el momento y analizar en los puntos de flexión, corte y torsión.

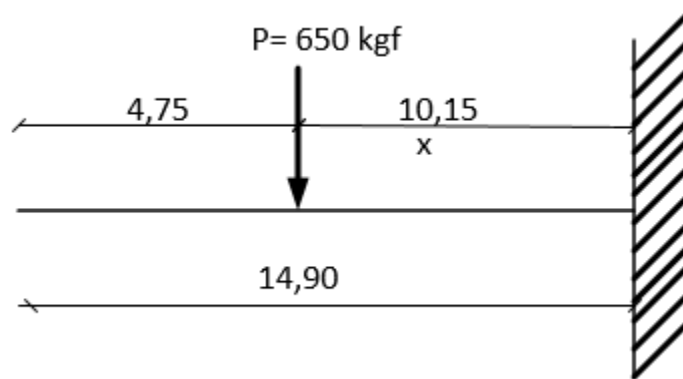


Figura 3.10. Análisis de Momento

Partiendo con la ecuación del momento, se define:

$$M = P * x$$

Ecuación 3. 2

dónde:

$M =$  momento a calcular

$x =$  la sección donde se suscita el esfuerzo ( $10,15 \text{ cm}$ )

$P =$  carga ( $650 \text{ kgf}$ )

Reemplazando:

$$M = 650 \text{ kgf} * 10,15 \text{ cm}$$

$$M = 6597,50 \text{ kgf} * \text{cm}$$

Como se puede observar, el momento es  $6597,50 \text{ kgf} * \text{cm}$  lo que es en flexión. A continuación se muestran los diagramas de la barra en flexión, corte y tensión.

### Diagrama de Flexión

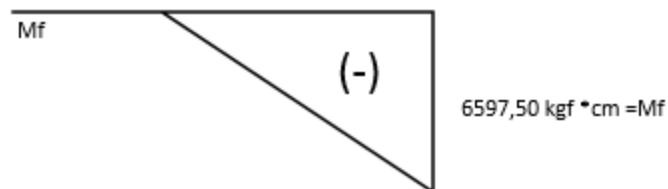


Figura 3.11. Momento Flector

## Diagrama de Corte

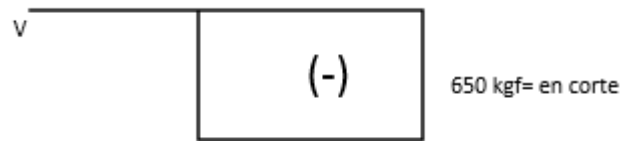


Figura 3.12. Momento de Corte

### 3.1.9.2 Cálculo de la Torsión

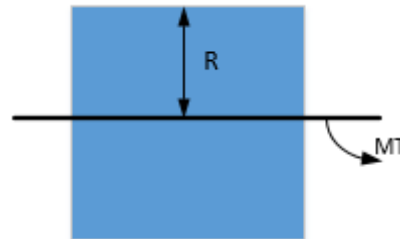


Figura 3.13. Momento Torsor

Como se observa en la figura 3.13. se analiza el momento donde se produce la torsión.

$$\sum M = I * \alpha$$

donde:

$M =$  momento

$I =$  Inercia =  $520 \text{ kgf} * \text{m}^2$  (como se detalla el cálculo más adelante)

$\alpha =$  aceleración angular

la aceleración angular se define:

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

Ecuación 3. 3

donde:

$\alpha =$  aceleración angular

$\Delta \omega =$  velocidad angular =  $5 \text{ rpm} = 0,523 \text{ rad/s}$

$\Delta t =$  tiempo de estabilización del conductor eléctrico =  $3 \text{ seg}$

la velocidad angular se define:

$$\Delta_w = \Delta_{w0} + \alpha * \Delta t$$

Ecuación 3. 4

donde:

$$\Delta_{w0} = \text{velocidad angular inicial} = 0 \text{ s}$$

reemplazando:

$$\alpha = \frac{0,523 \text{ rad/s}}{3 \text{ s}} = 0,1745 \text{ rad/s}$$

Teniendo la aceleración angular se encuentra el momento torsor:

$$M_T = I * \alpha$$

donde:

$$M_T = \text{momento torsor o de torsión}$$

reemplazando:

$$M_T = 520 \text{ kg} * \text{m}^2 * 0,1745 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$M_T = 926 \text{ kgf} * \text{cm}$$

### Diagrama de Torsión

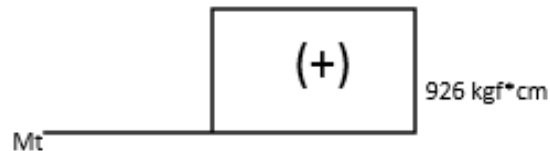


Figura 3.14. Momento Torsor

Teniendo los momentos de flexión, corte y torsión se analiza utilizando la ecuación de la tercera teoría de fallas en un punto crítico con los tres momentos [20].



### 3.1.9.3 Análisis del punto crítico

Como se dijo anteriormente, se analiza el punto crítico con la ecuación de teoría de fallas en un punto crítico, como se muestra a continuación:

$$\tau_E = \sqrt{\tau_x^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \quad \text{Ecuación 3. 5}$$

donde:

$\tau_E$  = esfuerzo equivalente

$\tau_x$  = esfuerzo normal

$\tau_{xy}$  = esfuerzo de corte

$$\tau_x = \frac{Mf * c}{I}$$

donde:

$Mf$  = momento flector = 6597,5 kgf \* cm

$c$  = distancia del eje neutro a la fibra más extrema (figura 3.15) = 3,4cm

$I$  = momento de inercia del eje

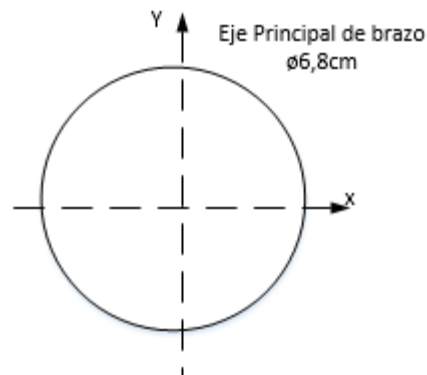


Figura 3.15. Diagrama del Eje del Brazo Derecho

Teniendo el diámetro del eje, como se indica en la figura 3.15. se encuentra el momento de inercia.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

donde:

$I$  = momento de inercia de un cilindro

$d$  = diámetro del cilindro

reemplazando:

$$I = \frac{\pi * 6,8^4}{64} = 104,95 \text{ cm}^4$$

Teniendo el momento de inercia, se encuentra  $\tau_x$  (esfuerzo normal).

$$\tau_x = \frac{6597,50 \text{ kgf} * \text{cm} * 3,4 \text{ cm}}{104,95 \text{ cm}^4} = 213,73 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

A continuación se aplica la ecuación para encontrar el esfuerzo de corte.

$$\tau_{xy} = \frac{Mt * c}{I_p}$$

Ecuación 3. 6

donde:

$Mt$  = momento torsor =  $926 \text{ kgf} * \text{cm}$

$c$  = distancia del eje neutro a la fibra más extrema (3,4 cm)

$I_p$  = inercia polar aplicada en torsión

$$I_p = \frac{\pi * d^4}{4}$$

reemplazando:

$$I_p = \frac{\pi * 6,8^4}{4} = 209,91 \text{ cm}^4$$

reemplazando se encuentra  $\tau_{xy}$  (esfuerzo de corte)

$$\tau_{xy} = \frac{926 \text{ kgf} * \text{cm} * 3,4 \text{ cm}}{209,91 \text{ cm}^4} = 15 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Aplicando en momento de corte (650 kgf), se encuentra el esfuerzo de corte  $\tau_{xy}$  en el punto x.

$$\tau_{xy} = \frac{V}{A}$$

donde:

$\tau_{xy}$  = esfuerzo de corte en x

V = momento de corte = 650 kgf

A = área del cilindro

El área de un cilindro viene dado por la fórmula:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

reemplazando se tiene:

$$A = \frac{\pi * 6,8^2}{4} = 36,316 \text{ cm}^2$$

Teniendo el área se puede encontrar el esfuerzo de corte en x

$$\tau_{xy} = \frac{650 \text{ kgf}}{36,316 \text{ cm}^2} = 17,898 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Finalmente encontrados los esfuerzos, normal, de corte en x y en Y se reemplaza con la ecuación general de teoría de fallas, para encontrar el esfuerzo equivalente.

$$\tau_E = \sqrt{\tau_x^2 + 3 * \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_E = \sqrt{\left(213,73 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)^2 + 3 \left(18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + 15 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right)^2}$$

$$\tau_E = 221,20 \text{ kgf/cm}^2$$

Como se puede observar el esfuerzo equivalente ( $\tau_E$ ), se aplica el límite de fluencia ( $S_y=2532,2 \text{ kgf/cm}^2$ ) del acero A36 y se aplica un factor de seguridad  $f_s=1,65$  que es una

medida adimensional, con el fin de verificar si el esfuerzo equivalente es menor o igual al admisible.

$$\zeta = S_y * \frac{1}{f_s} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

donde:

$\zeta =$  esfuerzo admisible

$S_y =$  límite de fluencia del acero A36 =  $2536,20 \frac{kgf}{cm^2}$

$f_s =$  factor de servicio = 1,65

$$\zeta = 2536,20 \frac{kgf}{cm^2} * \frac{1}{1,65} = 1537 \frac{kgf}{cm^2}$$

Ahora teniendo el esfuerzo equivalente ( $\tau_E$ ), se comprara el resultado con el esfuerzo admisible (carga máxima que puede someterse el material). La teoría dice, que el esfuerzo equivalente debe ser menor o igual al esfuerzo admisible, para verificar si el material se deforma o llegase a romper.

$$221,20 \frac{kgf}{cm^2} \leq 1537 \frac{kgf}{cm^2}$$

## 3.2 SISTEMA MECÁNICO-HIDRAULICO

### 3.2.1 PARÁMETROS DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

En base al cálculo estructural se toma las dimensiones calculadas del sistema hidráulico y el cilindro hidráulico para el levantamiento de los brazos mecánicos.

### 3.2.2 COMPONENTES DE LA MÁQUINA DEVANADORA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Para comenzar con el dimensionamiento de la máquina devanadora de conductores eléctricos es importante indicar las principales partes que la componen, en la Figura 3.16. se pueden observar los parámetros mecánicos que deben ser tomados en cuenta.

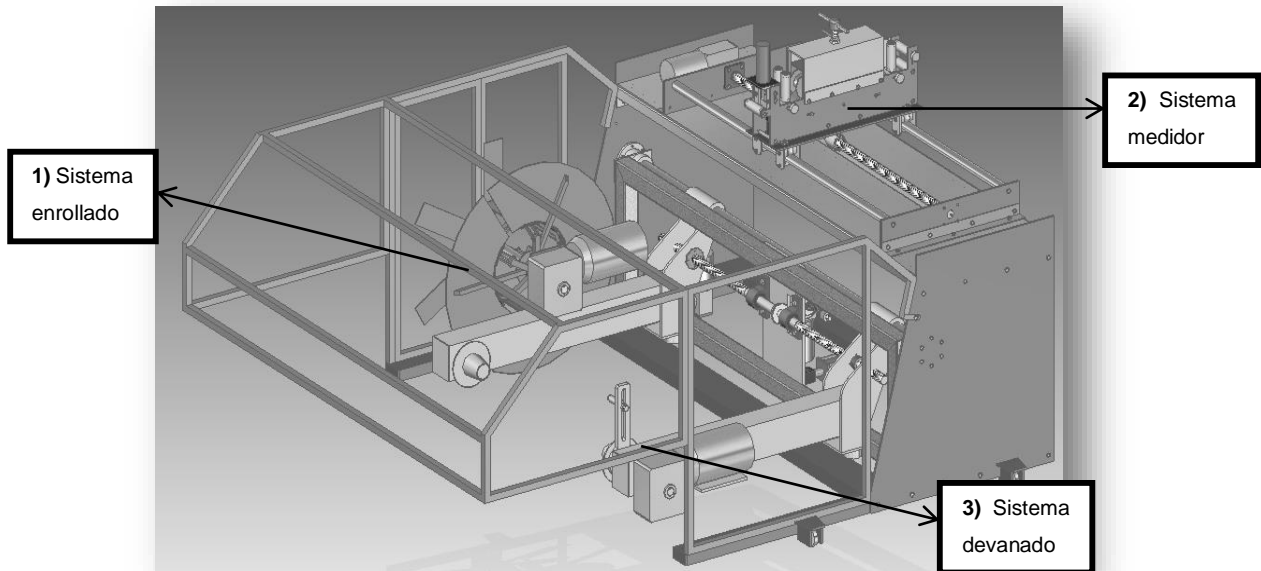
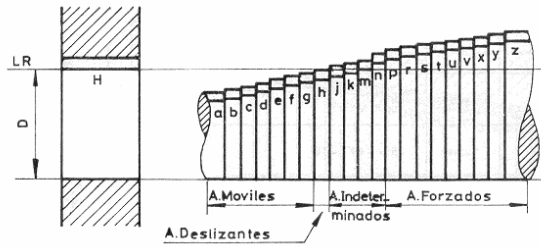


Figura 3.16. Partes de los Sistemas de la Máquina Devanadora de Conductores Eléctricos

### 3.2.3 TOLERANCIAS Y AJUSTES

En el diseño de las piezas y elementos que conforman la estructura de la máquina está ligado al cumplimiento de factores de tolerancia que relaciona el rango de error, que pueden ser aceptadas para el correcto acople o ajuste de piezas. Con el fin de obtener una estandarización. Luego de tomar en cuenta factores de calentamiento de la máquina, desgaste de las herramientas, falta de homogeneidad de los materiales y vibraciones a los que pueden estar sometidos.

Las tolerancias se indican en un marco de especificaciones como se observa en la figura 3.17. tomando en cuenta los criterios de diseño y condiciones de trabajo, se busca el estándar a cumplir tanto en sus características internas como externas de la pieza a diseñar.



Valores en micrómetros (1µm = 0.001 mm)		Temperatura de referencia 20°C											
Dimensiones en mm		> 3	> 6	> 10	> 18	> 30	> 50	> 80	> 120	> 180	> 250	> 315	
		≤ 3	a 6	a 10	a 18	a 30	a 50	a 80	a 120	a 180	a 250	a 315	a 400
Características internas	H 6	+6 0	+8 0	+9 0	+11 0	+13 0	+16 0	+19 0	+22 0	+25 0	+29 0	+32 0	+36 0
	H 7	+10 0	+12 0	+15 0	+18 0	+21 0	+25 0	+30 0	+35 0	+40 0	+46 0	+52 0	+57 0
	H 8	+14 0	+18 0	+22 0	+27 0	+33 0	+39 0	+46 0	+54 0	+63 0	+72 0	+81 0	+89 0
	H 9	+25 0	+30 0	+36 0	+43 0	+52 0	+62 0	+74 0	+87 0	+100 0	+115 0	+130 0	+140 0
	H 11	+60 0	+75 0	+90 0	+110 0	+130 0	+160 0	+190 0	+220 0	+250 0	290 0	+320 0	+360 0
Características externas	g 5	-2 -6	-4 -9	-5 -11	-6 -14	-7 -16	-9 -20	-10 -23	-12 -27	-14 -32	-15 -35	-17 -40	-18 -43
	h 5	0 -4	0 -5	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -15	0 -18	0 -20	0 -23	0 -25
	js 5	+2 -2	+2.5 -2.5	+3 -3	+4 -4	+4.5 -4.5	+5.5 -5.5	+6.5 -6.5	+7.5 -7.5	+9 -9	+10 -10	+11.5 -11.5	+12.5 -12.5
	k 5	+4 0	+6 +1	+7 +1	+9 +1	+11 +2	+13 +2	+15 +2	+18 +3	+21 +3	+24 +4	+27 +4	+29 +4
	f 6	-6 -12	-10 -18	-13 -22	-16 -27	-20 -33	-25 -41	-30 -49	-36 -58	-43 -68	-50 -79	-56 -88	-62 -98
	q 6	-2 -8	-4 -12	-5 -14	-6 -17	-7 -20	-9 -25	-10 -29	-12 -34	-14 -39	-15 -44	-17 -49	-18 -54
	h 6	0 -6	0 -8	0 -9	0 -11	0 -13	0 -16	0 -19	0 -22	0 -25	0 -29	0 -32	0 -36
	js 6	+3 -3	+4 -4	+4.5 -4.5	+5.5 -5.5	+6.5 -6.5	+8 -8	+9.5 -9.5	+11 -11	+12.5 -12.5	+14.5 -14.5	+16 -16	+18 -18
	m 6	+8 +2	+12 +4	+15 +6	+18 +7	+21 +8	+25 +9	+30 +11	+35 +13	+40 +15	+46 +17	+52 +20	+57 +21
	p 6	+12 +6	+20 +12	+24 +15	+29 +18	+35 +22	+42 +26	+51 +32	+59 +37	+68 +43	+79 +50	+88 +56	+98 +62
	e 7	-14 -24	-20 -32	-25 -40	-32 -50	-40 -61	-50 -75	-60 -90	-72 -107	-85 -125	-100 -146	-110 -162	-125 -182
	f 7	-6 -16	-10 -22	-13 -28	-16 -34	-20 -41	-25 -50	-30 -60	-36 -71	-43 -83	-50 -96	-56 -108	-62 -119

Figura 3.17. Gráfica de Tolerancias y Ajustes

### 3.2.4 CÁLCULO DEL DISEÑO PARA LA UNIDAD HIDRAULICA

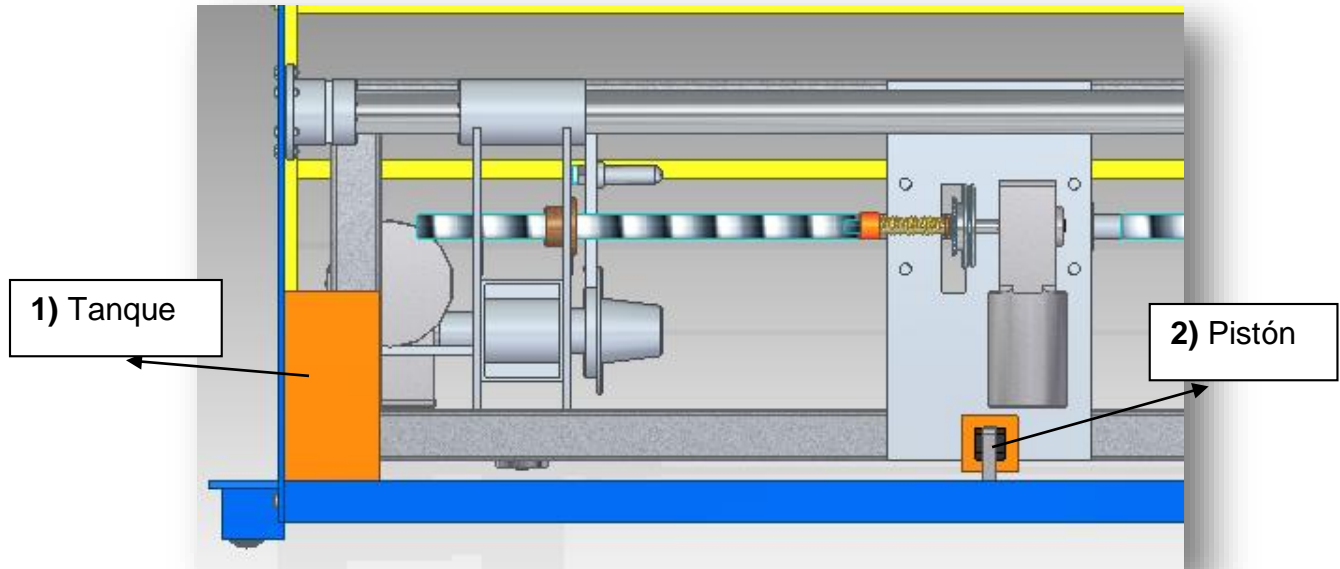


Figura 3.18. Ubicación del Sistema Hidráulico Máquina Medidora en Solid Edge (Vista Posterior)

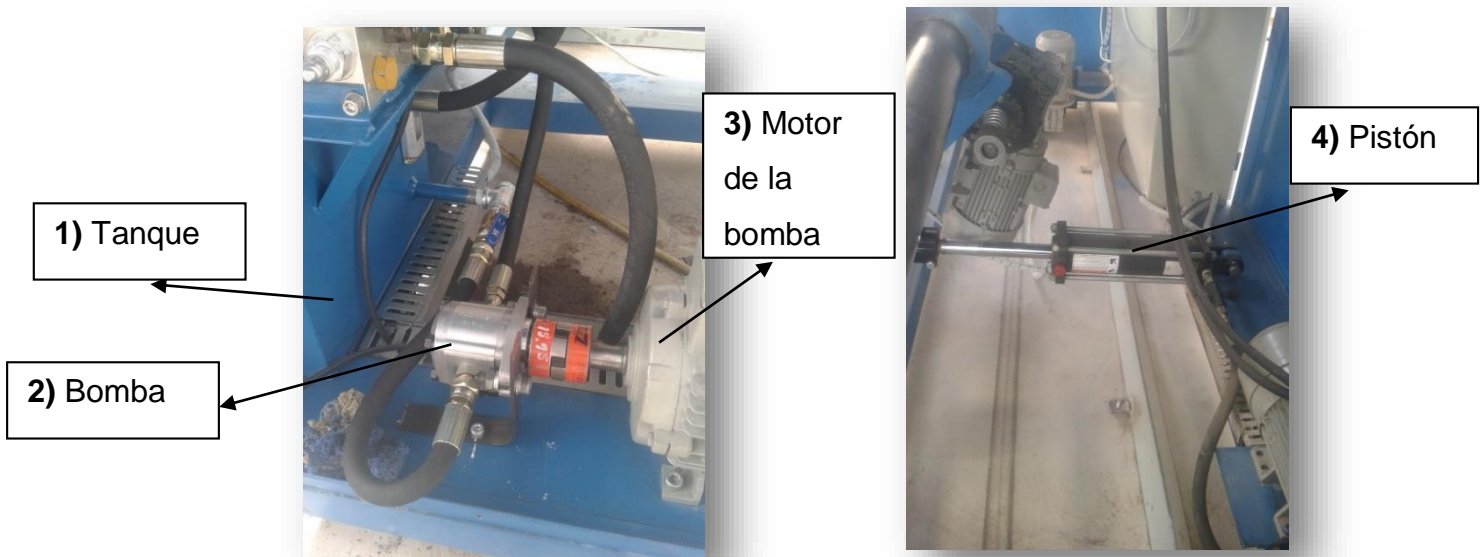


Figura 3.19. Sistema Hidráulico

Como se muestra en la figura 3.18. y 3.19. se procede a realizar el cálculo de cada uno de los elementos que componen la unidad hidráulica, para ello se empezará con la dinámica rotacional, como se muestra a continuación.

La dinámica rotacional es el torque producido por una fuerza entre dos o más puntos, uno fijo y uno móvil y que sobre el punto fijo conocido como el eje se mueven circunferencias a su alrededor. El radio es la distancia del punto móvil al punto fijo partiendo de la dinámica rotacional de un punto fijo y conociendo su radio ( $d_1$ ), se calcula la fuerza que necesita para levantar un peso máximo de 1300 kg:

$$F * d_1 = R * d_2$$

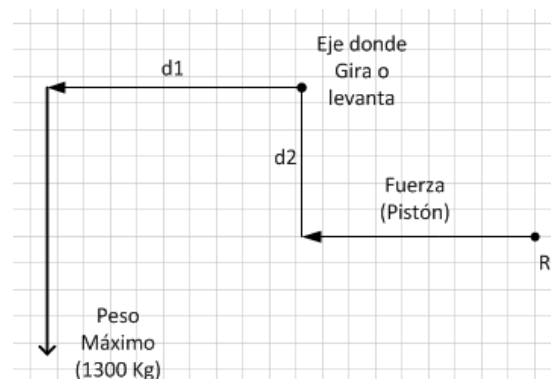
Ecuación 3. 8

Dónde:

F= fuerza

d= distancias

R= fuerza que no se mueve



Reemplazando datos:

Figura 3.20. Funcionamiento Unidad Hidráulica

$$1,5kg * 1,26m$$

$$R = \frac{1,5kg * 1,26mtrs}{0,218mtrs} = 8,66kg; 8,67 Ton$$

### 3.2.5 CÁLCULO DEL CILINDRO HIDRAULICO



Figura 3.21. Cilindro Comercial de 3" de diámetro y 10" de recorrido

$$\emptyset = 3''$$

$$10'' = \text{recorrido del émbolo} = 25,4 \text{ cm}$$

$$8,67 \text{ Ton} ; 8670 \text{ Kg}$$

Se aplica la fórmula siguiente:



$$F = P * a$$

Ecuación 3. 9

donde:

$F = \text{Fuerza}$

$P = \text{presión}$

$a = \text{Área}$

Unidades:

$\text{Fuerza} = \text{Kg}$

$\text{Presión} = \text{Bares}$

$\text{Área} = \text{cm}^2$

entonces se reemplaza datos:

$\varnothing = 3'' \rightarrow 7,62 \text{ cm}$

A continuación aplicamos la fórmula de área:

$$a = \pi * R^2$$

Ecuación 3. 10

$$a = \pi * (3,81^2)$$

donde 3,81 cm viene del diámetro 7,62/2

$$a = 45,60 \text{ cm}^2$$

$$8670 \text{ Kg} = P * 45,60 \text{ cm}^2$$

$$P = 190 \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) \rightarrow \text{Bares}$$

$$1 \text{ Bar} = 14,5 \text{ PSI}$$

$$P = 2756,90 \text{ PSI}$$

Entonces, sabiendo la presión máxima que necesita el sistema hidráulico para levantar un carrete de hasta 1,3 toneladas, hay que tomar los siguientes aspectos para la adquisición de la bomba:

- a) Tipo de bomba
- b) Características de la bomba
- c) Tipo de aceite hidráulico

d) Tipo de motor que se acople a la bomba hidráulica

### 3.2.5.1 Tipo de bomba

Sabiendo el cálculo de la presión de la bomba (2756,90 PSI), en el mercado no existen de rangos exactos como se desea, es decir vienen establecidas por normativas como:

{	500 <i>PSI</i>
	1000 <i>PSI</i>
	1500 <i>PSI</i>
	2000 <i>PSI</i>
	2500 <i>PSI</i>
	<b>3000 <i>PSI</i> bomba comercial</b>
	3500 <i>PSI en adelante</i>

La bomba que se ajusta a los requerimientos de presión calculados, es la de 3000 PSI, con una eficiencia del 91,89%.

**Nota:**

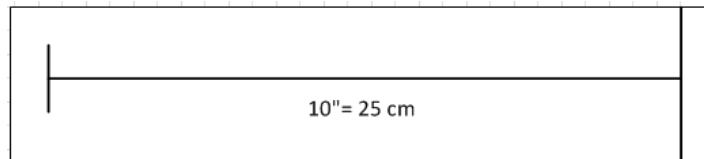


Figura 3.22. Gráfico del Pistón Hidráulico

Para el levantamiento del carrete (tara) no existe un cálculo matemático, es por eso que se plantea:

- El pistón hidráulico levanta 2cm en 1 segundo, 25 cm lo hará en 12,50 segundos, es como indica la figura 3.22. las dimensiones del cilindro hidráulico.

### 3.2.5.2 Cálculo de la potencia del motor para la bomba

Como se muestra en la figura 3.19. para calcular el caudal de una bomba, se necesita saber el tipo de bomba que se va a utilizar. Para éste caso se va usar una bomba de engranajes, que más adelante de justificará la razón de la misma.

El flujo o caudal se mide en gal x min = galones por minuto, entonces partimos de la fórmula para el cálculo del caudal dado:

$$\text{Caudal} = \frac{60 * V \left( \frac{\text{pulg}}{\text{s}} \right) * a^2 (\text{pulg}^2)}{K} \quad \text{Ecuación 3. 11}$$

$$\text{dónde: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Caudal} = \text{en gal x min} \\ V = \text{velocidad en } \frac{\text{pulgadas}}{\text{segundo}} \\ a = \text{área del pistón hiraulico en pulgadas} \\ K = \text{constante} = 231 \end{array} \right\}$$

$$\emptyset = 3"/2 = R = \text{radio}$$

$$a = \pi * (1,5^2) = 7,068 \text{ pulg}^2$$

Para la velocidad como se mencionó antes sabiendo que 2cm levantan en 1 segundo, se plantea la siguiente relación:

$$x = \frac{1 \text{ pulg} \cdot 2,54 \text{ cm}}{2,54 \text{ cm}} = 0,75 \frac{\text{pulg}}{\text{s}}$$

Entonces se reemplaza el valor de la velocidad y del área calculada:

$$\text{caudal} = \frac{60 * 0,75 \frac{\text{pulg}}{\text{s}} * 7,068 \text{ pulg}^2}{231}$$

$$\text{caudal} = 1,37 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Sabiendo el cálculo del caudal (1,37 galones por minuto), en el mercado no existen bombas con un rango exacto al calculado, es por eso, que se escoge la bomba comercial con un caudal de 1,56 galones por minuto.

La potencia de una bomba se mide en hp, es por eso, que teniendo los cálculos del caudal y la presión se aplica la fórmula de potencia siguiente:

$$\text{potencia} = \frac{\text{caudal} \left( \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) * P(\text{Psi})}{K} \quad \text{Ecuación 3. 12}$$

donde:  $\left\{ \begin{array}{l} P = \text{presión en Psi} \\ K = \text{constante dada (1714)} \end{array} \right\}$

*reemplazo de datos a calcular:*

$$\text{potencia} = \frac{1,37 \left( \frac{\text{gal}}{\text{min}} \right) * 2757,90 \text{ Psi}}{1714}$$

$$\text{potencia} = 2,20 \text{ Hp}$$

Sabiendo el cálculo de la potencia (2,20 hp), en el mercado existen motores de 2,5 hp y 3hp en adelante, es por eso, que la mejor opción que se ajusta a los requerimientos y poder prevenir cualquier problema en el futuro es un motor de 3hp, como se muestra en la figura 3.23. las generalidades de motores comerciales trifásicos.


No. de Depósito	Descripción							Precio Lista Unit. US \$
	 <p>Motor bridado 4 polos Tipo 1LA5 180</p>							<p>¡Su motor es muy valioso!</p> <p>Protéjalo únicamente con productos Siemens:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ SIRIUS</li> <li>✓ SINAMICS</li> <li>✓ MICROMASTER</li> </ul>
	Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia HP	Potencia KW	F.Servicio FS	Corriente (A) 220 VAC 440 VAC		
	<b>VELOCIDAD 1.800 rpm (4 polos)</b>							
100160474	1LA7070 - 4YA66	71	0.5	0.37	1.15	1.9	0.95	169,00
100160478	1LA7073 - 4YA66	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45	181,00
100160483	1LA7080 - 4YA66	80	1.0	0.75	1.15	3.5	1.75	194,00
100160489	1LA7083 - 4YA66	80	1.5	1.12	1.15	5.0	2.5	243,00
100160495	1LA7090 - 4YA66	90	2.0	1.50	1.15	7.0	3.5	282,00
100160501	1LA7096 - 4YA66	90	3.0	2.20	1.15	9.6	4.8	345,00
100160506	1LA7111 - 4YA66	112	4.0	3.00	1.15	13.0	6.5	387,00
100160511	1LA7112 - 4YA66	112	5.0	3.73	1.15	15.8	7.9	433,00
100160519	1LA7114 - 4YA66	112	7.5	5.60	1.15	23.2	11.6	539,00
100160525	1LA7131 - 4YA76	132 S/M	10.0	7.5	1.15	28.8	14.4	732,00
100160531	1LA7134 - 4YA76	132 S/M	15.0	11.2	1.15	43.0	21.5	1.056,00
100160535	1LA7164 - 4YA76	160 M/L	20.0	14.9	1.15	56.8	28.4	1.256,00
100160541	1LA7167 - 4YA76	160 M/L	25.0	18.7	1.15	66.0	33.0	1.370,00
100160440	1LA5183 - 4YA86	180 M	30.0	22.4	1.05	78.0	39.0	2.306,00
100160448	1LA5187 - 4YA86	180 L	40.0	29.8	1.05	104.0	52.0	2.703,00
100160452	1LA5207 - 4YA86	200 L	50.0	37.3	1.15	126.0	63.0	3.691,00
100160454	1LA5220 - 4YA86	225 S	60.0	44.5	1.15	148.0	74.0	4.212,00
100160458	1LA5224 - 4YA86	225 M	75.0	56.0	1.15	188.0	94.0	5.063,00

Figura 3.23. Motores Trifásicos

Fuente: industrty.siemens.com [33]

### 3.2.5.3 Cálculo para volumen del cilindro hidráulico

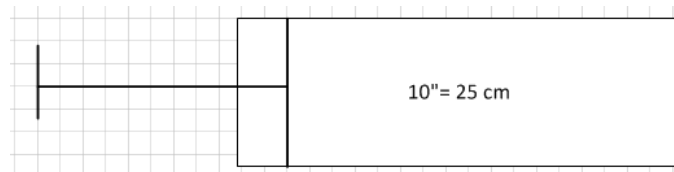


Figura 3.24. Gráfico Carrera del Pistón Hidráulico

El cálculo del volumen del pistón es necesario para saber cuánto aceite tiene que entrar en el cilindro, ya que si se coloca mucho o poco aceite, puede provocar desgaste, fricción y derramamiento. Para ello partimos de la fórmula de volumen de un cilindro siguiente:

$$V = \pi * R^2 * L$$

Ecuación 3. 13

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} V = \text{volumen del cilindro en litros (l)} \\ R = \text{radio del cilindro en cm} \\ L = \text{longitud o carrera del pistón hidraulico} \end{array} \right\}$$

Teniendo los siguientes datos:

$$\emptyset = 3'' = \frac{7,62\text{cm}}{2} = R$$

$$R = 3,81 \text{ cm}$$

$$L = 25,4 \text{ cm}$$

se reemplaza:

$$V = \pi * (3,81\text{cm}^2) * 25,4 \text{ cm}$$

$$V = 1158,33 \text{ cm}^3 = 1,158 \text{ l}$$

#### 3.2.5.4 Cálculo del volumen del tanque

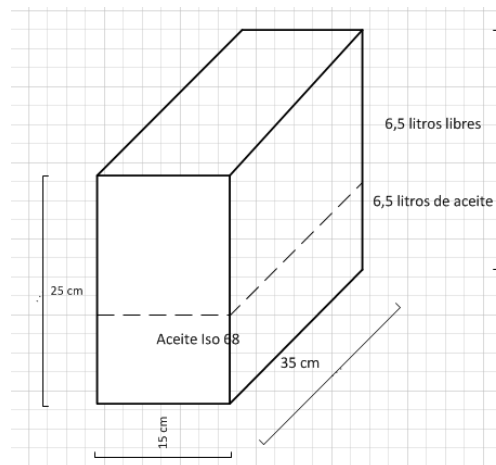


Figura 3.25. Tanque Hidráulico

Como se indica en la figura 3.25. las partes de la unidad hidráulica, para calcular el volumen del tanque se necesita saber las dimensiones del mismo, para luego saber cuánto aceite tiene que entrar en el tanque, es por eso, que partimos de la fórmula del volumen de una caja irregular siguiente:

$$V = L^3$$

Ecuación 3. 14

donde:  $\left. \begin{array}{l} V = \text{volumen en litros} \\ L = \text{las longitudes o dimensiones del tanque en cm} \end{array} \right\}$

$$V = 25 \text{ cm} * 15 \text{ cm} * 35 \text{ cm}$$

$$V = 13125 \text{ cm}^3 = 13,125 \text{ l}$$

Como se puede observar se tiene 13,125 litros de volumen. Es recomendable que en el tanque se ponga la mitad de aceite hidráulico (6,5 litros), lo que quiere decir que el aceite se mantiene viscoso.

### 3.2.5.5 Análisis para la selección de la bomba

En el mercado existe gran variedad de bombas dependiendo el requerimiento tales como: bombas de engranaje de baja presión que soportan presiones de hasta 500 PSI y velocidades bajas, bombas de engranaje de alta presión que soportan presiones de hasta 3600 PSI. Por otra parte tenemos las bombas de paleta, bombas de pistón con placa de empuje angular, bombas de diseño dynex, entre otras, que son bombas para aplicaciones con presiones muy elevadas.

La bomba que se utilizó en el funcionamiento de la unidad hidráulica, es la bomba de engranajes de alta presión, ya que soporta una presión de hasta 3600 PSI, lo cual nos da una eficiencia de 120%, y se necesita para una presión de 2800 PSI (Anexo L).

### 3.2.5.6 Dimensionamiento de la bomba de engranajes de alta presión

Como ya se mencionó anteriormente la bomba escogida es el del tipo con engranajes de alta presión que tenga las siguientes características que cumpla con los siguientes valores nominales:

- Presión de flujo : 3600 PSI
- Velocidad: 6000 rpm.
- Caudal 1,56 gal/min (galones por minuto)
- Reversibles y unidireccionales.

- El cuerpo es de aluminio reforzado ya que resiste altas temperaturas por lo que disipa la temperatura. Un ejemplo de una bomba de engranajes como se muestra en figura 3.26.



Figura 3.26. Bomba con Engranajes de Alta Presión

Fuente: Directindustry.com [18]

A continuación se muestra en la tabla 3.1. la selección de la bomba hidráulica modelo 1AG2U (Anexo L)

Tabla 3.1. Datos Técnicos de la Bomba Hidráulica

MODEL	DISPLACEMENT		PRESSURE psi(MPa)		RPM RANGE	DIMENSIONS inch(mm)		WEIGHT		PORT
	cu	cm <sup>3</sup> /r	CONTINUOUS	MAX.		A	L	Kg	LBS	
0S	0,04	0,6	3000(21)	3600(25)	600  4000	1,626(41,29)	3,212(81,58)	1,23	2,71	INLET UNF-8 3/4"-16  OUTLET UNF-6 9/16"-18
01	0,08	1,3	3000(21)	3600(25)		1,655(42,04)	3,271(83,08)	1,26	2,77	
02	0,12	2,0	3000(21)	3600(25)		1,694(43,04)	3,350(85,08)	1,29	2,84	
27	0,16	2,7	3000(21)	3600(25)		1,734(44,04)	3,428(87,08)	1,32	2,90	
35	0,21	3,4	3000(21)	3600(25)		1,773(45,04)	3,507(89,08)	1,36	2,99	
04	0,25	4,1	3000(21)	3600(25)		1,813(46,04)	3,586(91,08)	1,37	3,01	
05	0,31	5,1	3000(21)	3600(25)		1,872(47,54)	3,704(94,08)	1,43	3,15	
06	0,37	6,1	3000(21)	3600(25)		1,931(49,04)	3,822(97,08)	1,49	3,28	
07	0,45	7,4	2850(20)	3300(23)	600  2500	2,009(51,04)	3,980(101,08)	1,54	3,39	INLET UNF-10 7/8"-14 OUTLET UNF-8 3/4"-16
09	0,55	9,1	2550(18)	2850(20)		2,108(53,54)	4,176(106,08)	1,61	3,54	
11	0,67	11,0	2550(18)	2850(20)		2,226(56,54)	4,412(112,08)	1,72	3,78	
13	0,82	13,5	2550(18)	2850(20)		2,364(60,04)	4,688(119,08)	1,84	4,05	

Fuente: hydromecanica.com.ec [22]

### 3.3 CÁLCULOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

La máquina devanadora de conductores eléctricos posee un sistema de devanado, enrollado, medidor, movimiento de los brazos mecánicos y el movimiento total de la máquina. Cada uno de estos sistemas debe poseer un motor y una caja reductora, para



mantener el torque motor. Para ello se empezará con el dimensionamiento de cada sistema.

### 3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE DEVANADO

Como se muestra las partes principales en la figura 3.16. para el cálculo del sistema de devanado es necesario saber el peso y la altura máxima de un carrete que posea la empresa Eeasa. El carrete más grande que posee la empresa Eeasa tiene un diámetro de  $\varnothing 1600\text{mm}$ .

Teniendo este dato se puede determinar los radios respectivos ya que son normalizados, tanto el interno o del núcleo como el externo, que es donde se va almacenar el conductor eléctrico como se muestra en la figura 3.27.

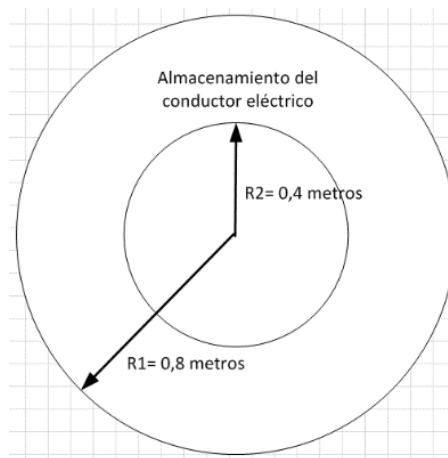


Figura 3.27. Esquema del Carrete más Grande

#### 3.3.1.1 Cálculo del momento de inercia

Teniendo estos datos se plantea calcular el momento de inercia para luego calcular el dimensionamiento del motor y caja reductora. Como se observa en la figura 3.27. en donde se almacena el conductor es el diámetro externo y no en el interno, es por eso que se aplica la fórmula del momento de inercia de un cilindro hueco.

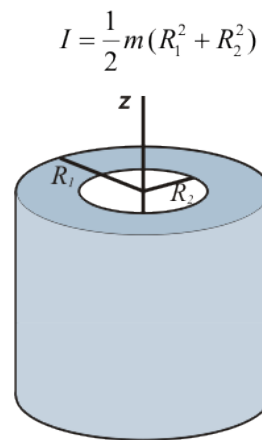


Figura 3.28. Momento de Inercia de un Cilindro Hueco

Fuente: upm.es [23]

Como se puede observar en la figura 3.28. el momento de inercia de un cilindro hueco está dado por la fórmula física:

$$I = \frac{1}{2}m * (R_1^2 + R_2^2) \quad \text{Ecuación 3. 15}$$

donde:  $\left\{ \begin{array}{l} I = \text{momento de inercia en } kg * m^2 \\ m = \text{masa máxima del carrete con el conductor eléctrico} \\ R = \text{radios interno y externo} \end{array} \right\}$

reemplazando:

$$I = \frac{1}{2} * 1300 \text{ kg} * (0,8^2 + 0,4^2)$$

$$I = 520 \text{ kg} * m^2$$

Una vez calculado el momento de inercia del cilindro hueco, se pasa a calcular el torque mínimo y máximo que necesita la máquina para vencer la inercia de giro.

### 3.3.1.2 Cálculo del torque

El torque viene dado por la siguiente fórmula:

$$T = I * \alpha \quad \text{Ecuación 3. 16}$$

donde:

$T = \text{torque en } N * m$

$I = \text{momento de inercia en } kg * m^2$

$\alpha = \text{aceleración angular en } rad/s^2$

Se calcula primero la aceleración angular que viene dado por la fórmula:

$$\alpha = \frac{\Delta w}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 3. 17}$$

donde:

$\alpha = \text{aceleración angular}$

$\Delta w = \text{velocidad angular en } \frac{rad}{s}$

$\Delta t = \text{tiempo de un ciclo es decir una vuelta}$

Para calcular la aceleración angular se tiene que saber cuál es la velocidad mínima en la que debería arrancar la máquina sabiendo que la velocidad máxima es 80 rpm (revoluciones por minuto).

En la velocidad mínima del sistema de devanado, no existe un cálculo matemático establecido, es por eso, que con la experiencia en construcciones de varias máquinas devanadoras por parte de la empresa que auspicia la construcción de la máquina devanadora de conductores eléctricos, es recomendable, que la velocidad mínima para un arranque suave en el proceso, sea a una velocidad inicial de 5 rpm y a un tiempo mínimo ( $\Delta t$ ) 3 segundos como se muestra la figura 3.29. ya que es en ese tiempo en donde la máquina adquiere estabilidad y velocidad constante en envolver el conductor eléctrico.

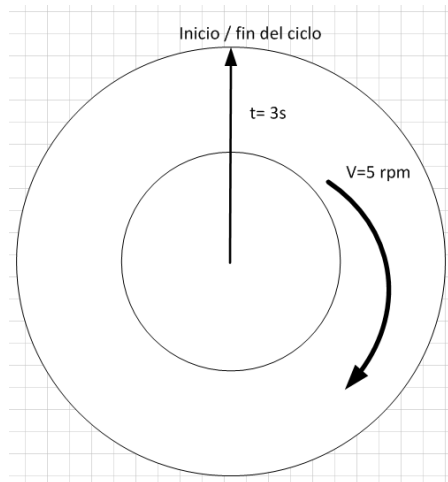


Figura 3.29. Diagrama de la Velocidad Mínima del Sistema de Devanado

sabiendo que 5 rpm es la velocidad mínima  
y el tiempo  $\Delta t = 3s$

reemplazando:

$$5 \text{ rpm} = 0,5236 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \Delta \omega$$

$$\alpha = \frac{0,5236 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{3s}$$

$$\alpha = 0,1736 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Como tenemos la velocidad angular ( $\alpha$ ) reemplazamos para obtener el torque mínimo necesario para mantener una velocidad de 5 rpm.

de la ecuación 3.9  $T = I * \alpha$

$$T = 520 \text{ kg} * \text{m}^2 \left( 0,1746 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right)$$

$$T_{\text{min}} = 90,758 \text{ (Nm)}$$

Ahora hacemos lo mismo para calcular con una velocidad máxima de 80 rpm a un tiempo ( $\Delta t$ ) de 10 segundos. Teniendo los siguientes datos reemplazamos:

$$\text{tiempo } \Delta t = 10s$$

reemplazamos:

$$80 \text{ rpm} = 8,38 \frac{\text{rad}}{s} = \Delta \omega$$

$$\alpha = \frac{8,38 \frac{\text{rad}}{s}}{10s}$$

$$\alpha = 0,838 \frac{\text{rad}}{s^2}$$

De igual manera reemplazamos el dato encontrado de la velocidad angular para hallar el torque máximo.

de la Ecuación 3.9.  $T = I * \alpha$

$$T = 520 \text{ kg} * m^2 \left( 0,838 \frac{\text{rad}}{s^2} \right)$$

$$T_{max} = 435,7(Nm)$$

### 3.3.1.3 Cálculo de la potencia del motor reductor

Teniendo el torque máximo se hallará la potencia de entrada del motor y la caja reductora del sistema de devanado, para la adquisición.

$$\text{potencia} = \frac{M * n}{9550 * nd}$$

Ecuación 3. 18

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} M = \text{Torque encontrado en } N * m \\ n = \text{velocidad en rpm} \\ nd = 0,95 \text{ dato en tabla de la caja reductora} \\ K = 9550 \text{ dato de tabla de la caja reductora} \end{array} \right\}$$

$$P_1 = \frac{T_2 * n_2}{9550 * \eta}$$

Figura 3.30. Fórmula para Encontrar la Potencia de Entrada del Motor

Fuente: [simens.com.ec](http://simens.com.ec) [19]

En este caso para encontrar la potencia de entrada del motor y escoger la caja reductora, reemplazamos el torque máximo y la velocidad máxima (80 rpm).

$$potencia = \frac{435,7 \text{ Nm} * 80 \text{ rpm}}{9550 * 0,95}$$

$$potencia = 3,84 \text{ kw} = 5,15 \text{ Hp}$$

Como se puede observar, la potencia del motor requerida es de 5 hp para el sistema de devanado.

### 3.3.1.4 Cálculo del torque de la caja reductora a un frenado suave

Ahora teniendo los torques máximo mínimo, se calcula si los torques encontrados son óptimos para un frenado suave de la caja reductora ya que si se frenase la caja reductora con una velocidad elevada, puede romperse la misma. Es por ello que es necesario el cálculo de comprobación del torque de parada a la máxima velocidad (80 rpm) y verificar si el torque calculado no rompe caja reductora.

*Es necesario saber las velocidades tanto inicial  $V_0$  como la final  $V_f$ :*

$$V_0 = 80 \text{ rpm}$$

$$V_f = 5 \text{ rpm}$$

$$\Delta t = 10 \text{ s} = \text{tiempo}$$

$$V_{Tot} = 80 - 5 = 75 \text{ rpm}$$

$$V_{Tot} = 75 \text{ rpm} = 7,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Teniendo estos datos se hace el mismo proceso primero, del cálculo de la velocidad angular  $\alpha$  y posteriormente el torque.

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{7,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{10 \text{ s}}$$

$$\alpha = 0,785 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Ahora se calcula el torque y se comprobará si cumple con el torque máximo

$$T = I * \alpha$$

Utilizando el mismo momento de inercia  $I$  calculado al inicio

$$T = 520 \text{ kg} * \text{m}^2 * 0,785 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T = 408,40 \text{ Nm}$$

Como se puede observar el torque de la caja reductora para un frenado a una velocidad máxima de 80 rpm es de 408,40 N\*m, lo cual cumple con el torque máximo calculado (435,7 N\*m), es decir el la caja reductora soporta un frenado a la máxima velocidad, es decir, la caja reductora no sufre daños.

### 3.3.1.5 Comprobación de la fuerza tangencial a la caja reductora

Ahora se va a comprobar si la caja reductora cubre la fuerza tangencial desde un carrete lleno a un carrete vacío. Es decir si la fuerza que ofrece el moto reductor (carrete vacío), es la necesaria para controlar la fuerza tangencial (carrete lleno) como se muestra en la figura 3.31.

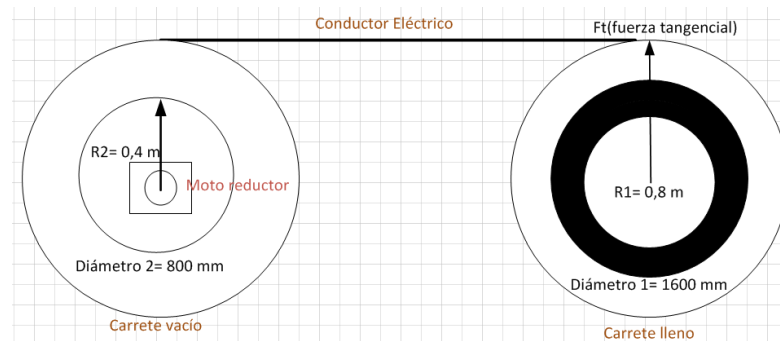


Figura 3.31. Gráfico Fuerza Tangencial Carrete Lleno y Vacío

Se aplica la fórmula del torque para encontrar la fuerza que ofrece el motorreductor y luego compararlo con la fuerza máxima con el carrete más grande.

$$T = F * d$$

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} T = \text{torque en } N * m \\ F = \text{fuerza en } N \\ d = \text{la distancia o el radio } R2 \text{ en metros (m) del moto reductor} \end{array} \right\}$$

Se despeja la fuerza y luego se reemplaza los datos obtenidos anteriormente:

$$T_{max} = 435,7(Nm)$$

$$F = \frac{T}{d}$$

$$F = \frac{435,7(Nm)}{0,4}$$

$$F = 1089,25 N$$

Como se puede observar la fuerza encontrada  $F = 1089,25 N$  es la fuerza que ofrece el moto reductor. Ahora se calcula la fuerza que posee el carrete lleno.

$$T = I * \alpha$$

$$F * d(R1) = I * \alpha$$

$$F = \frac{I * \alpha}{R1}$$

$$F = \frac{520 \text{ kg} * m^2 * 0,838 \frac{rad}{s^2}}{0,8}$$

$$F = 544,7 N$$

Como se puede observar la fuerza obtenida, o la fuerza tangencial (544,7 N) cumple muy bien con los parámetros del cálculo, es decir, no rompe la caja la fuerza tangencial del carrete lleno.



### 3.3.1.6 Normativa para la adquisición de motores trifásicos

Los motores eléctricos son una de las bases más utilizadas en las industrias hoy en día. Cada motor posee normas, de aquí radica el proceso a elegir del motor eléctrico de una manera adecuada, tomando en cuenta los criterios de selección [24].

En el caso de la máquina devanadora de conductores eléctricos utiliza motores trifásicos o asíncronos, lo cual se utilizará las normas respectivas.

Existen dos tipos de normas para el criterio de selección de los motores asíncronos, la norma NEC (norma americana) y la norma IEC (norma europea).

La NEC es una norma de identificación de motores que dice:

- Todo motor debe poseer una placa donde posea los datos de diseño, fabricante y funcionamiento del mismo.

Para el caso de los motores trifásicos, específicamente está la norma NEC 430-7 el cual dice, que todo motor debe tener su dato de placa, nombre del fabricante, corriente, voltaje, grado de protección, temperatura y aislamiento como se muestra en la figura 3.32.



Figura 3.32. Datos de Placa de un Motor Trifásico

Fuente: siemens.com.ec [19]

La IEC, es una norma que identifica las características del motor como, la eficiencia, el tipo de servicio que el motor vaya desempeñar, etc.

En el caso de los motores asíncronos está la norma IEC 34. Cada motor se clasifica por servicios del S1 al S9, dependiendo la operación que desempeñe como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Tipos de Servicio Primario S1-S9

Tipo de Servicio	Especificación
S1	Servicio continuo
S2	Servicio temporal
S3	Tipo de servicio periódico intermitente sin arranque
S4	Servicio periódico intermitente con arranque
S5	Servicio periódico intermitente con arranque y frenado eléctrico
S6	Tipo de servicio y funcionamiento continuo
S7	Servicio de funcionamiento continuo con arranque y frenado eléctrico
S8	Servicio periódico de funcionamiento continuo con cambios de carga/velocidad relacionados
S9	Servicio con variables de carga y velocidad no periódicas

Fuente: Rockwell, Automation [24]

Cada motor de la máquina devanadora de conductores eléctricos posee distintos tipos de servicio, que serán detallados más adelante.

### 3.3.1.7 Evaluación de alternativas para la adquisición del motor

Para la adquisición del motor reductor en el mercado se toma en cuenta el precio, la marca y la eficiencia del motor. En este caso comparamos con tres marcas conocidas, motive, Weg y siemens, para ello se realizará la evaluación de alternativas como se muestra a continuación para todos los motorreductores:

Tabla 3.3. Comparación de Criterios

Manteniabilidad > Costo > Marca = Eficiencia						
Criterio	Manteniabilidad	Costo	Marca	Eficiencia	$\Sigma+1$	Ponderados
Manteniabilidad		1	1	0,5	3,5	0,389
Costo	0		0,5	0	1,5	0,167
Marca	0	1		1	3	0,333
Eficiencia	0	0	0		1	0,111
				<b>Suma</b>	9	1,000

Tabla 3.4. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Mantenibilidad

Siemens> Weg= Motive					
Mantenibilidad	Motive	Weg	Siemens	$\Sigma+1$	Ponderados
Motive		1	0	2	0,333
Weg	0		0	1	0,167
Siemens	1	1		3	0,500
<b>Suma</b>				6	1,000

Tabla 3.5. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Mantenibilidad

Siemens> Weg = Motive					
Costo	Motive	Weg	Siemens	$\Sigma+1$	Ponderados
Motive		0,5	0	1,5	0,231
Weg	1		0	2	0,308
Siemens	1	1		3	0,462
<b>Suma</b>				6,5	1,000

Tabla 3.6. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Mantenibilidad

Siemens> Weg = Motive					
Marca	Motive	Weg	Siemens	$\Sigma+1$	Ponderados
Motive		0,5	0	1,5	0,250
Weg	0,5		0	1,5	0,250
Siemens	1	1		3	0,500
<b>Suma</b>				6	1,000

Tabla 3.7. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Mantenibilidad

Siemens> Weg = Motive					
Eficiencia	Motive	Weg	Siemens	$\Sigma+1$	Ponderados
Motive		1	1	3	0,429
Weg	0,5		0,5	2	0,286
Siemens	0,5	0,5		2	0,286
<b>Suma</b>				7	1,000

Tabla 3.8. Evaluación del Peso Específico para el Criterio de Mantenibilidad

Conclusiones	Mantenibilidad	Costo	Marca	Eficiencia	$\Sigma$	Prioridad
Motive	0,130	0,038	0,083	0,048	0,299	2
Weg	0,065	0,051	0,083	0,032	0,231	3
Siemens	0,194	0,077	0,167	0,032	0,470	1

Como se puede observar en la tabla 3.8., la opción más factible por Manteniabilidad, costo, marca y eficiencia, es la alternativa 1 (motorreductores siemens) , ya que cumplen con los parámetros y necesidades de la máquina. A continuación se muestra la lista de precios de los tres tipos de motores mencionados.

### Motores de 5hp (Anexo L)

Tabla 3.9. Comparación de Precios

Marca	Motive
Modelo	TEFC-155
Potencia	5hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	76%
Precio	\$560.00

Tabla 3.10. Comparación de Precios

Marca	Siemens
Modelo	1LA3112 - 4YC90
Potencia	5hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	77.5%
Precio	\$526.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Tabla 3.11. Comparación de Precios

Marca	Weg
Modelo	00518MT3E184TD
Potencia	5hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	80%
Precio	\$11800.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

### Cajas reductoras para 5hp

Tabla 3.12. Comparación de Precios

Marca	Motive
Modelo	BOX090 i:20
Potencia	acoplable para 5hp 4 polos
Velocidad	87 rpm
Torque de salida	490 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio fundido
Precio	\$557.80

Tabla 3.13. Comparación de Precios

Marca	Siemens
Modelo	1LAY 070-4
Potencia	acoplable para 5hp 4 polos
Velocidad	87 rpm
Torque de salida	450 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio fundido
Precio	\$680.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Tabla 3.14. Comparación de Precios

Marca	Weg
Modelo	BOX00536MT3E184TD
Potencia	acoplable para 5hp 4 polos
Velocidad	87 rpm
Torque de salida	485 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio Reforzado
Precio	\$13362.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Como se puede observar en las tablas (3.9-3.14) de comparación de precios existen variedad en motores y cajas reductoras, todas marcas muy conocidas comercialmente. Es por eso que al fabricante con los cálculos obtenidos y comparando precios la mejor opción que se ajusta a los requerimientos es (Anexo L):

- Marca: Siemens
- Modelo: 1LA3112 - 4YC90
- Potencia: 5hp
- Velocidad: 1800 rpm
- Precio: \$526.00



Figura 3.33. Motor de 5hp Trifásico

Fuente: siemens.com.ec [19]

- Marca: motive
- Modelo: Box 090
- Potencia: para 5hp
- Velocidad: 87 rpm
- Relación del factor de velocidad: 1:20
- Torque: 490 N\*m
- Precio: 557.80



Figura 3.34. Caja Reductora.

Fuente: siemens.com.ec [19]

Teniendo en cuenta que el torque que requiere el sistema de devanado en el cálculo es de 435,7 N\*m, cumple los parámetros calculados.

### 3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENROLLADO

Como en el sistema de devanado se necesita saber el diámetro máximo del carrete más grande que posee la empresa que es  $\varnothing=1600$ , como se muestra en la figura 3.31. teniendo este dato se procede a calcular el momento de inercia luego el torque.

#### 3.4.1 CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA Y TORQUE

La velocidad mínima para el cálculo del momento de inercia es la misma que el devanado, lo que significa que su momento de inercia y el torque mínimo son los mismos.

$$T_{min} = 90,758 \text{ (Nm)}$$

Ahora teniendo el torque mínimo a una velocidad mínima de 5 rpm, se calcula con el torque máximo con su velocidad máxima, que en el caso del sistema de enrollado es 60 rpm por recomendación técnica. En el sistema de enrollado se hacen rollos pequeños a diferencia que en el sistema de devanado se devana conductores de mayor longitud, es por eso, que se recomienda la velocidad mencionada.

#### 3.4.1.1 Cálculo del torque máximo

Para calcular el torque máximo necesitamos la velocidad máxima (60 rpm), datos técnicos pedidos por la Eeasa y el tiempo (10 segundos). Primero se procede a calcular la aceleración angular ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \frac{\Delta w}{\Delta t}$$

donde:

$\alpha = \text{aceleración angular}$

$$\Delta w = \text{velocidad angular en } \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$\Delta t = \text{tiempo de un ciclo es decir una vuelta}$

Como se mencionó antes la velocidad máxima recomendada para el sistema de enrollado es 60 rpm y a un tiempo máximo ( $\Delta t$ ) 10 segundos como se muestra la figura 3.35.

Como se muestra en la figura 3.8., la ubicación del sistema de enrollado en la máquina devanadora de conductores eléctricos, a continuación se muestra un esquema de su funcionamiento.

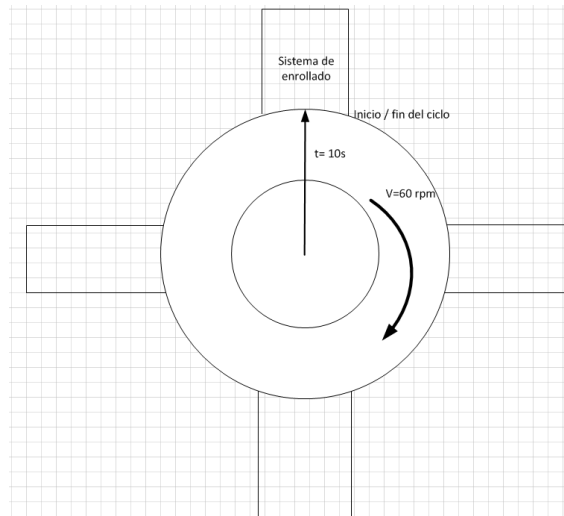


Figura 3.35. Esquema del Sistema de Enrollado

Teniendo la velocidad máxima (60 rpm), el tiempo (10 s) y la velocidad mínima (5 rpm).

Se reemplaza:

$$60 \text{ rpm} = 6,284 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \Delta\omega_{max}$$

$$5 \text{ rpm} = 0,5236 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \Delta\omega_{min}$$

Se encuentra la velocidad angular:

$$\alpha = \frac{6,284 \frac{\text{rad}}{\text{s}} - 0,5236 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{10 \text{ s}}$$

$$\alpha = 0,576 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Con estos datos calculamos el torque máximo tomando en cuenta la aceleración angular y el momento de inercia que es el mismo:

$$T = I * \alpha$$

donde:

$T = \text{torque en } N * m$

$I = \text{momento de inercia en } kg * m^2$



$\alpha = \text{aceleración angular en } \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

se reemplaza:

$$T = 520 \text{ kg m}^2 * 0,576 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{\text{max}} = 299,54 \text{ N} * \text{m}$$

Como se puede observar el torque máximo para el sistema de enrollado (299,54 N\*m)

### 3.4.1.2 Cálculo de la potencia del motor reductor (sistema de enrollado)

Teniendo el torque máximo del sistema de enrollado se calcula la potencia del motor reductor, para saber la entrada del motor y a su vez el tipo de caja reductora.

$$\text{potencia} = \frac{M * n}{9550 * nd}$$

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} M = \text{Torque encontrado en } N * m \\ n = \text{velocidad en rpm} \\ nd = 0,95 \text{ dato en tabla de la caja reductora} \\ K = 9550 \text{ dato de tabla de la caja reductora} \end{array} \right\}$$

Se reemplaza con el torque máximo encontrado:

$$\text{potencia} = \frac{299,54 \text{ Nm} * 60 \text{ rpm}}{9550 * 0,95}$$

$$\text{potencia} = 2,65 \text{ hp}$$

Como se observa la potencia de entrada es 2,65hp, lo cual no existen motores de esa magnitud por lo que la opción más adecuada es la adquisición de un motor de 3hp de potencia de entrada.

### 3.4.1.3 Evaluación de alternativas

De igual manera como se muestra en las tablas 3.3-3.8, se realiza en el sistema de devanado. Se evalúa la mejor opción para el motor y caja reductora, conociendo su potencia y torque. Para ello se realizará de igual forma con las tres marcas mencionadas en el ítem 3.3.1.7. Como son los mismos criterios de selección de los motorreductores, no se pondrá la tabla de evaluación de alternativas para evitar redundancias.

#### Motores de 3hp (Anexo L)

Tabla 3.15. Comparación de Precios

Marca	Motive
Modelo	TEFC-145
Potencia	3hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	74%
Precio	\$415.00

Tabla 3.16. Comparación de Precios

Marca	Siemens
Modelo	1LA3097 - 4YB90
Potencia	3hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	74.5%
Precio	\$413.00

Fuente:  
siemens.com.ec

[19]

Tabla 3.17. Comparación de Precios

Marca	Weg
Modelo	00318MT3E182TD
Potencia	3hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	80%
Precio	\$10806.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Cajas reductoras para 3hp (Anexo L precios)

Tabla 3.18. Comparación de Precios

Marca	Motive
Modelo	BOX 075 ,I:20
Potencia	acoplable para 3hp 4 polos
Velocidad	85 rpm
Torque de salida	320 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio fundido
Precio	\$410.80

Tabla 3.19. Comparación de Precios

Marca	Siemens
Modelo	1LAY 070-4
Potencia	acoplable para 5hp 4 polos
Velocidad	85 rpm
Torque de salida	340 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio fundido
Precio	\$520.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Tabla 3.20. Comparación de Precios

Marca	Weg
Modelo	BOX00336MT3E182TD
Potencia	acoplable para 5hp 4 polos
Velocidad	87 rpm
Torque de salida	460 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio Reforzado
Precio	\$10263.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Con los cálculos obtenidos para la adquisición de la caja reductora, la mejor opción en cuanto a marca y precio es:

Motor de 5hp trifásico:

- Marca: Siemens
- Modelo: 1LAY 070-4
- Potencia: 3hp
- Velocidad: 1800 rpm
- Precio: \$413.00

Caja reductora:

- Marca: Motive
- Modelo: Box 075
- Potencia: 3hp
- Velocidad: 85 rpm
- Relación del factor de velocidad: 1:20
- Torque: 320 N\*m
- Precio: \$410.80

Teniendo en cuenta que el torque máximo que requiere el sistema de enrollado es de 299,54 N\*m, cumple los parámetros calculados.

#### **3.4.1.4 Dimensionamiento del sistema medidor**

Para la determinación de la potencia y caja reductora del sistema medidor, tenemos que determinar las velocidades en rpm (revoluciones por minuto) del tornillo-motor. Es decir, la velocidad mínima que gira el tornillo ( $n_1$ ) sabiendo que la velocidad máxima recomendada es 170 rpm ( $n_2$ ).

Además, necesitamos saber el peso del sistema medidor y el diámetro del tornillo del medidor como se muestra en la figura 3.27.

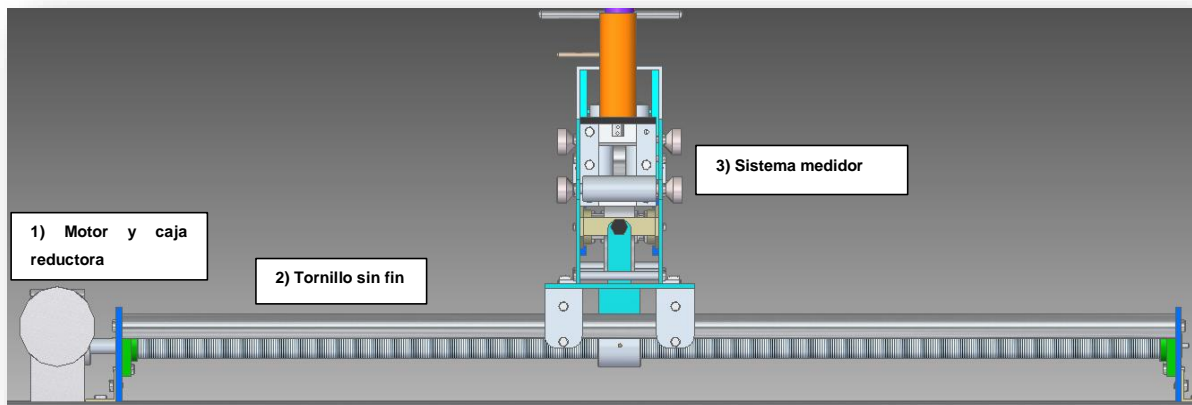


Figura 3.36. Gráfico Sistema Medidor

### 3.4.1.5 Determinación velocidad mínima en m/min del tornillo-motor

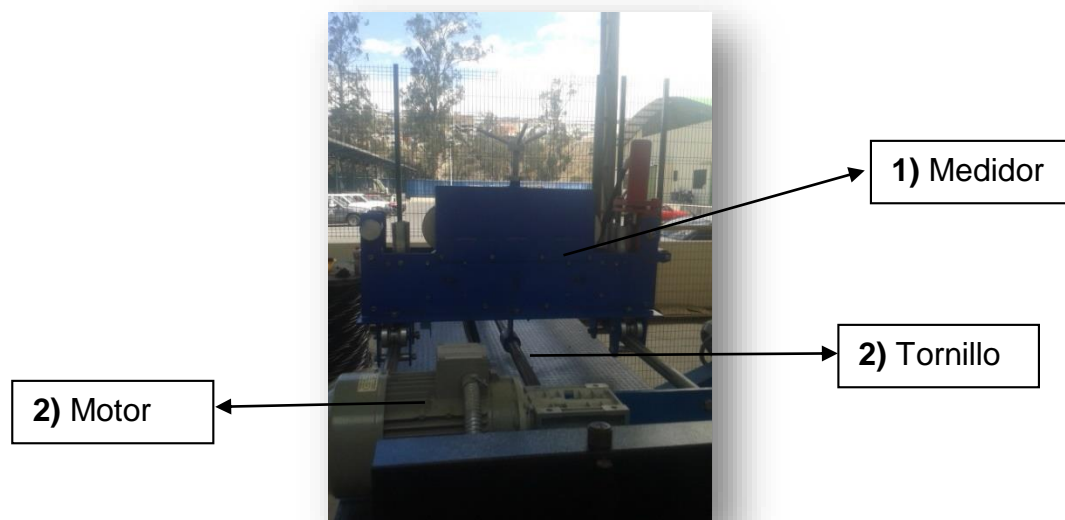


Figura 3.37. Gráfico Sistema Medidor

Como se muestra en las figuras 3.36 y 3.37 se indica el esquema del medidor y la relación de giro tornillo-motor.

Teniendo los datos del peso del medidor (25kg), la velocidad máxima de giro tornillo-motor, encontramos la velocidad mínima de giro  $n_1$  con la fórmula para determinar la velocidad dado:

$$n_2 = \frac{v}{\pi * D_p}$$

Ecuación 3. 19

Dónde:

$v$  = velocidad en rpm

$v = n_1$  = velocidad mínima de giro del tornillo – motor

$D_p$  = Diámetro del eje del tornillo = 38,10mm = 0,0381m

$n_2$  = velocidad máxima de giro tornillo – motor = 170 rpm

se reemplaza:

$$v = 170 \text{ rpm}(\pi * 0,3810 \text{ m})$$

$$v = 20,34 \text{ m/min} = n_1$$

Como se puede observar la velocidad mínima de giro del tornillo-motor es 20 rpm, que quiere decir que es la velocidad mínima de giro entre el tornillo-motor.

### 3.4.1.6 Cálculo del esfuerzo de giro necesario tornillo-motor

El cálculo del esfuerzo de giro (ft) es cuanto esfuerzo requiere el motor para girar el tornillo, sabiendo el peso del medidor como se indica en la figura 3.38.

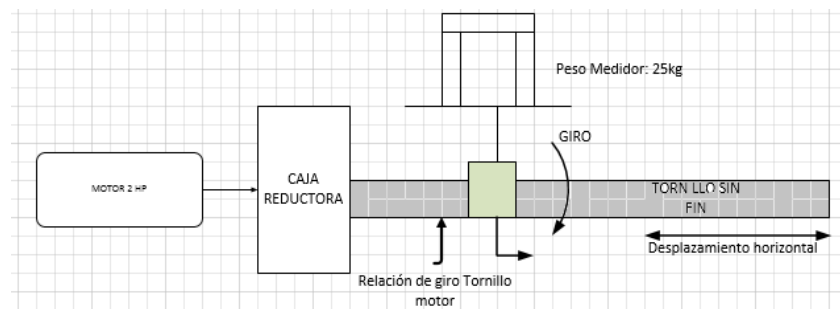


Figura 3.38. Relación de Giro Tornillo-Motor

Teniendo el peso del medidor, se parte con la siguiente ecuación:

$$ft = P * q$$

Ecuación 3. 20

donde:

$f_t$  = esfuerzo de giro en kg

$P$  = peso del medidor = 25 kg

$q$  = coeficiente de fricción del acero = 0,3 en un esfuerzo crítico

reemplazo de datos:

$f_t = 25 \text{ kg} * 0,3$

$f_t = 7,5 \text{ kg}$

Lo que significa que el motor empleará 7,5 kgf en girar al tornillo con el medidor.

### 3.4.1.7 Cálculo de emparejamiento tornillo-motorreductor

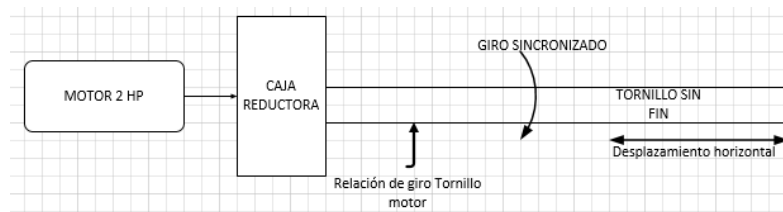


Figura 3.39. Emparejamiento Tornillo-Motorreductor

Como se muestra en las figuras 3.37 y 3.39 el emparejamiento del tornillo-motorreductor, que significa que el cálculo que por efectos de inercia, ambos deben girar a la par, es decir, al mismo tiempo el tornillo sin fin y el motor eléctrico. Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$PD^2 = 364 * P * \frac{Vs^2}{n^2}$$

Ecuación 3. 21

donde :

$PD$  = emparejamiento de un eje al motor en medidas adimensionales

364 = valor ya establecido en fórmula

$P$  = peso del medidor

$$Vs = \text{velocidad en } \frac{m}{s}$$

Primero se encuentra Vs:

$$Vs = \frac{V}{60}$$

$$Vs = \frac{20,34 \frac{m}{min}}{60 s}$$

$$Vs = 0,339 m/s$$

se reemplaza los datos:

$$PD^2 = 364 * 25 kg * \frac{(0,339 m/s)^2}{20 rpm}$$

$$PD = \sqrt{52,284}$$

$$PD = 7,23$$

El emparejamiento del tornillo-motorreductor es una medida adimensional. Con este valor se puede encontrar el momento que se necesita para vencer la inercia de giro.

### 3.4.1.8 Cálculo del momento para vencer la inercia de giro

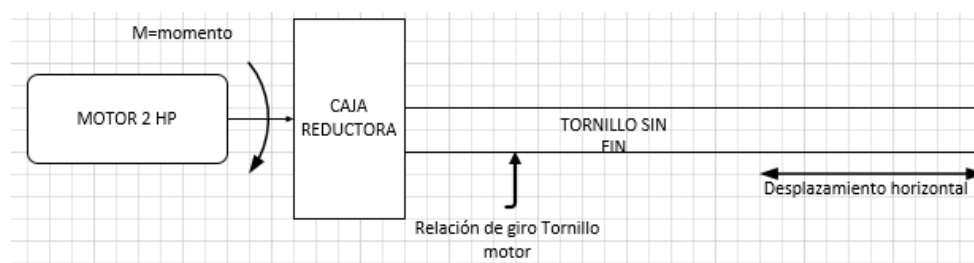


Figura 3.40. Emparejamiento Tornillo-Motorreductor

Al calcular el momento establecemos la inercia de giro rotacional, en este caso la del tornillo al motorreductor (figura 3.27.) como se muestra en la figura 3.40. el esquema del momento que se suscita en el giro, para ello se parte con la ecuación del momento de inercia.



$$M_i = \frac{PD^2 * n_{max}}{375 * t_{inicial}}$$

Ecuación 3. 22

donde:

$M_i$  = es el momento de inercia en  $kg * m$

$PD$  = cálculo de emparejamiento tornillo – motor

$n_{max}$  = es la velocidad de giro máxima del tornillo = 170 rpm

$t$  = tiempo inicial

El tiempo de inicio de un ciclo es 10 segundos. Teniendo estos datos se reemplaza:

$$M_i = \frac{52,289 * 170 \text{ rpm}}{375 * 10 \text{ s}}$$

$$M_i = 2,370 \text{ kg} * m$$

Como se puede observar el momento que necesita el motor para vencer la inercia del tornillo es 2,37 kg/m con este dato calculado podemos hallar el esfuerzo total de torsión y luego hallar la potencia de entrada del motor.

#### 3.4.1.9 Cálculo del esfuerzo total de torsión

Como se indica en la figura 3.40. se calculará el esfuerzo total que emplea el motorreductor, con respecto al tornillo sin fin del sistema medidor. Para esto se parte con la ecuación del esfuerzo total de torsión:

$$M = ft * \frac{D_p}{2} + M_i$$

Ecuación 3. 23

donde:

$M$  = esfuerzo total de torsión en  $kg$

$ft$  = esfuerzo de giro en  $kg$

$D_p$  = Diámetro del tornillo en  $m$

$M_i = \text{momento de inercia en } \frac{kg}{m}$

*reemplazo de datos:*

$$M = 7,5 \text{ kg} * \frac{0,038 \text{ m}}{2} + 2,37 \text{ kg} * m$$

$$M = 2,512 \text{ kg}$$

Teniendo el esfuerzo total  $M = 2,512 \text{ kg}$  que es la fuerza que necesita el motorreductor para ejercer el giro del sistema medidor, con este dato se calcula la potencia requerida para la adquisición del motorreductor.

#### 3.4.1.10 Cálculo de la potencia del motorreductor

Como se muestra en la figura 3.27., se calculará la potencia de entrada del motorreductor del sistema medidor, para esto se parte con la ecuación de cálculo de la potencia de un motor.

$$\text{potencia} = \frac{M * n}{716,2 (Rd)} \quad \text{Ecuación 3. 24}$$

donde:  $\left\{ \begin{array}{l} M = \text{esfuerzo total de torsión en kg} \\ n = \text{velocidad máxima de giro } 170 \text{ rpm} \\ Rd = \text{eficiencia dato de tabla } (0,8) \end{array} \right\}$

$$\text{potencia} = \frac{2,512 \text{ kg} * 170 \text{ rpm}}{716,2 * 0,8}$$

$$\text{potencia} = 0,747 \text{ hp}$$

Como se puede observar la potencia requerida para la adquisición del motor reductor es 0,747hp, lo que significa que con un motor comercial de 1hp es suficiente para el sistema medidor ya que no existen motores con el dato calculado.

**3.4.1.11 Determinación de la velocidad de la caja reductora del sistema medidor**

Teniendo la potencia de entrada del motor, determinaremos la velocidad de la caja reductora respecto al tornillo del sistema medidor, ya que para tener un devanado preciso se debe determinar la velocidad de la caja reductora en la que el sistema medidor debe moverse (horizontalmente) como se observa en la figura 3.14 y evitar que el conductor eléctrico no se superponga.

El cálculo de la velocidad es necesario para que el medidor se mueva horizontalmente y exista una coordinación entre el medidor, el tornillo y el carrete como se muestra en la figura 3.41.

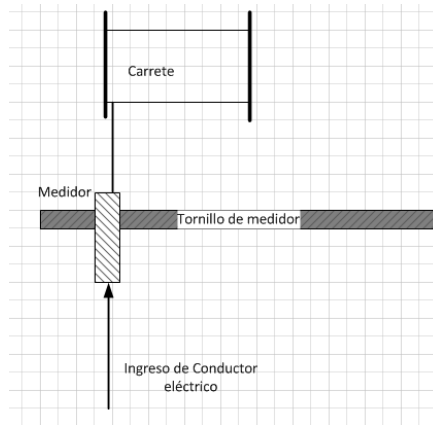


Figura 3.41. Gráfico Desplazamiento de Medidor

El conductor eléctrico tiene un diámetro “d” y el cálculo nos facilita, con qué velocidad el conductor eléctrico entra en el carrete vacío para que se llene uniformemente. Como se muestra en la figura 3.42.

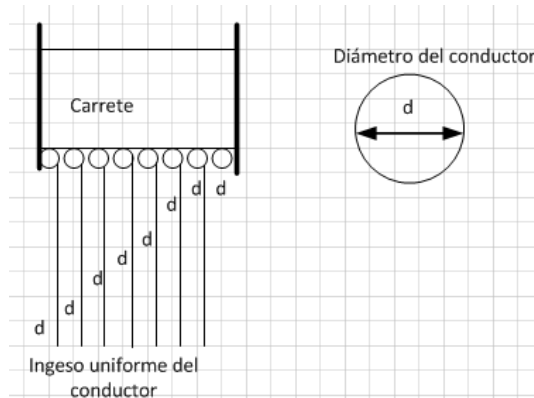


Figura 3.42. Gráfico Uniforme del Conductor Eléctrico y Carrete

Se recuerda que el tornillo sin fin del medidor tiene un paso de 10 mm, lo que quiere decir que 1 rpm del tornillo desplazará al medidor 10 mm como se muestra en la figura 3.43.

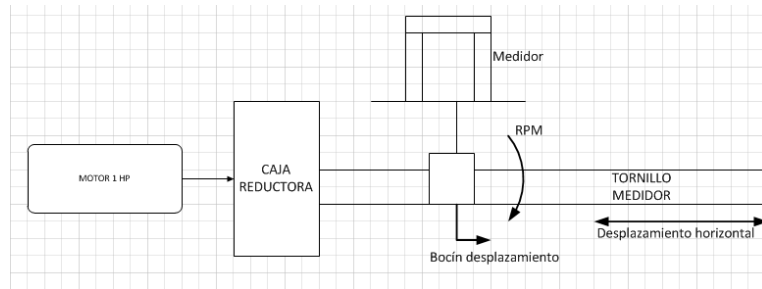


Figura 3.43. Gráfico Desplazamiento de Medidor Horizontalmente

#### 3.4.1.11.1. Sincronización del medidor con el carrete

Para que el carrete enrolle el conductor lo más simétrico posible, el medidor debe desplazarse el espacio necesario de acuerdo al diámetro ( $\varnothing$ ) del cable seleccionado como se muestra en la figura 3.42.

Para calcular las rpm que necesita el tornillo se procederá hacer una simple regla de tres conociendo:

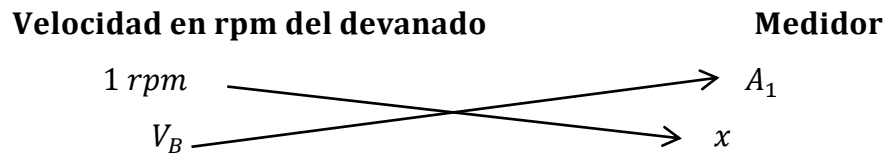
Area de devanado	Desplazamiento horizontal del medidor
$1 \text{ rpm}$	$10 \text{ mm}$ (paso del tornilo en 1 rpm)
$x$	$\varnothing$ del conductor programado ( $\varnothing C_p$ )

Solución:

$$x = \frac{1 \text{ rpm} * \varnothing C_p}{10 \text{ mm}} = A_1$$

donde  $A_1$  es la variable a ser encontrada.

Luego conociendo las rpm del tornillo medidor calculamos, la velocidad máxima a la que podría girar el tornillo sin fin en sincronía con la velocidad del sistema de devanado. Para este caso hacemos una regla de tres con la velocidad del de giro del tornillo medidor (1 rpm) y la variable de velocidad encontrada  $A_1$ .



donde:  $\left\{ \begin{array}{l} V_B = \text{es la velocidad en rpm del sist. de devanado} \\ A_1 = \text{es la variable velocidad a encontrar} \end{array} \right\}$

La velocidad  $V_B$  depende de la velocidad que desee el operario, que significa que puede controlar la misma mediante el potenciómetro de control de velocidad.

$$x = \frac{V_B * A_1}{1 \text{ rpm}} = B_1$$

*B<sub>1</sub> es la velocidad en rpm del sistema de devanado a la cual gira el carrete que es controlada*

Por lo que reemplazando los datos se tiene:

$$\left[ \frac{V_B * \emptyset C_P}{10 \text{ mm}} \right] = B_1$$

#### 3.4.1.11.2. Parámetros a ser considerados para la velocidad

Existen algunos parámetros que tenemos que considerar para calcular la velocidad de la caja reductora del medidor y el tornillo sin fin.

- El máximo conductor que puede ingresar al medidor es de diámetro  $\emptyset 40$  mm.
- Se recomienda que mientras más diámetro ( $\emptyset$ ) tiene el conductor eléctrico, a menor velocidad deberá girar el devanador, esto es para evitar vibraciones en la máquina y daños. Estas recomendaciones fueron obtenidas después de haber realizado varias pruebas técnicas en construcciones de varias máquinas devanadoras diseñadas por la empresa Protecnycom.
- La velocidad máxima de giro que se recomienda para un conductor de  $\emptyset 40$  mm, es 40 rpm.

Teniendo estas consideraciones planteadas, de la ecuación

$$\left[ \frac{V_B * \emptyset C_P}{10 \text{ mm}} \right] = B_1$$

Reemplazamos:

$$\frac{40 \text{ rpm} * 40 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 160 \text{ rpm}$$

160 rpm es la velocidad máxima que puede imprimir la caja reductora en el motor y al tornillo del medidor.

A éste valor encontrado ( $B_1 = 160 \text{ rpm}$ ) le aplicamos un factor de seguridad del 5%, para conservar mayor durabilidad de la caja reductora, del motor, y evitar futuros accidentes.

Para éste cálculo realizamos la siguiente regla de tres matemática:

<b>rpm</b>	<b>porcentaje</b>
160 rpm	100%
<i>x</i>	5%

$$x = \frac{160 \text{ rpm} * 5\%}{100 \%}$$

$$x = 8 \text{ rpm}$$

Que quiere decir, que la velocidad final  $B_1 = 168 \text{ rpm}$ . Entonces para la adquisición de la caja reductora conociendo la potencia del motor (1hp) y la velocidad final de la caja reductora. La caja reductora comercial que se ajusta a los requerimientos calculados es 170 rpm.

### 3.4.1.12 Evaluación de alternativas

A continuación se muestran las mejores alternativas para la adquisición del motor y la caja reductora del sistema medidor, conociendo la potencia y velocidad máxima calculada. Las alternativas se muestran en las tablas 3.3-3.8.

#### Motores de 2hp (Anexo L)

Tabla 3.21. Comparación de Precios

Marca	Motive
Modelo	TEFC-125
Potencia	2hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	70%
Precio	\$310.00

Tabla 3.22. Comparación de Precios

Marca	Siemens
Modelo	1LA3097 - 4YB50
Potencia	2hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	72.5%
Precio	\$320.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Tabla 3.23. Comparación de Precios

Marca	Weg
Modelo	00218MT3E145TD
Potencia	2hp
Velocidad	1800 rpm
Polos	4 polos
Voltaje	Para 220/440 Vac
Eficiencia	80%
Precio	\$9,073.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Cajas reductoras para 2hp (Anexo L)

Tabla 3.24. Comparación de precios

<b>Marca</b>	Motive
<b>Modelo</b>	BOX 063 ,I:10
<b>Potencia</b>	acoplable para 2hp 4 polos
<b>Velocidad</b>	170 rpm
<b>Voltaje</b>	Para 220/440 Vac
<b>Carcasa</b>	Aluminio fundido
<b>Precio</b>	\$307.50

Tabla 3.25. Comparación de precios

<b>Marca</b>	Siemens
<b>Modelo</b>	1LAY 070-4
<b>Potencia</b>	acoplable para 5hp 4 polos
<b>Velocidad</b>	175 rpm
<b>Voltaje</b>	Para 220/440 Vac
<b>Carcasa</b>	Aluminio fundido
<b>Precio</b>	\$375.00

Fuente: siemens.com.ec [19]

Tabla 3.26. Comparación de precios

Marca	Weg
Modelo	BOX00236MT3E145TD
Potencia	acoplable para 5hp 4 polos
Velocidad	87 rpm
Torque de salida	460 N*m
Voltaje	Para 220/440 Vac
Carcasa	Aluminio Reforzado
Precio	\$9,223.00

Fuente: siemens.com.ec [19]



Con los cálculos obtenidos para la adquisición de la caja reductora, la mejor opción en cuanto a marca y precio es:

Motor de 2hp trifásico:

- Marca: Siemens
- Modelo: 1LA3097 – 4YB50
- Potencia: 2hp
- Velocidad: 1800 rpm
- Precio: \$320.00

Caja reductora:

- Marca: Motive
- Modelo: Box 063
- Potencia: 2hp
- Velocidad: 170 rpm
- Relación del factor de velocidad: i:10
- Precio: \$307.50

### **3.4.2 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA DE BRAZOS**

De igual forma como se dimensionó los sistemas anteriores, calculamos la potencia necesaria para la adquisición del motor reductor asíncrono adecuado con la normativa indicada [24].

Para calcular la potencia necesaria de los brazos mecánicos es necesario conocer el peso total del sistema de brazos (P) como se muestra en la figura 3.44., el esfuerzo de giro (ft), la velocidad mínima de giro en metros por minuto (m/min) y el emparejamiento del tornillo-motor (PD), para así calcular la potencia necesaria del moto reductor.

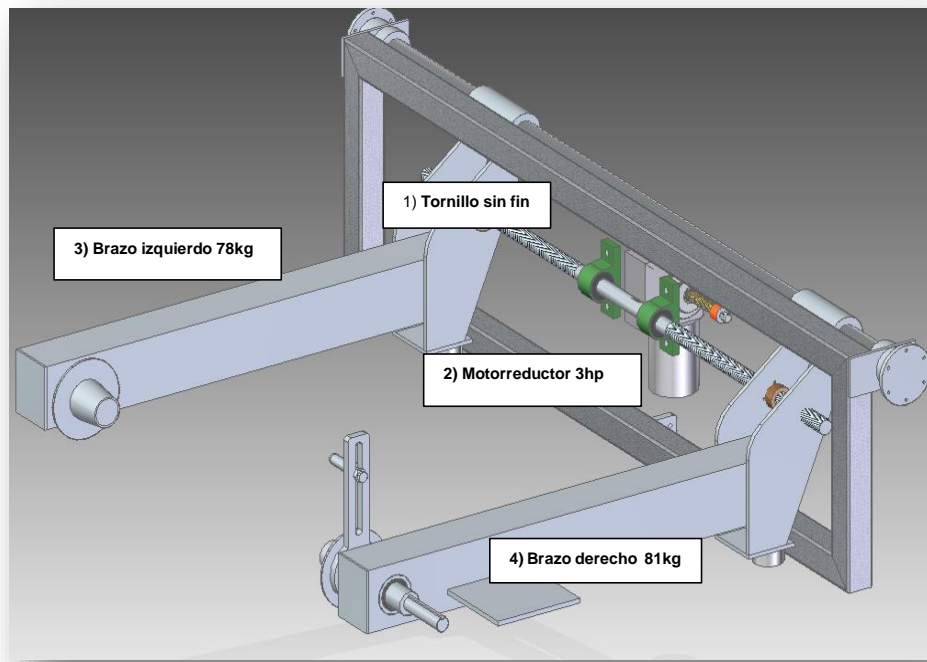


Figura 3.44. Gráfico Sistema de Brazos Mecánicos

### 3.4.2.1 Cálculo de la velocidad mínima de giro ( $n_1$ )

Sabiendo que  $n_2$  (velocidad máxima de giro) es 115 rpm, se calcula  $n_1$  (velocidad mínima) para así luego calcular  $V_s$  (velocidad en m/min), como se muestra en la ecuación 3.15.

$$n_1 = n_2 * (\pi * Dp) = 115 \text{ rpm} * (\pi * 0.3810 \text{ m})$$

$$n_1 = 13,76 \text{ m/min}$$

$$V_s = \frac{13,76 \text{ m/min}}{60 \text{ s}} = 0,223 \text{ m/s}$$

Peso de los brazos mecánicos:

- Brazo izquierdo= 78 kg
- Brazo derecho = 81 kg
- Total peso= 159 kg

Con el peso total de los brazos se calcula el esfuerzo de giro (ft) y el emparejamiento del tornillo-motor (PD), como se indican en las ecuaciones 3.23. y 3.24.

### 3.4.2.1 Cálculo del esfuerzo de giro y emparejamiento tornillo-motor

Como se mencionó antes, teniendo el peso total de sistema de brazos primero se calcula el esfuerzo de giro ( $ft$ ) mostrado en la figura 3.44. Mismo concepto como se realizó, en el sistema medidor figura 3.16.

$$ft = P * q$$

$$ft = 159 \text{ kg} * 0,3 = 47,7 \text{ kg}$$

con este dato se calcula el  $PD$

$$PD^2 = 364 * P * \frac{V_s^2}{n^2}$$

$$PD^2 = 364 * 159 \text{ kg} * \frac{(0,223 \text{ m/s})^2}{13,76 \text{ rpm}}$$

$$PD^2 = 209,165$$

Con este valor se puede encontrar el momento que se necesita para vencer la inercia de giro  $M_i$ , para luego encontrar el esfuerzo total de torsión  $M$  como se muestran en las ecuaciones 3.21. y 3.22.

### 3.4.3 Cálculo del momento de inercia y el momento de torsión

$$M_i = \frac{PD^2 * n_{max}}{375 * t_{inicial}}$$

El tiempo de inicio de un ciclo es 10 segundos de apertura de los brazos mecánicos. Con este dato reemplazamos:

$$M_i = \frac{209,165 * 115 \text{ rpm}}{375 * 10 \text{ s}} = 6,41 \text{ kg} * \text{m}$$

teniendo el momento que se necesita para vencer la inercia de giro del motor al tornillo se procede a calcular el esfuerzo total  $M$ :

$$M = ft * \frac{D_p}{2} + M_i$$

Se reemplaza:

$$M = 47,70 \text{ kg} * \frac{0,03810 \text{ m}}{2} + 6,41 \text{ kg} * \text{m}$$

$$M = 7,31 \text{ kg}$$

Como se puede observar M (esfuerzo total) que se necesita para vencer la inercia de giro del tornillo al motor del sistema de brazos. Teniendo este dato finalmente se puede encontrar la potencia requerida, para la adquisición del motor reductor partiendo de la ecuación 3.23.

#### 3.4.4 Cálculo de la potencia del motor reductor

$$potencia = \frac{M * n}{716,2 (Rd)}$$

Reemplazo de datos encontrados:

$$potencia = \frac{7,31 \text{ kg} * 115 \text{ rpm}}{716,2 * 0,8} = 1,47 \text{ Hp}$$

Como se puede observar la potencia requerida para la adquisición del motorreductor es 1,5hp, lo que significa que con un motor comercial de 2hp cumple con los parámetros de dimensionamiento para el sistema de brazos.

### 3.5 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

#### 3.5.1 INTRODUCCIÓN

La máquina devanadora de conductores eléctricos como se mencionó en los capítulos anteriores, posee sistemas de: devanado, enrollado, medidor, unidad hidráulica y corte, para lo cual todos éstos son controlados por un PLC y a su vez una conexión en HMI diseñado en visual Basic 2010, que monitorea las funciones de cada uno de los sistemas de la máquina. Para ello el primer paso a realizar es la automatización y comunicación del PLC al PC.

La automatización es una herramienta o conjunto de técnicas que relaciona sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. Éstos se combinan, para que luego sean controlados y dirigidos a través de un software, y éste se encarga de poner en movimiento a todos los mecanismos de manera automática. [6]

Existen tres tipos de automatización:

- Automatización fija
- Automatización programable
- Automatización flexible

Para éste proyecto se plantea utilizar la automatización programable, ya que se pretende controlar por PC el proceso de devanado y enrollado de la máquina devanadora de conductores eléctricos.

### **3.5.2 CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES TRIFÁSICOS**

Ya con el dimensionamiento de los motores y las cajas reductoras respectivamente en el capítulo 3, se analiza las mejores opciones para el control de velocidad manualmente de los mismos. Recordemos, que Eeasa necesita controlar la velocidad de los motores en los sistemas de devanado, medidor y enrollado, desde un mínimo (5rpm) hasta un máximo (80 rpm). Para lo que se plantea las siguientes alternativas para el control de velocidad de los motores:

- La primera opción es controlar la velocidad de los motores con una conversión estrella-triángulo.
- Una segunda alternativa es controlar la velocidad con un variador de frecuencia.

La primera opción, se puede hacer una conexión estrella-triángulo y claro que el motor asíncrono bajará su velocidad, el problema está en que no permite el monitoreo manual de velocidades, lo que quiere decir que una vez realizada la conexión estrella-triángulo en el motor, no se podrá manipular su velocidad como se muestra en la figura 3.45.

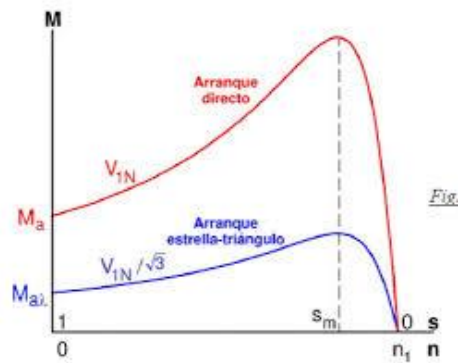


Figura 3.45. Control de Velocidad de un Motor Asíncrono por Estrella-Triángulo

Fuente: Motores Trifásicos [12]

La segunda alternativa es controlar la velocidad por medio de un variador de frecuencia. Es una de las opciones más adecuada, ya que un variador de frecuencia permite controlar la velocidad y programarla desde un mínimo a un máximo. Además, ayuda a poder programar su tiempo de disparo y desaceleración de un motor trifásico.

Es por eso que la mejor opción es la adquisición de un variador de frecuencia que controle los sistemas de devanado, enrollado y medidor.

La empresa Protecnycom para la adquisición de los variadores de velocidad, como en el análisis de opciones de los motores se escogió la marca siemens, la mejor para la adquisición de los demás elementos se hizo referencia a la misma marca, por lo que se escogerá siemens para el sistema eléctrico y de control.

### 3.5.3 VARIADORES DE VELOCIDAD

Como se mencionó anteriormente, se escogerá un variador de frecuencia marca siemens. Los variadores de velocidad, son escogidos según sea la potencia de entrada del motor asíncrono como se muestra en la tabla 3.27., es por eso que los motores donde se busca variar la velocidad manualmente son:

Tabla 3.27. Clasificación de los Variadores Según la Potencia de Entrada del Motor

<b>Tipo de Sistema</b>	<b>Potencia Motor</b>	<b>Tipo de Variador</b>	<b>Marca</b>	<b>Observaciones</b>
Sist. Devanado	5hp	Micromaster 420	Siemens	Especialmente para motores asíncronos a partir de 5hp
Sist. Enrollado	3hp	Sinamic g110	Siemens	Para motores a partir de 1hp hasta 4hp
Sist. Medidor	2hp	Sinamic g110	Siemens	Para motores a partir de 1hp hasta 4hp

Como se puede observar en la tabla de clasificación de variadores según la potencia de entrada del motor, cada sistema en el cual se desea variar la velocidad manualmente, posee su propio variador de frecuencia o velocidad.

### **3.5.4 TIPO DE SERVICIO A SER USADO EN LOS MOTORES TRIFÁSICOS**

A continuación se describe el tipo de servicio primario como se mencionó en el inciso 3.2.1.6 se describe cómo funcionará cada motor asíncrono según la norma IEC 34 [24].

Como se observa en la tabla 3.28. explica los tipos de servicio para motores eléctricos, entonces se plantea que para cada motor eléctrico de la máquina devanadora posee diferente servicio como se muestra a continuación en la tabla 3.28:

Tabla 3.28. Tipo de Servicio de Cada Motor de la Máquina

<b>Tipo de Sistema</b>	<b>Potencia Motor</b>	<b>Tipo de servicio</b>	<b>Observaciones</b>
Sist. Devanado	5hp	Servicio continuo (S1) Servicio periódico intermitente con arranque (S4)	Por lo que utiliza variador de frecuencia (Micromaster 420)
Sist. Enrollado	3hp	Servicio periódico de funcionamiento continuo con cambios de carga/velocidad relacionados (S8)	Por la utilización de variador de frecuencia (Sinamic g110)
Sist. Medidor	2hp	Servicio periódico de funcionamiento continuo con cambios de carga/velocidad relacionados (S8)	Por la utilización de variador de frecuencia (Sinamic g110)
Sist. Unidad hidráulica	3hp	Tipo de servicio periódico intermitente sin arranque (S3)	Por lo que se enciende y se apaga luego de finalizar cada operación
Sist. Brazos mecánicos	3hp	Servicio periódico intermitente con arranque (S4)	Arranca el motor del sistema de brazos y luego para hasta que termine el proceso de devanado.



### 3.5.4.1 Gráficas de cada servicio

A continuación se muestran las gráficas de cada servicio y para cada motor mencionados en la tabla 3.28., la potencia en función del tiempo.

Servicio continuo (S1): es un tipo de funcionamiento en un estado de carga constante como se muestra en la figura 3.46.

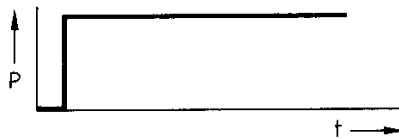


Figura 3.46. Servicio Continuo

Fuente: Motores de Inducción Trifásicos [24]

Tipo de servicio periódico intermitente sin arranque (S3): Está compuesto de una secuencia de ciclos similares, cada uno con una duración de cada ciclo  $t_s$  (tiempo en segundos) como se muestra en la figura 3.47.

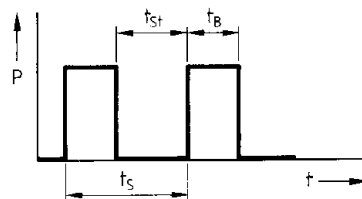


Figura 3.47. Servicio S3

Fuente: Motores de Inducción Trifásicos [24]

Servicio periódico intermitente con arranque (S4): consiste en una secuencia de ciclos de servicio idénticos con una duración de ciclo  $t_s$  (tiempo en segundos) como se muestra en la figura 3.48.

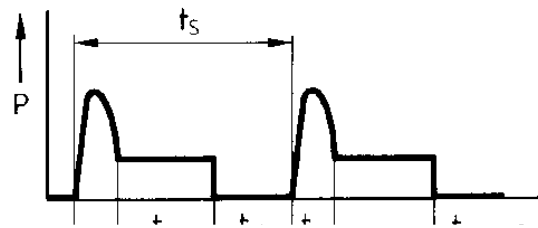


Figura 3.48. Servicio S4

Fuente: Motores de Inducción Trifásicos [24]

Servicio periódico de funcionamiento continuo con cambios de carga/velocidad relacionados (S8): compuesto de una secuencia de ciclos de servicio similares con una duración de ciclo  $t_s$ . Cada uno de estos ciclos abarca un tiempo con una carga constante y una velocidad determinada como se muestra en la figura 3.49.

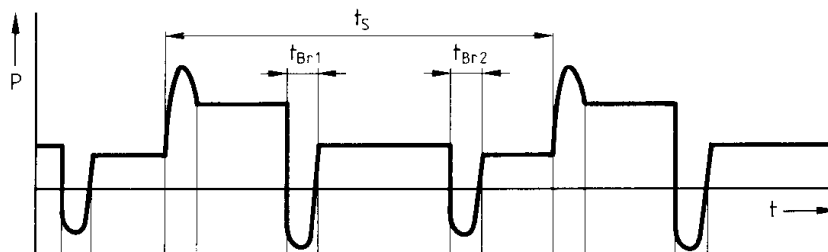


Figura 3.49. Servicio S8

Fuente: Motores de Inducción Trifásicos [24]

### 3.6 PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

Una vez que se estableció el servicio y la norma (IEC 34) de los motores trifásicos, es importante el proceso de selección de protecciones para los mismos, ya que ayuda a comandar de mejor manera y segura el encendido y apagado del motor (seccionamiento, distribución de la red trifásica que lo alimenta), asegurar la seguridad personal (protección contra corto circuitos) y proteger en contra de los efectos de corrientes de sobrecarga [25].

Los motores son la principal fuente de trabajo en el mundo industrial, es por eso que éstos necesitan protecciones eléctricas para al momento de su instalación, ya que si estas máquinas fallan, seguramente todo el sistema de potencia lo hará en general.

Se recuerda que cada uno de los motores asíncronos de la máquina devanadora de conductores eléctricos es de tipo jaula de ardilla como se menciona en el capítulo uno y dos, por lo que para seleccionar las protecciones adecuadas, es importante saber el tipo de motor y datos de placa.

De igual forma como se indicó en los capítulos anteriores, la máquina devanadora posee cinco motores para las diferentes funciones que ésta tiene (devanado, enrollado, medidor, brazos mecánicos y la unidad hidráulica).

También como se mencionó anteriormente los sistemas de devanado, enrollado y medidor poseen un sistema por control de velocidad manual (variadores de frecuencia), es por eso que se recomienda las protecciones eléctricas a través de contactores<sup>8</sup> y para los sistemas de los brazos mecánicos y la unidad hidráulica como no poseen variadores de velocidad, se recomienda el uso de guardamotores<sup>9</sup> que se detallan a continuación.

### **3.6.1 NORMA PARA SELECCIÓN DE CONTACTORES Y GUARDAMOTORES**

Para hacer el proceso de selección ya sea en contactores y guardamotores, como se mencionó anteriormente es importante conocer el tipo de motor y los datos de placa.

En este caso, la máquina devanadora posee motores asíncronos tipo jaula de ardilla [5], por lo que la manera adecuada para seleccionar los contactores y guardamotores es bajo una normativa.

La norma que se utiliza para protecciones en motores tipo jaula de ardilla asíncronos es la IEC 947 categoría AC3 [25].

---

<sup>8</sup> Contactor: es un dispositivo mecánico de conexión controlado por un electroimán con una operación tipo on/off. Cuando la bobina del electroimán se encuentra energizada, el contactor se cierra y completa el circuito, entra la fuente y la carga es a través de sus contactos de potencia.

<sup>9</sup> Guardamotor: Son dispositivos de protección contra cortocircuito, de corte tripolar. cumplen la función de protección contra cortocircuitos, cumpliendo adicionalmente la función de seccionamiento.

### **3.6.1.1 Ventajas que ofrecen contactores**

- Tienen la posibilidad de abrir o cerrar grandes corrientes a través de un dispositivo de baja corriente (bobina del contactor)
- Poseen un elevado número de maniobras.
- Adecuados para servicio intermitente y continuo (S1, S4).
- Son resistentes y confiables puesto que no contienen elementos internos delicados.

#### **3.6.1.1.1 Ventajas que brindan los guardamotores**

- Evitan corto circuitos en el sistema eléctrico.
- Ayudan a que el motor tenga un arranque suave, es decir que llegue a su pico de corriente en tiempo controlado.
- Son regulables según sea la necesidad de operación.

### **3.6.2 SELECCIÓN DE CONTACTORES**

Los contactores ayudan a poder controlar que los variadores de frecuencia que poseen los motores de los sistemas de devanado, enrollado y medición, no se activen al mismo tiempo.



La máquina posee cinco motores asíncronos tipo jaula de ardilla, por lo que se debe tomar en cuenta con la norma (IEC 947) para la selección de contactores mencionada anteriormente, a continuación se muestra el proceso de selección de contactores para cada motor.

- 1) Dato de placa del motor: el dato de placa es la información que todo motor debe tener (norma NEC 430-7 e IEC 34), como se muestra a continuación:

Para el sistema de devanado:

**Motores trifásicos 4 polos (1.800 rpm), 60Hz IP55**

Características básicas

No. de Depósito	Descripción						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">                     Datos de placa del motor                 </div>	 <p>Motor 4 polos Tipo 1LA7 160</p>		 <p>Motor 4 polos Tipo 1LA5 180</p>				
	Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia HP	Potencia kW	F.Servicio FS	Corriente (A)	
						220 VAC	440 VAC
100267001	1LA7112 -4YA60	112	5.0	3.73	1.15	15.8	7.9

¡Su motor es muy valioso!  
 Protéjalo úselo con prudencia.  
 SI  
 SI  
 MI

Figura 3.50. Datos de Placa de Motor de 5hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

Como se puede observar en la figura 3.50., son los datos de placa del motor de 5hp (sistema de devanado), en la cual se encuentran según la norma NEC 430-7 las características básicas del motor como son: motor trifásico de cuatro polos, 1800 rpm, frecuencia de 60Hz y el grado de protección (IP55)<sup>10</sup>.

Los datos de placa hace referencia a la norma IEC 34 mencionada anteriormente, como: el modelo o tipo de motor, potencia en este caso 5Hp, el factor de servicio<sup>11</sup> y la corriente nominal en este caso es 15,8[A].

2) Teniendo el dato de placa y el tipo de motor se escoge si es de baja, media o alta tensión.

<b>Alta Tensión</b>	<b>69Kv – 138Kv – 230Kv</b>
<b>Media Tensión</b>	<b>600V – 40 Kv</b>
<b>Baja Tensión</b>	<b>120V – 600v</b>

Figura 3.51. Niveles de Voltaje (rangos en Ecuador)

Fuente: eeq.com.ec [26]

<sup>10</sup> IP55: el grado de protección hace referencia al estándar IEC, por lo que es utilizado con frecuencia en datos técnicos de un motor. En este caso el grado IP55, se refiere a protecciones en contra de polvo y salpicaduras de agua como la lluvia.

<sup>11</sup> Factor de servicio de un motor: Determina la capacidad nominal en condiciones de sobrecarga de corriente.

Como se puede observar en la figura 3.51, muestra los rangos de voltaje según su conexión, para el caso de la máquina devanadora de conductores eléctricos se su conexión es trifásica (220 V), por lo que está en un rango de baja tensión al igual que todos sus elementos.

Teniendo potencia de placa del motor y la conexión que este caso es trifásica del sistema de devanado como se mencionó anteriormente, todos los elementos del sistema eléctrico de la máquina serán marca siemens como se explica en los capítulos uno y tres, por lo que se busca un contactor que cumpla con los requerimientos de corriente del motor como se muestra a continuación en la figura 3.52:

No. de Depósito	Descripción								
	Tipo	Reemplaza a:	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)		Contactos Auxiliares Inteligentes
					AC1	AC3	220 VAC	440 VAC	
100208184	3RT2024-1AG20	3RT1024-1AK61	120 VAC	S0	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC
100208264	3RT2024-1AN20	3RT1024-1AN10	220 VAC	S0	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC
100208186	3RT2025-1AG20	3RT1025-1AK61	120 VAC	S0	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC
100208266	3RT2025-1AN20	3RT1025-1AN10	220 VAC	S0	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC
100208188	3RT2026-1AG20	3RT1026-1AK61	120 VAC	S0	50	25	9.0	18.0	1NA+1NC
100208309	3RT2026-1AN20	3RT1026-1AN10	220 VAC	S0	50	25	9.0	18.0	1NA+1NC
100208190	3RT2027-1AG20	3RT1034-1AK61	120 VAC	S0	50	32	12.0	20.0	1NA+1NC
100208311	3RT2027-1AN20	3RT1034-1AN10	220 VAC	S0	50	32	12.0	20.0	1NA+1NC
100208192	3RT2028-1AG20	3RT1035-1AK61	120 VAC	S0	50	38	15.0	30.0	1NA+1NC
100208313	3RT2028-1AN20	3RT1035-1AN10	220 VAC	S0	50	38	15.0	30.0	1NA+1NC
100015194	3RT1036-1AG20	3RT1036-1AK60	120 VAC	S2	60	50	20.0	40.0	-
100015195	3RT1036-1AN20	3RT1036-1AN10	220 VAC	S2	60	50	20.0	40.0	-
100015206	3RT1044-1AG20	3RT1044-1AK60	120 VAC	S3	100	65	25.0	50.0	-
100015207	3RT1044-1AN20	3RT1044-1AN10	220 VAC	S3	100	65	25.0	50.0	-
100015218	3RT1045-1AG20	3RT1045-1AK60	120 VAC	S3	120	80	30.0	60.0	-
100015220	3RT1045-1AN20	3RT1045-1AN10	220 VAC	S3	120	80	30.0	60.0	-
100015234	3RT1046-1AG20	3RT1046-1AK60	120 VAC	S3	120	95	35.0	75.0	-
100016059	3RT1046-1AN20	3RT1046-1AN10	220 VAC	S3	120	95	35.0	75.0	-

Figura 3.52. Contactores de Baja Tensión 3RT20

Fuente: siemens.com.ec [19]

Así mismo para los contactores existen una variedad dependiendo el tipo de voltajes como se muestran a continuación:

Tabla 3.29. Contactores de Baja, Media y Alta Tensión

<b>Modelo de contactor</b>	<b>Voltaje de operación</b>	<b>Observaciones</b>
3RT	120-600 [V]	Contactores de baja tensión
3RF	600[V]-40[Kv]	Contactores de media tensión
3RC	69[Kv]-230[Kv]	Contactores de alta tensión

Como se observa en la tabla 3.29, se muestra la clasificación de contactores según el tipo de conexión, para el caso de la devanadora de conductores, los contactores a ser seleccionados son de baja tensión como se muestra en la figura 3.52. por lo que se dimensiona de acuerdo a su potencia de entrada.

En el caso del sistema de devanado con los datos de placa para la selección del contactor, se toma en cuenta la potencia de entrada de 5hp y la corriente nominal de 15,8[A], como se muestra en la figura 3.50.

3) Teniendo la corriente nominal (dato de placa del motor), se evalúa en una tabla de criterios de selección para aparatos de baja, media o alta tensión.

A continuación se muestra el tiempo de vida útil del contactor teniendo su corriente nominal (15,8 [A]) para el motor del sistema de devanado:

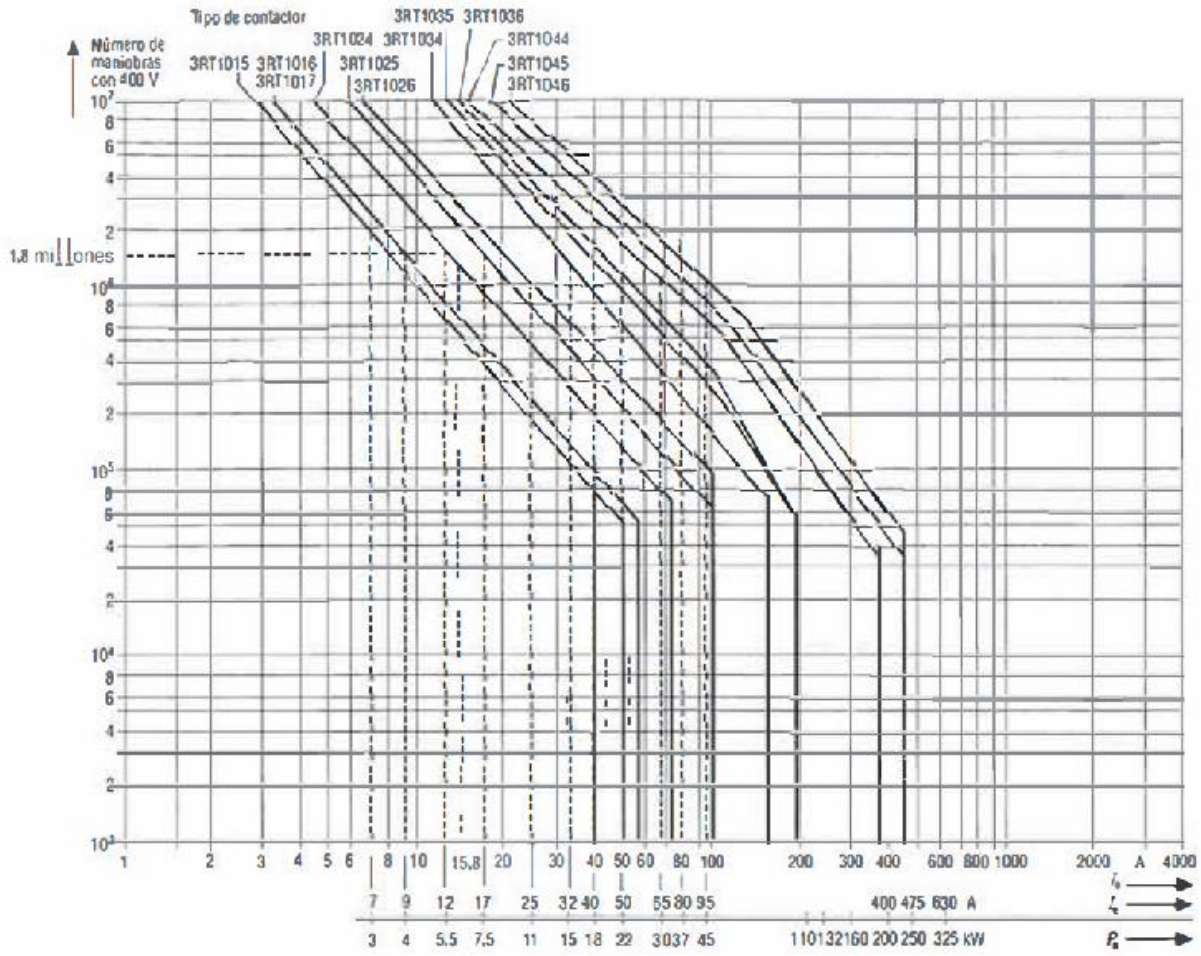


Figura 3.53. Selección de Contactores de Baja Tensión 3RT20

Fuente: Manual de Baja Tensión [27]

Finalmente, como se observa en la figura 3.53, indica el tiempo de vida de encendido y apagado del contactor. Para motor de 5hp con corriente nominal de placa 15,8 [A], indica que con el modelo 3RT2025, soporta un voltaje de 6hp mencionado anteriormente y además tiene un tiempo de vida entre encendidos y apagados aproximadamente de 1,8 millones de veces.

De esta manera se realiza el dimensionamiento bajo normas para la selección de contactores de baja tensión para los motores trifásicos. A continuación se muestra para los cuatro motores restantes el tipo de contactor a ser seleccionado.



### 3.6.2.1 Selección de contactores para el sistema de enrollado

A continuación se va seleccionar los contactores para el sistema de enrollado, ya que poseen variador de velocidad, y una manera de seguridad es colocar contactores para cada motorreductor. Para la selección se evalúa con las normas mencionadas anteriormente (NEC 430-7, IEC 947).

	Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia		F.Servicio FS	Corriente (A)	
			HP	kW		220 VAC	440 VAC
	<b>VELOCIDAD 1.800 rpm (4 polos)</b>						
100160473	1LA7070 - 4YA60	71	0.5	0.37	1.15	1.9	0.95
100160477	1LA7073 - 4YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45
100160482	1LA7080 - 4YA60	80	1.0	0.75	1.15	3.5	1.75
100160488	1LA7083 - 4YA60	80	1.5	1.12	1.15	5.0	2.5
100097677	1LA7090 - 4YA60	90	2.0	1.50	1.10	7.0	3.5
100160500	1LA7096 - 4YA60	90	3.0	2.20	1.10	9.6	4.8

Figura 3.54. Datos de Placa Motor de 3hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

Teniendo la potencia de entrada del motor (3hp) como se muestra en la figura 3.54., se procede a seleccionar el tipo de contactor de baja tensión (3RT20).

	Tipo	Reemplaza a:	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)	
					AC1	AC3	220 VAC	440 VAC
100176180	3RT2015-1AF01	3RT1015-1AK61	120 VAC	S00	18	7	2.0	4.0
100176182	3RT2015-1AP01	3RT1015-1AN21	220 VAC	S00	18	7	2.0	4.0
100176184	3RT2016-1AF01	3RT1016-1AK61	120 VAC	S00	22	9	3.0	6.0
100176186	3RT2016-1AP01	3RT1016-1AN21	220 VAC	S00	22	9	3.0	6.0
100208180	3RT2023-1AG20	3RT1023-1AK61	120 VAC	S0	22	9	3.0	6.0
100208182	3RT2023-1AN20	3RT1023-1AN10	220 VAC	S0	22	9	3.0	6.0

Figura 3.55. Contactor para Motor de 3hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

Como se puede observar en la figura 3.55, el contactor 3RT2023 es adecuado para los motores de 3hp, ya que soporta más que el voltaje y la corriente nominal de placa del motor asíncrono. Además el contactor tolera, entre encendidos y apagados un valor aproximado de 2,5 millones como se muestra en la figura 3.53.

### 3.6.2.2 Selección del contactor para el sistema medidor

De igual forma que los sistemas anteriores, para el dimensionamiento del contactor para el sistema medidor (2hp) se va utilizar las mismas normas (NEC 430-7, IEC 947) y los datos de placa del motor como se indica en la figura 3.56.

Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia		F.Servicio FS	Corriente (A)	
		HP	kW		220 VAC	440 VAC
<b>VELOCIDAD 3.600 rpm (2 polos)</b>						
1LA7070 - 2YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.4	1.2
1LA7073 - 2YA60	71	1.0	0.75	1.15	3.5	1.75
1LA7080 - 2YA60	80	1.5	1.12	1.15	5.3	2.65
1LA7083 - 2YA60	80	2.0	1.50	1.15	6.2	3.1

Figura 3.56. Datos de Placa del Motor de 2hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

De igual manera teniendo la potencia de entrada del motor (2Hp) como se muestra en la figura 3.57, se realiza el mismo proceso de selección del contactor de baja tensión (3RT20).

Tipo	Reemplaza a:	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)	
				AC1	AC3	220 VAC	440 VAC
				3RT2015-1AF01	3RT1015-1AK61	120 VAC	S00
3RT2015-1AP01	3RT1015-1AN21	220 VAC	S00	18	7	2.0	4.0

Figura 3.57. Contactor Compatible con Motor de 2hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

El contactor óptimo para el motor del sistema medidor es el modelo 3RT2015, ya que además soporta el voltaje y la corriente nominal de placa del motor trifásico.

Entre encendidos y apagados el contactor tiene un tiempo de vida aproximado de 2 millones, como se muestra en la figura 3.53.

## 3.7 SELECCIÓN DE GUARDAMOTORES

Como se mencionó anteriormente, los guardamotores son diseñados como protección en un sistema evitando sobrecargas y ayudando a censar de mejor manera la corriente eléctrica.

La norma para la selección de guardamotores es la IEC 947. En el sistema de la máquina devanadora posee cinco motores asíncronos, de los cuales tres de ellos poseen variadores de velocidad y contactores de protección. Los sistemas de brazos mecánicos y unidad hidráulica, como no poseen variadores de velocidad en necesario la implementación de guardamotores para evitar sobrecargas en el sistema de la máquina y protegerlo. Para ello se procederá a dimensionar cada uno de éstos sistemas.

### 3.7.1 SELECCIÓN DE GUARDAMOTORES PARA LOS SISTEMAS DE BRAZOS Y UNIDAD HIDRÁULICA

Se va dimensionar con ambos sistemas, ya que poseen la misma potencia de entrada ambos motores del sistema (3hp).

La norma que especifica a los tipos de guardamotores es la IEC 947 mencionada anteriormente, y establece distintas clases para la selección de guardamotores dependiendo la potencia de entrada del motor trifásico, como se muestra en la figura 3.57. y dependiendo de la clase del motor se selecciona el tipo de protección para los sistemas mencionados.

Clase	Tiempos de intervención			
	No disparo		Disparo	
	1.05 Ir	1.20 Ir	1.5 Ir	7.2 Ir
10A	> 2hs.	< 2hs.	< 2min.	2 a 10 seg.
10	> 2hs.	< 2hs.	< 4min.	4 a 10 seg.
20	> 2hs.	< 2hs.	< 8min.	6 a 20 seg.
30	> 2hs.	< 2hs.	< 12min.	9 a 30 seg.

Figura 3.58. Clases para los Tipos de Protección

Fuente: Comando y Protección de Motores E. [25]

La norma para motores asíncronos dice, que se considera motores tipo clase diez cuando no se supera el rango de los 15hp. En el caso de la máquina devanadora de conductores eléctricos, ninguno de los cinco motores supera ese valor, por lo tanto todos son clase diez.

Como se puede observar en la figura 3.58, el tiempo de disparo para llegar al pico de corriente teniendo las protecciones (guardamotores), es de 4 a 10 segundos.

Con los datos de placa de potencia y corriente nominal de los motores trifásicos (unidad hidráulica y sistema de brazos (3hp)), como se muestra en la figura 3.59. se realiza la respectiva selección de los guardamotores.

Tipo	Tamaño Constructivo	Potencia		F.Servicio FS	Corriente (A)	
		HP	kW		220 VAC	440 VAC
<b>VELOCIDAD 1.800 rpm (4 polos)</b>						
1LA7070 - 4YA60	71	0.5	0.37	1.15	1.9	0.95
1LA7073 - 4YA60	71	0.75	0.56	1.15	2.9	1.45
1LA7080 - 4YA60	80	1.0	0.75	1.15	3.5	1.75
1LA7083 - 4YA60	80	1.5	1.12	1.15	5.0	2.5
1LA7090 - 4YA60	90	2.0	1.50	1.10	7.0	3.5
1LA7096 - 4YA60	90	3.0	2.20	1.10	9.6	4.8

Figura 3.59. Datos de Placa motor de 3hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito
<b>Nuevos Guardamotores SIRIUS Innovations</b>				
3RV20 11 - 0JA10	3RV1011 - 0JA10	S00	0.7 - 1.0	13
3RV20 11 - 1AA10	3RV1011 - 1AA10	S00	1.1 - 1.6	21
3RV20 11 - 1BA10	3RV1011 - 1BA10	S00	1.4 - 2.0	26
3RV20 11 - 1CA10	3RV1011 - 1CA10	S00	1.8 - 2.5	33
3RV20 11 - 1DA10	3RV1011 - 1DA10	S00	2.2 - 3.2	42
3RV20 11 - 1EA10	3RV1011 - 1EA10	S00	2.8 - 4.0	52
3RV20 11 - 1FA10	3RV1011 - 1FA10	S00	3.5 - 5.0	65
3RV20 11 - 1GA10	3RV1011 - 1GA10	S00	4.5 - 6.3	82
3RV20 11 - 1HA10	3RV1011 - 1HA10 ó 3RV1021 - 1HA10	S00	5.5 - 8.0	104
3RV20 11 - 1JA10	3RV1011 - 1JA10 ó 3RV1021 - 1JA10	S00	7.0 - 10.0	130
3RV20 11 - 1KA10	3RV1011 - 1KA10 ó 3RV1021 - 1KA10	S00	9.0 - 12.0	163

Figura 3.60. Guardamotor para Motor de 3hp

Fuente: siemens.com.ec [19]

Teniendo la corriente nominal de placa del motor de 3hp (9,6[A]), se busca por catálogo un guardamotor que entre en el rango de la corriente mencionada. Como se puede observar en la figura 3.60. se tiene el modelo o el tipo, y la capacidad máxima de corriente que se puede regular, que en este caso es de nueve a doce amperios y que además entra en el rango del dato de placa de los motores para los sistemas de brazos y unidad hidráulica.

### 3.8 DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR PARA EL SISTEMA DE CONTROL

La máquina devanadora de conductores eléctricos, se alimenta con una red trifásica (220 [V]), por lo que el sistema de control funciona a 110[V], entonces se dimensionará un transformador para que transforme la energía de 220 [V] a los 110[V], que es lo requiere el sistema de control de la máquina.

Para este proceso, lo que es necesario saber es la corriente máxima del sistema de control.

Se recuerda que el sistema de control está compuesto por el PLC siemens s7-1200, los módulos adicionales, inductores (bobinas), etc. Aproximadamente posee una corriente máxima (I) de 10[A].

La potencia eléctrica viene dado por la fórmula:

$$P_E = V * I \quad \text{Ecuación 3. 25}$$

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} P_E = \text{es la potencia eléctrica a encontrar} \\ V = \text{voltaje de operación (110 [V])} \\ I = \text{corriente máxima del sistema de control (10[A])} \end{array} \right\}$$

*se reemplaza:*

$$P_E = 110[V] * 10[A]$$

$$P_E = 1100 [VA] = 1.10[KVA]$$

Como se puede observar, se necesita un transformador de mínimo 1.10 [KVA] (kilovoltio amperios), que ésta es la unidad de cómo se dimensiona un transformador de corriente.

### 3.9 DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR PARA LA RED TRIFÁSICA

Como se mencionó anteriormente, la máquina devanadora de conductores se conecta directamente a una red trifásica por lo que es necesario dimensionar el transformador de

alimentación central, para evitar problemas al conectar la máquina y sus componentes eléctricos.

Las empresas eléctricas de todo el país poseen una red trifásica de 560 [V], entonces partiendo con éste dato de tensión (V) y aplicando la normativa para transformadores de voltaje trifásicos se hace el dimensionamiento para la máquina.

Se consideran transformadores de baja tensión desde un rango de 230 [V] hasta los 1000 [V]. La normativa que se aplica para dimensionamiento de transformadores de baja tensión es la IEC 947-4 [27].

Para dimensionar el transformador que necesita la máquina devanadora para Eeasa, se debe obtener el factor de potencia (Fp) y las corrientes nominales ( $I_N$ ), que son datos de placa para cada uno de los motores asíncronos.

Tabla 3.30. Datos de Placa de Cada Motor de la Máquina Devanadora

<b>Tipos de motores</b>	<b>Factor de potencia (Fp)</b>	<b>Corriente nominal (<math>I_N</math>)</b>
5hp	0,86	15,8[A]
3hp	0,86	7[A]
2hp	0,84	9,6[A]

Como se observa en la tabla 3.30, se tiene los tres tipos de motores de todo el sistema de la máquina, el factor de potencia y corriente nominal que son datos de placa de cada motor. Teniendo estos datos de placa se puede encontrar la potencia aparente (S), para luego hallar la potencia total del sistema, y así poder dimensionar el transformador general de operación de la máquina.

### 3.9.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA APARENTE (S) DE CADA MOTOR

La potencia aparente para un sistema eléctrico trifásico viene dado por la ecuación:

$$S = I_N * Fp * V \quad \text{Ecuación 3. 26}$$

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} S = \text{potencia aparente} \\ I_N = \text{corriente nominal de placa del motor} \\ Fp = \text{factor de potencia} \\ V = \text{voltaje de operación trifásico (220[V])} \end{array} \right\}$$

con estos datos se encuentra la "S" de cada motor:

- 1)  $S$  del motor de 5Hp =  $15,8[A] * 0,86 * 220[V] = 2,9 [KVA]$
- 2)  $S$  del motor de 3Hp =  $9,6[A] * 0,86 * 220[V] = 1,8[KVA]$
- 3)  $S$  del motor de 2Hp =  $7[A] * 0,84 * 220[V] = 1,2 [KVA]$

Se suman el total de todas las potencias aparentes encontradas (S), además es necesario incluir el valor de potencia total del sistema de control (1,10 [KVA]) encontrado en el dimensionamiento del transformador, para el sistema de control.

$$S_{Total} = 2,9 [KVA] + 1,8 [KVA] + 1,2 [KVA] = 5,9[KVA] + 1,10[KVA]$$

$$S_{Total} = 7 [KVA]$$

Como se puede observar, la potencia total del sistema de la máquina devanadora de conductores eléctricos es de 7 [KVA], es decir que la máquina necesita un transformador de mínimo siete kilovoltio amperios para conectarse a la red trifásica de la Eeasa.

### 3.10 DIMENSIONAMIENTO DEL BREAKER PRINCIPAL

La máquina se alimenta con una red trifásica (220[V]) como se mencionó anteriormente. Es importante colocar un breaker de baja tensión para conexión y desconexión de todo el sistema eléctrico, ya que si se necesita realizar mantenimientos en la máquina tanto en la parte de control como mecánica, debería desconectarse por un breaker principal (Anexo I). La normativa para dimensionar los breaker es la IEC 947 en baja tensión [27].

Para el dimensionamiento del breaker se necesita saber los datos de corriente nominal de placa de los motores, la corriente del sistema de control (PLC, módulos adicionales) y los sistemas de protección (guardamotores y contactores dimensionados) y así obtener la corriente total del sistema de la máquina.

Corriente total de motores (datos de placa):

*motor de 5Hp = sist. devanado = 15,8 [A]*

*motor de 3Hp = sist. enrollado, brazos mecánicos, unidad hidraulica = 9,6[A]*

*motor de 2Hp = sist. medidor = 7[A]*

*motor de 1Hp = sist. movimiento de la máquina = 3,5[A]*

Teniendo estos datos de placa de los motores de la máquina, se suma todas las corrientes nominales:

$$\begin{aligned} \text{sumatoria de corrientes total} &= I_{Total} \\ I_{Total \text{ motores}} &= 15,8[A] + 9,6[A] + 7[A] + 3,5[A] \\ I_{Total \text{ motores}} &= 35,9 [A] \end{aligned}$$

Corriente total de sistema de control:

Tabla 3.31. Datos de Corriente del Lazo de Control

<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Corriente nominal</b>	<b>Suma total</b>
PLC s7-1200 (siemens)	1	2[A]	2[A]
Módulos siemens	2	1[A] por módulo	1[A]+1[A]=2[A]
Contactores y guardamotores	8	0,25 miliamperios	8*0,25[mA]=4[A]

Una vez teniendo la corriente total del sistema de control, se suma la corriente del lazo de control y la corriente total de los motores como se muestra en la tabla 3.31., para luego



multiplicar por el factor de seguridad eléctrico <sup>12</sup> (1,2), y así saber la capacidad de corriente máxima de la máquina con una sobrecarga. El breaker principal se desconecta automáticamente si sobre pasa los límites mencionados.

Suma total del sistema eléctrico:

$$(I_{Total\ motores} + I_{control}) * Fp(\text{factor de potencia}) = I_{Total\ máxima}$$

$$(35,9[A] + 8[A]) * 1,2 = 52,68[A] = I_{Total\ máxima}$$

Como se puede observar la corriente total máxima de todo el sistema es de 52,68[A], haciendo funcionar a todos los motores del sistema al mismo tiempo, cosa que no sucede con la máquina devanadora de conductores eléctricos. Como se menciona en los capítulos anteriores, la máquina funciona dependiendo el sistema que se desee operar el operador.

La corriente más elevada que posee el sistema es el funcionamiento del sistema de devanado (15,8[A]) con el sistema medidor (7[A]) que sumados nos da un equivalente de 22,8[A].

Ya teniendo la corriente total del sistema se dimensiona el breaker. Como el sistema es trifásico, el sistema necesita un breaker de tres polos de mínimo 53 [A] como se muestra en la figura 3.61.



Figura 3.61. Breaker de Tres Polos 60[A] Máximo/400 [V]

Fuente: [siemens.com.ec](http://siemens.com.ec) [19]

<sup>12</sup> Factor de seguridad: Indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos y se multiplica por 1,2 en baja tensión y 1,5 en media tensión. .

Una vez dimensionado el breaker principal del sistema eléctrico de la máquina, se va dimensionar el calibre del cable de alimentación para alimentar con corriente trifásica (220[V]) la máquina devanadora.

### 3.11 DIMENSIONAMIENTO DEL CABLE DE ALIMENTACIÓN

Teniendo la corriente máxima del sistema eléctrico (52,68 [A]), se calculará el cable adecuado o la línea de corriente en alterna, para la alimentación de la máquina devanadora de conductores eléctricos, aplicando la norma IEC 60 909 (cálculo de corrientes en redes trifásicas) [28], que viene dado por la fórmula:

$$S_{cc} = \frac{\sqrt{3} * L * I_{Total\ máxima} * Fp}{K * S_{cable}} \quad \text{Ecuación 3. 27}$$

$$\text{donde: } \left\{ \begin{array}{l} S_{cc} = \text{tensión a ser calculada del cable} \\ L = \text{longitud del cable a la línea de alimentación (10 m)} \\ I_{Total\ máxima} = \text{corriente máxima del sistema (52,68[A])} \\ Fp = \text{factor de potencia de motores trifásicos (0,8)} \\ S_{cable} = \text{Superficie del cable de acuerdo al calibre del cable (5,261 mm) figura 3.53} \\ K = \text{constante de conductividad } \left( 56 \left[ \frac{m}{\Omega * mm^2} \right] \right) \end{array} \right.$$

Para encontrar la superficie del cable se necesita saber la corriente máxima de consumo de la máquina  $I_{Total\ máxima}$  (52,68[A]), para luego escoger el calibre y la superficie como se muestra en la tabla 3.31.

Calibre AWG - MCM	Sección Real (mm <sup>2</sup> )	Intensidad Admisible (Amperios)
14	2.081	30
12	3.309	40
10	5.261	55
8	8.366	70
6	13.300	100
4	21.150	130
3	26.670	150
2	33.630	175
1	42.410	205
1/0	53.480	235
2/0	67.430	275
3/0	85.030	320
4/0	107.200	370
250 MCM	126.700	410
300 MCM	151.000	460

Figura 3.62. Dimensionamiento de Cables Eléctricos (IEC 60 909)

Fuente: electricidad-gratuita.com [29]

Como se muestra en la figura 3.62., se puede dimensionar el cable de alimentación teniendo la corriente, la sección real o superficie del cable y el calibre, en este caso se tiene la corriente máxima del sistema.

Teniendo los datos correspondientes se reemplaza:

$$S_{cc} = \frac{\sqrt{3} * 10 [m] * 52,68[A] * 0,8}{56 \left[ \frac{m}{\Omega * mm^2} \right] * 5,261 mm^2}$$

$$S_{cc} = 2,47[V]$$

Con el dato de corriente y tensión, se tiene que escoger un cable de calibre mínimo 10 AWG-MCM (figura 3.53.) para la conexión de la máquina a la red trifásica (220[V]), como se menciona en el capítulo primero.

A éste valor de tensión calculado (2,47[V]), se lo expresa en porcentaje (%) como se muestra a continuación:

Voltajes	Porcentaje
220 [V]	100%
2,47[V]	x

Solución:

$$x = \frac{2,47[V] * 100\%}{220[V]} = 1,12\%$$

El resultado de la caída de tensión se expresa en porcentaje, ya que la norma para el dimensionamiento de cables eléctricos IEC 60 909 dice, que la caída de tensión de un cable no debe superar el 3%. Por lo que, el cable calibre 10 AWG es el adecuado para conectar la máquina devanadora de conductores a la red trifásica (220[V]).

### 3.12 IMPLEMENTACIÓN DEL HMI

Para la implementación del HMI, lo primero que se realizará es la conexión entre el PLC s7-1200 siemens y Visual Basic<sup>13</sup> (PC), a través de la una OPC (librería de comunicación) compatible con el PLC y el visual studio, para luego diseñar las pantallas de operación.

Para el diseño de pantallas es importante saber las variables de visualización, pulsantes y las de escritura que contiene la programación del PLC, y así declararlas en visual studio. El sistema de control por HMI de la máquina poseerá cinco pantallas, la pantalla principal (control general y llamado de las pantallas restantes), otra para ingreso de los conductores (dónde se detallará el tipo de conductor, cantidad en metros, etc.), egreso de cables (tipo de conductor, cantidad en metros, etc.), otra de registro de clientes (clientes nuevos de la empresa) y finalmente la etiqueta para impresión de reportes y saldos de los conductores y clientes que posee la Eeasa. Como se menciona en los capítulos anteriores, el HMI poseerá una base de datos pequeña diseñada en Oracle Express Edition 11.0, para registro de los clientes y conductores eléctricos de la Eeasa.

<sup>13</sup> Visual Basic: es una herramienta que se utiliza para el desarrollo gráfico del sistema operativo en Windows y se maneja por eventos a través de objetos.

Por otro lado, para la comunicación entre Oracle y Visual Basic 2010, es necesaria de igual manera una librería de comunicación para envío de datos.

Como se menciona en el capítulo primero, el diseño del HMI poseerá un botón de impresión de reportes, por cada finalización de trabajo en el equipo, ya sea por devanar o enrollar el conductor eléctrico, el reporte de cada trabajo se obtendrá a través de una impresora térmica y al mismo tiempo guardará en la base de datos mencionada.

### **3.13 PLC Y PC**

Para el control del PLC s7-1200 es indispensable la incorporación de una PC tipo laptop personal, como se mencionó anteriormente, ya que teniendo las variables del programa en el PLC se logre monitorear conjuntamente con el HMI las variables de todo el sistema (Anexo F).

Lo primero que se debe establecer es el protocolo de comunicación (OPC), entre el PLC y la PC.

#### **3.13.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y LA PC**

Para la comunicación entre el PLC y el PC (visual basic), existe un protocolo de comunicación para el monitoreo de las variables del PLC s7-1200 y así controlar a todo el sistema de la máquina.

Los protocolos de comunicación o librerías que permiten la comunicación, visualización y monitoreo de las variables del sistema son: OPC cliente.vb (visualizador de variables del PLC al HMI), OPC cliente.designer.vb (librería de diseño y programación en visual studio) y la OPC cliente.resx (librería de respaldo de archivos). Para la comunicación entre visual basic y Oracle Express Edition 11.0, de igual forma para el diseño de bases de datos, control de los clientes y conductores eléctricos, la librería de comunicación OPC-PC es la Oracle.dataAccess.Client, que permite el acceso y creación de tablas desde el HMI a la base de datos Oracle (más detalles anexo H).

### 3.13.2 VARIABLES DE CONTROL HMI-PLC

Como se menciona anteriormente, para el diseño de pantallas y monitoreo de la máquina en visual basic 2010, es necesario saber los tipos variables del PLC a ser controladas por el HMI como: pulsantes, variables de escritura, lectura e indicadores como se muestra en el anexo F.

Teniendo las variables mencionadas, se procede a diseñar la pantalla principal en visual basic para el control de la máquina.

Para poder controlar las variables a monitorear, afortunadamente existe una interfaz que permite observar el monitoreo de cada variable que tiene el PLC conocida como PC Access SP4 (interfaz de monitoreo de variables del PLC) como se observa en la figura 3.63.

### 3.14 DISEÑO DE PANTALLAS EN VISUAL STUDIO (HMI)

Nombre	Dirección	Tipo de datos	Acceso	Comentario
Velocidad Linea	VD34	DINT	RW	
Stop para Velocidad...	VD10	DINT	RW	
Resetear Contador	V0.0	BOOL	RW	
Reset Fallas	V0.4	BOOL	RW	
Recorrido Medidor	VD38	DINT	RW	
Rearmar Bobinador	V1.1	BOOL	RW	
Programar Metros	VD2	DINT	RW	
Preset 2	VD18	DINT	RW	
Preset 1	VD14	DINT	RW	
Para Hydraulica	V0.6	BOOL	RW	
Metros Medidos	VD30	REAL	RW	
Mensajes Emergencia	VD42	DINT	RW	
Jogger Espaciador	V46.0	BOOL	RW	
Jog Sistema	V0.3	BOOL	RW	
Izquierda	VD26	DINT	RW	
Enrollar	V0.2	BOOL	RW	
Encender Hydraulica	V0.5	BOOL	RW	
Diametro cable	VD6	DINT	RW	
Derecha	VD22	DINT	RW	
Corte	V1.1	BOOL	RW	
Bobinar	V0.1	BOOL	RW	
Avanza Izquierda	V1.0	BOOL	RW	
Avanza Derecha	V0.7	BOOL	RW	
Apagar Unidad Hydr...	V0.6	BOOL	RW	

Pulsantes: son tipo Bool en PC Access

Variables de lectura y escritura: Dint

Estado: on/off si se acciona

Estado: OFF

Figura 3.63. Variables de PLC en PC Access

### 3.15 DISEÑO DE PANTALLAS EN VISUAL STUDIO (HMI)

La pantalla principal debe ser de fácil acceso y entendimiento para la persona que vaya a operar el sistema de control de la máquina devanadora de conductores eléctricos.

Como se observa en el anexo F, se detalla el diseño de la pantalla principal del HMI y explica la función de cada variable, ya sea tipo pulsante, lectura y escritura con la ayuda de la interfaz (Pc Access).

Con el diseño de la pantalla de principal, como se observa en la figura 3.64, se realiza la programación para el llamado de las pantallas restantes (figuras 3.64-3.69).

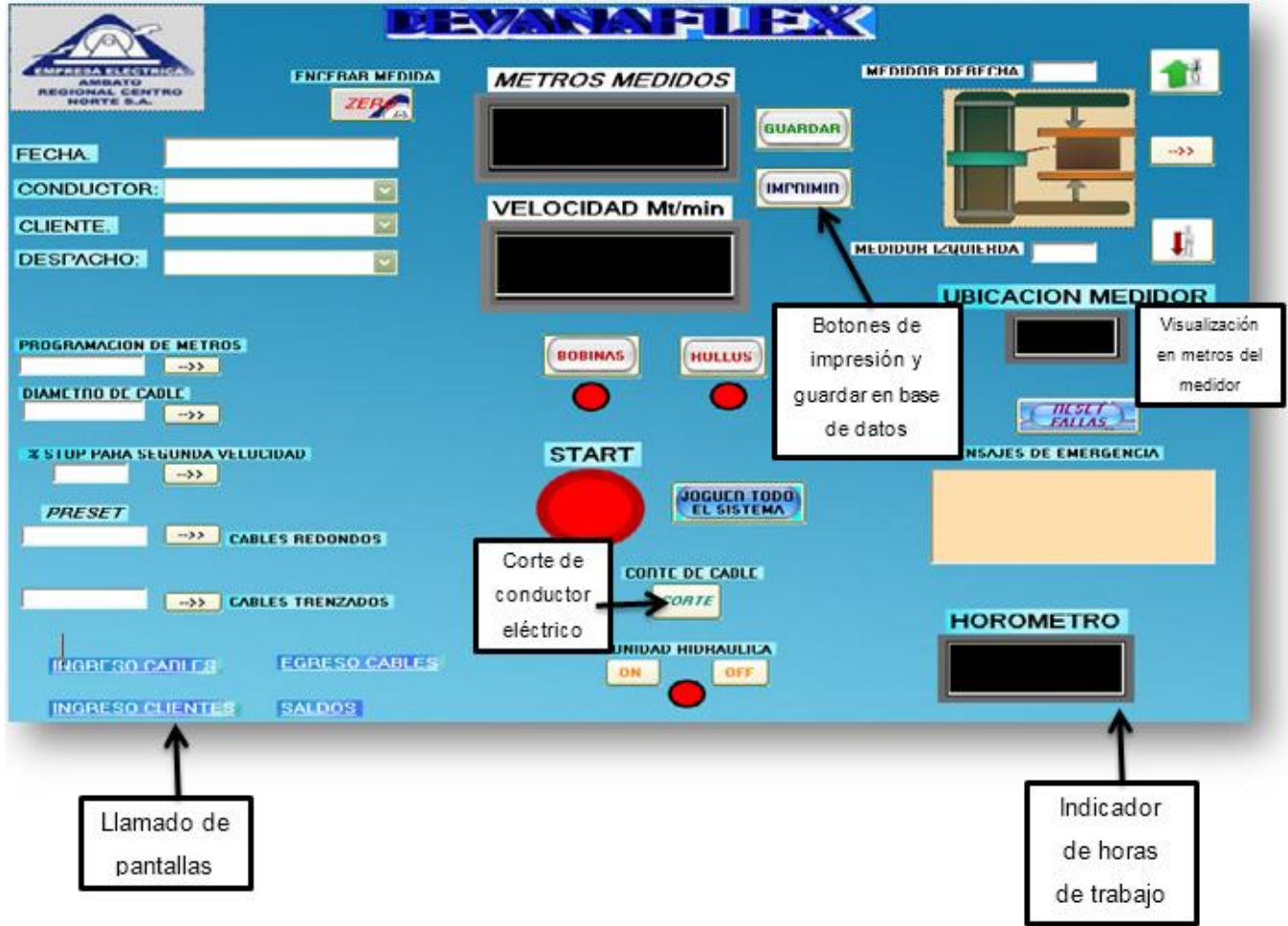


Figura 3.64. Pantalla Principal HMI DEVANAFLEX (Anexo F)

EMPRESA ELECTRICA  
AMBATO  
REGIONAL CENTRO  
NORTE S.A.

**INGRESO DE CABLES**

TIPO\_CONDUCTOR CANTIDAD (Mtrs) PROVEDOR FECHA

Se inserta los datos y luego se actualiza en botón actualizar

INSERTAR\_DATOS

ACTUALIZAR

Figura 3.65. Pantalla de Ingreso de Conductores Eléctricos

EMPRESA ELECTRICA  
AMBATO  
REGIONAL CENTRO  
NORTE S.A.

**EGRESO DE CABLES**

BUSQUEDA

TIPO\_CONDUCTOR CANTIDAD CLIENTE FECHA

Búsqueda por el tipo de conductor y luego botón de confirmación

CONFIRMAR

Figura 3.66. Pantalla Egreso de Conductores Eléctricos

EMPRESA ELECTRICA  
AMBATO  
REGIONAL CENTRO  
NORTE S.A.

**Datos del Cliente**

REGISTRAR

Figura 3.67. Ingreso de Nuevos Clientes





Figura 3.68. Saldos de Conductores Eléctricos



Figura 3.69. Pantalla para Impresión de Reportes de Trabajo (devanado o enrollado)

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describe la construcción de la máquina devanadora de conductores eléctricos paso a paso, incluyendo todos los elementos tanto de la parte mecánica, eléctrica, la de control y monitoreo de la máquina. Se puede evidenciar la construcción de la máquina a través de fotografías, y como resultado final la máquina ensamblada y funcionando.

#### 4.1 CONSTRUCCIÓN MECÁNICA

Como primer paso, se realiza el diseño de la máquina en Solid Edge versión St5 (software de la siemens) como se muestra en la figura 4.1.

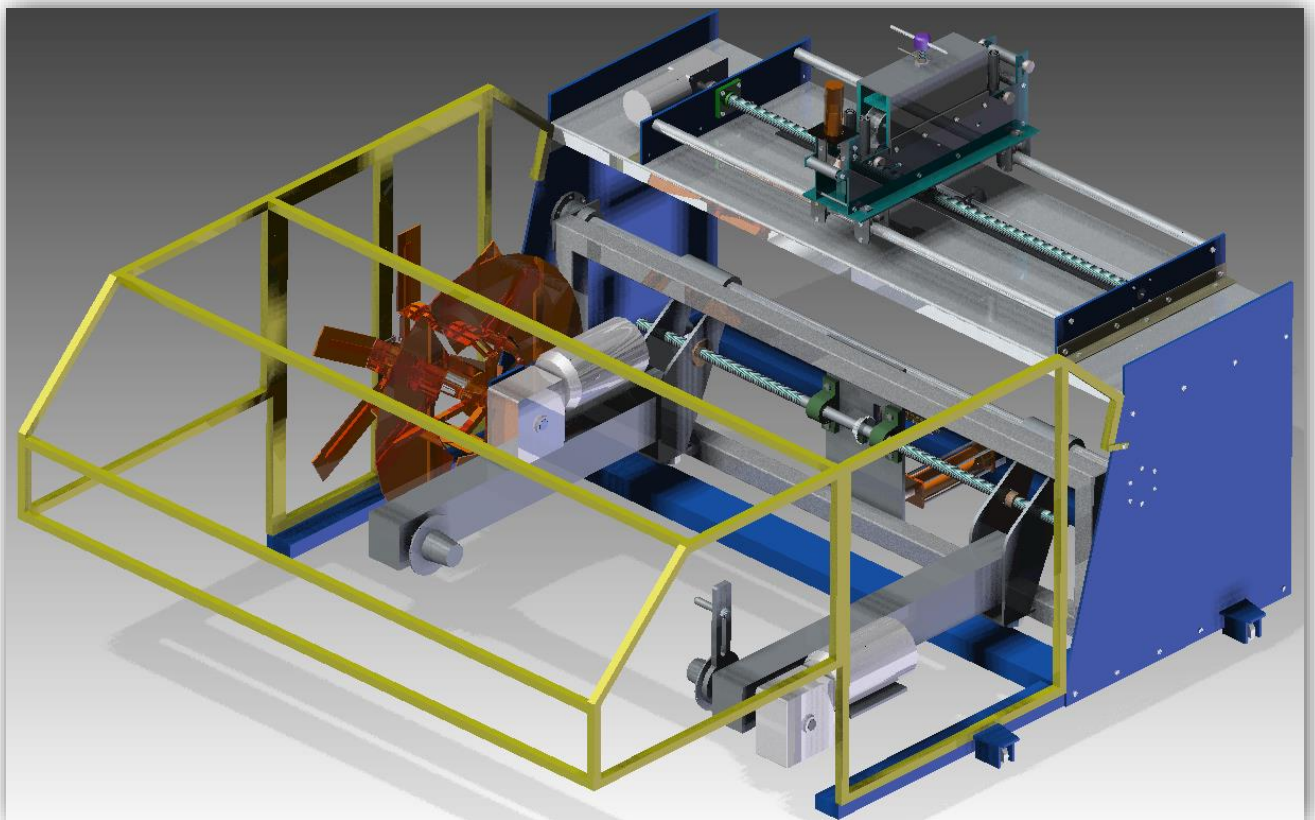


Figura 4.1. Diseño de la Máquina Devanadora en Solid Edge St5

Teniendo el diseño de la máquina se realizó un análisis (cálculo estructural y dimensionamiento de materiales) como se muestra en el capítulo tercero, para luego proceder con el armado de la estructura de la máquina (base principal y soportes de los sistemas de la máquina), como se muestra en la figuras 4.2 y 4.3.



Figura 4.2. Construcción de la Estructura



Figura 4.3. Construcción de la Estructura

Una vez finalizada la construcción de la estructura mecánica, se realiza la construcción del sistema medidor, con sus partes respectivas (ruedas de ajuste, tornillo sin fin, ejes, etc.) como se muestra en la figuras 4.4 y 4.5.



Figura 4.4. Construcción Sist.Medidor



Figura 4.5. Construcción Sist.Medidor

Teniendo el armado del sistema medidor, se procede a la construcción del sistema de devanado y enrollado, como se muestra a continuación en las figuras 4.6 y 4.7.



Figura 4.6. Construcción Sist.Enrollado



Figura 4.7. Construcción Sist.Devanado

Como se muestra en las figuras 4.8-4.12, se indica de como se realiza el montaje de motores, tornillos y demás elementos de la máquina devanadora de conductores eléctricos.

La alineación de motores, cajas reductoras y manómetros, se lo realiza en “Metrologic”, empresa dedicada a la calibración y alineación de motores, manómetros y todo equipo de medición bajo certificación.

Con la experiencia que tiene la empresa Protecnycom en el diseño de máquinas medidoras, ya posee un modelo acerca de la ubicación de cada parte y pieza que componen las máquinas medidoras, como es el caso de la máquina DEVANAFLEX PDM-MIX2000 (más detalles en el anexo J).



Figura 4.8. Alineación de Tornillos y Pernos

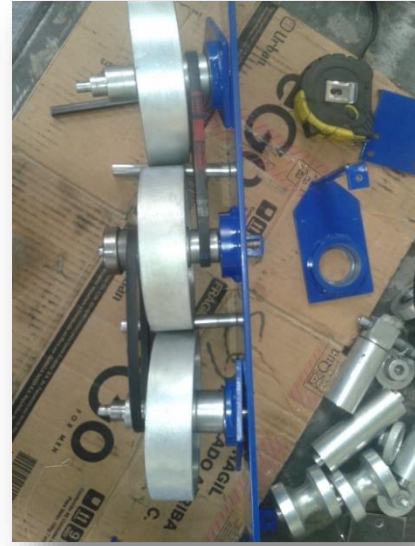


Figura 4.9. Alineación de Poleas y Rodamientos

Con el diseño bajo el criterio de tolerancias y ajustes (figura 3.9.), existe un rango de seguridad que permite que la fabricación de piezas de la máquina devanadora de conductores eléctricos, sea bajo cierta variación en las medidas. Eso permite que exista una diferenciación máxima admisible, es decir, que acepta una diferencia mínima en la construcción de cada pieza de la máquina, para que en la fabricación y el montaje poder alinear fácilmente todos los materiales que la componen.



Figura 4.10. Alineación de Motores



Figura 4.11. Alineación de Motores Brazos M.



Figura 4.12. Alineación de Motores Sist. Enrollado y Devanado

Como se muestra en la figura 4.13-4.15., se procede a construir implementar el sistema hidráulico, para luego pintar la estructura y los sistemas de la máquina.



Figura 4.13. Estructura Mecánica Pintada

## 4.2 IMPLEMENTACIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Como primer paso teniendo toda la parte mecánica armada, se procede a implementar los motores eléctricos en cada uno de los sistemas (devanado, enrollado, medidor, unidad hidráulica y sistema de brazos) como se muestra a continuación.



Figura 4.14. Sistema de Brazos Mecánicos



Figura 4.15. Sistema Hidráulico



Figura 4.16. Motor sistema de Brazos



Figura 4.17. Motor Sistema Devanado y Enrollado

Teniendo los sistemas de la máquina devanadora armados, se procede a colocar los fines de carrera (sensores inductivos) en el sistema medidor y el medidor de pulsos para contabilizar los metros de cable, como se muestra a continuación.





Figura 4.18. Colocación Contador de Metros y Fines de Carrera

A continuación se inserta el tablero eléctrico dimensionado en el capítulo tercero en donde se encuentran las protecciones eléctricas (contactores, guardamotores, relés, etc.), PLC, módulos adicionales, variadores de velocidad, transformador para la parte de control, etc como se indica en las figuras 4.19.



Figura 4.19. Colocación de Elementos Eléctricos en el Gabinete Metálico

Finalmente en la parte eléctrica, se coloca el cableado de todo el sistema del tablero eléctrico, ya que es ahí donde se alimenta todos los sistemas de la máquina devanadora, como se muestra en la figura 4.20.



Figura 4.20. Sistema de Control de la Máquina

### 4.3 PRUEBAS Y RESULTADOS

Es necesaria la realización de pruebas de funcionamiento de la máquina devanadora de conductores eléctricos (PDM-MIX 2000), para obtener resultados y poder sacar conclusiones del trabajo. Las pruebas que se van a realizar son las siguientes:

- Prueba con el sistema de devanado y medidor
- Prueba con el sistema de enrollado y medidor

#### 4.3.1 PRUEBA1 - SISTEMA DE DEVANADO CON EL CONDUCTOR ELÉCTRICO (Ø 10 MM)

El sistema medidor tiene sincronización de velocidad con los sistemas de devanado y enrollado como se detalla en el capítulo tercero.

Las pruebas que se realizaron en el sistema de devanado y medidor, fueron con los conductores eléctricos más pequeños y grandes que posee Eeasa, a velocidades mínimas (5rpm) y máximas (80 rpm) como se muestra a continuación:

Tabla 4.1. Prueba Sist. Devanado del Conductor Eléctrico (ø10mm)

Prueba	Metros devanados	Tipo de conductor	Tiempo y velocidad mínima (5rpm)	Tiempo y velocidad máxima (80 rpm)
1	1800	Concéntrico (3x12) ø10 mm	216 min	14 min
2	900	Concéntrico (3x12) ø10 mm	120 min	7,5 min
3	450	Concéntrico (3x12) ø10 mm	65 min	3,90 min
4	200	Concéntrico (3x12) ø10 mm	32,5 min	2 min
5	100	Concéntrico (3x12) ø10 mm	16 min	1 min

Como se observa en la tabla 4.1, se realizó la prueba con el conductor más pequeño (ø10mm) y el carrete más grande (ø 1,6 metros) que posee Eeasa. El resultado muestra el funcionamiento y diferencia de velocidades en el tiempo.

La figura 4.21 muestra la velocidad mínima y la cantidad de metros medidos del conductor eléctrico.

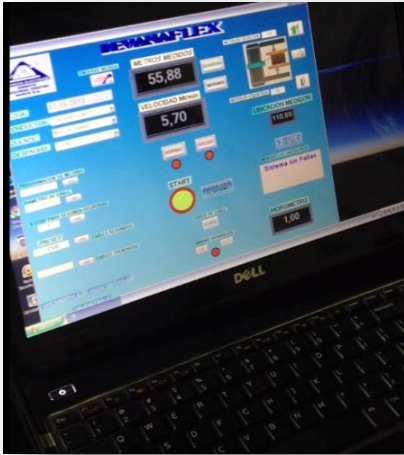


Figura 4.21. Pantalla de Visualización de la Máquina Devanadora (HMI)

La cantidad de metros que contenga un carrete, depende del diámetro del conductor.

**4.3.1.1 Prueba 2 - sistema de devanado con el conductor más eléctrico (Ø 40 mm)**

La prueba que se realizó de igual forma fue la de devanado con el conductor más grande (Ø 40 mm) que posee la empresa eléctrica.

La cantidad de metros que entran en un carrete, depende del diámetro del conductor, es decir, menor diámetro del conductor mayor cantidad de metros entran en un carrete. Para éste caso, la cantidad máxima que entra en el carrete de 1,6 metros es 450 metros como se muestra a continuación:

Tabla 4.2. Prueba Sist. Devanado del Conductor Eléctrico (Ø 40mm)

Prueba	Metros devanados	Tipo de conductor	Tiempo y velocidad mínima (5rpm)	Tiempo y velocidad máxima (80 rpm)
1	450	750 MCM (Ø 40mm)	84 min	3,58 min
2	225	750 MCM (Ø 40mm)	46 min	1,90 min
3	112	750 MCM (Ø 40mm)	25 min	1 min
4	50	750 MCM (Ø 40mm)	13 min	0,60 min
5	25	750 MCM (Ø 40mm)	5 min	0,15 min

La tabla 4.2 muestra los diferentes tiempos que demora en devanar el conductor más grande a la mínima y máxima velocidad, la diferencia es notable. Es por eso que se recomienda no devanar el conductor eléctrico su máxima velocidad por seguridades.

**4.3.2 PRUEBA 3 – SISTEMA DE ENROLLADO CONDUCTOR (Ø 10 MM)**

Igual que el sistema de devanado, se realizó con dos tipos de conductores (pequeño y grande) que posee Eeasa en el sistema de enrollado.

La capacidad máxima que puede enrollar el enrollador con un conductor pequeño (Ø 10 mm), es de 762 metros. El sistema de enrollado posee una velocidad máxima de 60 rpm por seguridad técnica (detalles capítulo tercero)

Partiendo con esta referencia se realizó las pruebas que se muestran a continuación.

Tabla 4.3. Prueba Sist. Enrollado Conductor Eléctrico ( $\varnothing$  10mm)

Prueba	Metros enrollados	Tipo de conductor	Tiempo y velocidad mínima (5rpm)	Tiempo y velocidad máxima (60 rpm)
1	762	Concéntrico (3x12) $\varnothing$ 10 mm	162 min	10,15 min
2	380	Concéntrico (3x12) $\varnothing$ 10 mm	81 min	5,50 min
3	200	Concéntrico (3x12) $\varnothing$ 10 mm	43 min	2,60 min
4	100	Concéntrico (3x12) $\varnothing$ 10 mm	20 min	1,50 min
5	50	Concéntrico (3x12) $\varnothing$ 10 mm	10 min	0,50 min

#### 4.3.2.1 Prueba 4 – sistema de enrollado conductor ( $\varnothing$ 40 mm)

Con el conductor más grande que posee Eeasa (MCM 750), la capacidad máxima de enrollado que posee el sistema es 76 metros. Las pruebas de velocidad y tiempo se detallan a continuación en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Prueba Sist. Enrollado del Conductor Eléctrico ( $\varnothing$  40mm)

Prueba	Metros enrollados	Tipo de conductor	Tiempo y velocidad mínima (5rpm)	Tiempo y velocidad máxima (60 rpm)
1	76	750 MCM ( $\varnothing$ 40mm)	16,17 min	1,34 min
2	40	750 MCM ( $\varnothing$ 40mm)	9 min	0,70 min
3	20	750 MCM ( $\varnothing$ 40mm)	4,30 min	0,42 min
4	10	750 MCM ( $\varnothing$ 40mm)	2,12 min	0,19 min
5	5	750 MCM ( $\varnothing$ 40mm)	1,05 min	0,10 min

De igual manera como en el sistema de devanado, se recomienda no utilizar su máxima velocidad en el sistema de enrollado para seguridad de los operarios.

### 4.4 ERRORES DE MEDICIÓN<sup>14</sup>

Para determinar el error de medida de los conductores eléctricos se basó en la norma ISO que dice, ningún conductor puede ser medido más de cinco veces [30], es decir que no se puede muestrear más de lo establecido por la norma.

La norma ISO plantea que ningún conductor debe sobrepasar el rango de -1% y 0,5% como se muestra en la figura 4.22.



Figura 4.22. Rango Mediciones Conductores Eléctricos

Para el caso de la máquina devanadora de conductores, posee un rango de medición de -0,5% a 0,2% como se muestra en la figura 4.20.

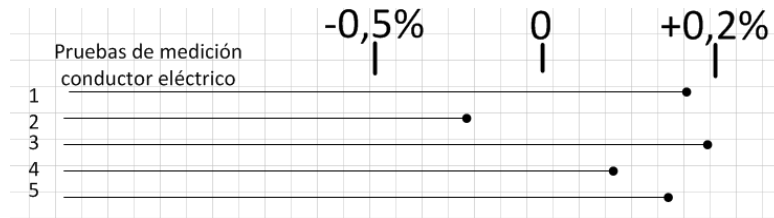


Figura 4.23. Rango Mediciones Máquina Devanadora de Conductores Eléctricos

<sup>14</sup> Error de Medición: Es la diferencia entre el valor medidor y el valor verdadero o calculado, determinando así el valor exacto de medida del instrumento [30].

## CONCLUSIONES

Para la realización y diseño de la máquina devanadora de conductores eléctricos, que surgió como una necesidad de la Eeasa, se implementó el uso de las tres ramas de la ingeniería mecatrónica (mecánica, eléctrica y electrónica, y, sistemas y control), cada una con sus especificaciones y aplicaciones.

En el proceso de construcción de la máquina, se hizo un dimensionamiento aproximado de la misma, lo cual permitió tener una idea general de los recursos que se podrían utilizar en esta construcción.

Los requerimientos establecidos por la Empresa, fueron la base para establecer la metodología que se empleó en la creación de la devanadora de conductores.

La máquina automatizó, en base al uso de las tecnologías que presenta esta tesis, un proceso que desgastaba y mal utilizaba los recursos de la Eeasa, promoviendo e incentivando la investigación para la mejora de los productos creados en la industria ecuatoriana.

La máquina DEVANAFLEX PDM-MIX2000, fue diseñada para que la estructura soporte un carrito de peso máximo una tonelada y media. Además posee medidas de seguridad en el sistema mecánico, eléctrico y electrónico, lo que significa que se evitará accidentes en las operaciones que posee el equipo y en la máquina misma.

Por otra parte, la máquina posee con cinco motores asíncronos tipo jaula de ardilla para los diferentes procesos en los sistemas de devanado, enrollado, medidor, brazos mecánicos y unidad hidráulica. El costo-beneficio y el mantenimiento de este tipo de motores fue lo que determinó su instalación en la devanadora.

Al respecto de la parte del control de procesos de la máquina, se concluyó que la utilización del PLC siemens es la mejor opción, puesto que este producto cuenta con las características técnicas se ajustan a los requerimientos de control, el servicio técnico con

el que cuenta es inmediato y además el costo económico del PLC s7-1200 es más asequible.

Las variables que envía el PLC siemens se controla por un sistema HMI que genera un monitoreo general a todo el sistema de la máquina, que comanda y controla los diferentes procesos de la devanadora.

Para el óptimo diseño de la máquina se utilizó una herramienta de calidad, Quality Funtion Deployment (QFD). A través de esta herramienta se pudo conocer las necesidades del cliente y cómo con la estructura de la máquina se satisfizo a las mismas. A través de la casa de calidad, con el uso del análisis funcional en base a diagramas, se especificó las características principales para el diseño de la máquina, es decir se escogió por módulos las mejor opciones para los sistemas de la devanadora. La alternativa elegida fue un encendido de la máquina por pulsador, levantamiento de la tara (carrete vacío) por sistema hidráulico, control de velocidad manual a través de un potenciómetro, control de medición por un encoder (medidor de pulsos), control de las variables y el sistema por PLC, control del sistema para facilidad de los operarios por HMI y el corte del conductor eléctrico a través de una cuchilla de acero con funcionamiento hidráulico.

Al respecto del cálculo de la estructura mecánica, se realizó el diseño de la misma en un software para dibujo (CAD) Solid Edge St5 de la siemens utilizando además las tablas de tolerancias y ajustes de diseño mecánico, con el fin de tener un rango de tolerancias en las piezas de la máquina devanadora. Posteriormente, se trasladó este diseño hacia un programa de cálculo de estructuras mecánicas, por sus siglas en inglés SAP 200. Seguidamente, basando el diseño de la máquina en varios modelos de máquinas ya existentes, se definió los tipos de materiales y pórticos, para luego ingresar cargas (pesos) máximas y soportes en la estructura. Así, se pudo saber las deformaciones que podría tener la estructura, si esta soportara una carga máxima, es decir, un peso máximo de 1,3 toneladas, el material utilizado no se sobredimensiona ni se deforma.



Para conocer el cálculo de motores, cajas reductoras, bomba y pistón para el sistema hidráulico se dimensionó el sistema mecánico-hidráulico de la máquina. El cálculo de los momentos de inercia, torque máximo y mínimo permitió establecer el tipo de motores a utilizar, contando con la potencia de entrada calculada de los motores se definió el tipo de caja reductora para mantener el torque del motor a bajas velocidades. El tipo de bomba y pistón hidráulico, se definió realizando un estudio de fuerza entre los brazos mecánicos y peso máximo a levantar y así poder obtener la presión necesaria, para la bomba de presión y el tipo de pistón hidráulico que levanta el peso de 1,3 toneladas.

Por otra parte para controlar manualmente la velocidad de los motores de los sistemas de devanado, enrollado y medidor se escogió un variador de frecuencia el cual está garantizado por la empresa que la produce.

En base a las normas de selección de aparatos de potencia eléctrica (IEC 34 y 947), se escogió los tipos de motores eléctricos y sus aplicaciones, ya que estas normas establecen el uso dependiendo el tipo de aplicación. Por otro lado, se realizó el dimensionamiento de la red trifásica de la máquina y el lazo de control, posteriormente, basados en la norma IEC 947, se seleccionó los tipos de protecciones eléctricas en los sistemas de la máquina para motores tipo jaula de ardilla y los sistemas de control.

Con el diseño del HMI se puede monitorear y visualizar los sistemas de la máquina, además, se implementó un control de base de datos personal para los conductores y clientes de Eeasa en Oracle express edition, lo cual permite llevar un mejor manejo de la información para inventarios de los cables eléctricos en especial. El sistema cuenta además con una impresora térmica, que se obtiene de una etiqueta de reporte los metros medidos de los diferentes tipos de conductores eléctricos y dependiendo de la operación (devanado o enrollado).

En la fase de pruebas y resultados se concluyó que con la máquina devanadora de conductores eléctricos se optimiza el tiempo y los recursos. El principal recurso para Eeasa es el empleo del tiempo de sus operarios, anteriormente, en devanar 1800 metros

de cable de 10 mm de diámetro se demoraban al redor de ocho horas de trabajo, además existían márgenes de imprecisión en la medición, ahora con este proceso automatizado el tiempo que se tardan en el devanado a una velocidad mínima (5rpm) es de 3,6 horas y una velocidad máxima 14 minutos, lo que significa que se ha logrado el objetivo de optimizar recursos.

En el sistema de enrollado, antes los operarios se demoraban alrededor de dos horas de trabajo en enrollar un cable de 76 metros de largo y máximo 40 mm de diámetro, ahora se tardan 16,17 minutos con una velocidad mínima de 5rpm y 1,34 minutos con una velocidad máxima de 60rpm, lo que significa que pueden realizar varios trabajos en el día.

## RECOMENDACIONES

- Para obtener mejores resultados en diseño y pruebas de funcionamiento se recomienda utilizar diferentes metodologías como TQM o 6sigma
- Finalizado el proyecto de construcción de la devanadora se podría aplicar nuevamente la herramienta de calidad QFD, con el fin de mejorar cada proceso de la máquina.
- Al diseñar las piezas en software CAD, es recomendable utilizar las tablas de tolerancias de ajustes en bujes y ejes, con el fin de tener mayor precisión en la construcción de piezas.
- Se recomienda realizar el moleteado a las ruedas medidoras de la máquina DEVANAFLEX PDM-MIX2000, con el fin de obtener rozamiento entre la rueda y el conductor eléctrico, y evitar que resbale el mismo en el momento de la medición.
- Realizar una calibración del sistema medidor, de ubicación en la máquina, de manera que los rodillos y porta rodillos deben acentuarse ambos en la base del medidor, para evitar desgastes en las piezas (observar plano D03-001)
- Se recomienda colocar señal ética en la cuchilla de acero que corta el conductor eléctrico, para evitar accidentes.
- El aceite ISO 68 del tanque hidráulico está demasiado sobredimensionado, revisar el cálculo obtenido del volumen del tanque (3.2.5.4), para futuras construcciones.
- Es recomendable en los planos mecánicos, especialmente en los ejes con ranuras dejar un espacio de 1x1 en los cantos vivos, con el objetivo de que éstos se asienten bien a la línea de apoyo.
- Teniendo acceso a la base de datos principal Oracle de la Eeasa , se puede realizar un mejor manejo de flujo de inventarios de conductores eléctricos e ingreso de clientes
- Se recomienda capacitar a las personas que vayan operar la máquina, para mayor durabilidad y eficiencia de trabajo.
- Una vez soldada la platina en el marco de los brazos de la máquina, se debe proceder a rectificar la superficie de contacto y alinear los bocines de los brazos mecánicos, de forma que se puedan apoyar uniformemente en dicha superficie.

- No es recomendable utilizar velocidades máximas en los sistemas de devanado y enrollado, cuando se realizan mediciones pequeñas, ya que el carrete de madera producirá vibraciones.
- Es recomendable realizar mantenimientos a la máquina, para ello se sugiere revisar el cronograma de mantenimientos de la máquina DEVANAFLEX PDM-MIX2000 (Anexo J).
- Es necesario apagar la unidad hidráulica al finalizar algún trabajo en la máquina para mayor durabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. P. Pérez, La mecatrónica en la ingeniería contemporánea., Ipswich: Ediciones MECANICA, 2003, pp. 7-9.
- [2] Y. D. I. C. Morales Díaz y M. d. L. Bravo Estévez, «La Enseñanza de la Matemática en la Ingeniería Mecánica para el Manejo de Habilidades,» *Pedagogía Universitaria*, pp. 75-90, 2003.
- [3] Z. Tianfeng, «Devanadoras,» [En línea]. Available: <http://www.wovenbagmachine.es/6-winder-15.html>. [Último acceso: 25 Julio 2014].ç
- [4] M. Rodríguez Pérez, «Diseño y Calculo de la Estructura Metálica y de la Cimentación de una Nave Industrial,» Madrid, 2009.
- [5] S. J. Chapman, Máquinas Eléctricas 3ed, Caracas, 2006.
- [6] S.A, «Introducción a los Controladores Lógicos Programables,» de *Controladores Programables PLC*, pp. 8-10.
- [7] J. L. Giordano , «Cómo funciona el conductor eléctrico,» 15 Julio 2006. [En línea]. Available: [www.profisica.com](http://www.profisica.com). [Último acceso: 19 Febrero 2015].
- [8] Enalmex, «Los Cables de Conección,» de *Calibres y Conductores*, Colombia, pp. 67-72.
- [9] A. Bustillo y A. Álvarez , Diseño y Cálculo de Estructuras en Acero, Cartagena, 2011.
- [10] U. N. d. Q. (UNDQ), «Introducción a las HMI,» Argentina, s/f.
- [11] U. N. I. C. d. B. (UNICEN), Programadores lógicos programables, Bolivia, 2006.
- [12] EcuRed, Motores trifásicos, Cuba, 2001.
- [13] A. L. d. QFD, «Asociación Latinoamericana de QFD,» 2002. [En línea]. Available: <http://www.qfdlat.com/>. [Último acceso: 21 Enero 2015].
- [14] Asociación Latinoamericana de QFD, «¿Qué es el QFD?,» Asociación Latinoamericana de QFD, 2002. [En línea]. Available: [http://www.qfdlat.com/\\_Que\\_es\\_el\\_QFD-/\\_que\\_es\\_el\\_qfd-.html#](http://www.qfdlat.com/_Que_es_el_QFD-/_que_es_el_qfd-.html#). [Último acceso: 25 Enero 2015].

- [15] A. L. d. QFD, «Herramientas del QFD,» 2002. [En línea]. Available: [http://www.qfdlat.com/Herramientas\\_QFD/herramientas\\_qfd.html#](http://www.qfdlat.com/Herramientas_QFD/herramientas_qfd.html#). [Último acceso: 2015 Enero 22].
- [16] C. Riba i Romeva, Diseño Concurrente, Barcelona-España, 2002.
- [17] Partek.Inc, «NGS & microarray data analysis software,» Partek, [En línea]. Available: [www.partek.inc.com](http://www.partek.inc.com).
- [18] D. Ecuador, «DirectIndustry-EI Salón Virtual de la Industria,» VirtualExpo Group, [En línea]. Available: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es).
- [19] S. Ecuador, «Siemens Ecuador,» [En línea]. Available: <http://www.siemens.com/entry/ec/es/>.
- [20] R. G. Budynas y J. K. Nisbeth, Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, vol. 8va edición, Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 2008, p. 993.
- [21] cgservicios.df.gov, «Normas Técnicas complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural,» C.P.C.E.F, México, 2010.
- [22] H. d. Ecuador, «Hydromecánica del Ecuador S.A.,» 15 09 2015. [En línea]. Available: <http://www.hydromecanica.com.ec>.
- [23] U. P. d. Madrid, «Universidad Politécnica en Madrid, España,» Universidad Politécnica de Madrid, 1971. [En línea]. Available: [www.upm.es](http://www.upm.es).
- [24] R. Automation, Conceptos básicos sobre el uso de los motores de inducción trifásicos, AG, Aarau, 1996.
- [25] G. Lehmann, Comando y protección de motores eléctricos, Alemania: E.E.T, 2012.
- [26] E. E. Quito, «Empresa Eléctrica Quito-siempre junto a tí,» eeq, [En línea]. Available: [www.eeq.com.ec](http://www.eeq.com.ec).
- [27] S. Aktiengesellschaft, Manual de Baja Tensión, Berlin y München: Publius MCD Verlag, 2000.
- [28] B. d. Metz-Noblat, «Cuaderno Técnico nº 158,» de *Cálculo de corrientes de cortocircuito*, Madrid, Schneider, 2000, pp. 22-24.

- [29] Cuytronic, «electricidad gratuita,» [En línea]. Available: [www.electricidad-gratuita.com/cables-electricos-d5.html](http://www.electricidad-gratuita.com/cables-electricos-d5.html).
- [30] I. Ojeda Escobar, Metodología y Normalización, México: Tecnológico de Estudios Superiores del Estado de México, 2010.
- [31] Y. Y. Mingfeng Z y S. M. Hanxia H, Diseño y soluciones mixtas en sistemas de control de un PLC, A. M. & Materials, Ed., Ispwich: Engineering Source, 2014.
- [32] A. Zaïdi, Despliegue de la Función de Calidad (QFD), Madrid: Díaz Santos, 1993.
- [33] S. Ecuador, Lista de Precios Ecuador, Answer for Industry, 2013.