



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

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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO PARA EL MANTENIMIENTO DE BOMBAS  
ELECTROSUMERGIBLES EN LA PLANTA CENTRILIFT ALS  
DE BAKER HUGHES INC.”**

**AUTOR: RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**

**DIRECTOR: ING. OSCAR ARTEAGA**

**LATACUNGA**

**2016**



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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MANTENIMIENTO DE BOMBAS ELÉCTROSUMERGIBLES EN LA PLANTA CENTRILIFT ALS DE BAKER HUGHES INC.**” realizado por el señor **RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 15 de abril del 2016**

**ING. OSCAR ARTEAGA**

**DIRECTOR**



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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**, con cédula de identidad N° 1803377314, declaro que este trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MANTENIMIENTO DE BOMBAS ELÉCTROSUMERGIBLES EN LA PLANTA CENTRILIFT ALS DE BAKER HUGHES INC.**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 15 de abril del 2016**

**RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**

C.C. 1803377314



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

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL MANTENIMIENTO DE BOMBAS ELÉCTROSUMERGIBLES EN LA PLANTA CENTRILIFT ALS DE BAKER HUGHES INC.**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 15 de abril del 2016**

---

**RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**

C.C. 1803377314

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para levantarme y superar todos los obstáculos y dificultades que se me han presentado a lo largo de toda mi vida.

A mis padres, que con su demostración de padres ejemplares me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi hermana que, pese al tenerla lejos, siempre ha estado junto a mí guiándome y brindándome todo su apoyo.

A mi novia Karen por compartir su alegría, afecto y aliento.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad de la Fuerzas Armadas "ESPE-L" por haberme aceptado a formar parte de su prestigiosa institución la cual me abrió las puertas al mundo científico.

Al Sr. Ing. Oscar Arteaga y al Sr. Ing. Andrés Gordon por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haber sido paciente para guiarme durante mí proyecto de grado.

Mis agradecimientos a todos mis profesores y compañeros, ya que gracias a la amistad y compañerismo y apoyo aportaron a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CARÁTULA</b> .....	i
<b>CERTIFICADO</b> .....	ii
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	iii
<b>AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xvi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xix
<b>RESUMEN</b> .....	xxv
<b>ABSTRACT</b> .....	xxvi
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>PROBLEMA</b> .....	1
1.1. Planteamiento del Problema. ....	1
1.2. Antecedentes. ....	1
1.3. Justificación. ....	2
1.4. Importancia. ....	3
1.5. Objetivos. ....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos. ....	4

<b>CAPÍTULO II</b> .....	5
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1. Fundamentos Teóricos de la Tecnología del Bombeo Electrosumergible (BES). .....	5
2.1.1. Bombeo Electrosumergible.....	5
A. Componentes del Equipo de Superficie.....	6
A.1. Cabeza del Pozo.....	6
A.2. Caja de Cojinetes (Venteo).....	6
A.3. Controladores del Motor.....	6
A.4. Transformadores.....	7
B. Componentes del Equipo de Subsuelo.....	8
B.1. Sensor de Fondo.....	8
B.2. Motor Electrosumergible.....	10
B.2.1. Construcción del Motor Electrosumergible.....	10
B.2.2. Operación del Motor.....	11
B.2.3. Como Seleccionar el Motor.....	12
B.2.4. Componentes del Motor.....	13
B.3. Protector o Sección Sellante (Sello).....	13
B.4. Separador de Gas.....	16
B.5. Intake.....	17
B.6. Bomba Electrosumergible.....	17
2.2. Sistemas Eléctricos y Electrónicos.....	21
2.2.1. Sistemas Eléctricos.....	21
A. Elementos de un Sistema Eléctrico.....	22
2.2.2. Sistemas electrónicos.....	23
A. El transistor.....	23

B.	Microprocesador. ....	24
C.	Microcontroladores. ....	25
2.3.	Controlador lógico programable (PLC). ....	25
2.4.	Controladores Industriales. ....	26
2.4.1.	Controlador. ....	27
2.4.2.	Sistemas de control de Lazo Abierto. ....	27
2.4.3.	Sistemas de control en Lazo Cerrado. ....	28
2.4.4.	Señal de control. ....	28
2.4.5.	Tipos de controladores. ....	28
2.5.	Mecanismo de transformación de movimiento. ....	29
2.5.1.	Mecanismo Tornillo-Tuerca. ....	29
2.5.2.	Transmisión por tornillo posicionador. ....	29
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>31</b>
<b>DISEÑO DE LA MÁQUINA</b> .....		<b>31</b>
3.1.	Introducción. ....	31
3.2.	Consideraciones para el diseño. ....	31
3.2.1.	Apertura y cierre para el suministro de solvente. ....	32
3.2.2.	Control del motor impulsor. ....	33
3.2.3.	Nivelación entre motor impulsor y bomba electrosumergible. ....	34
3.2.4.	Conclusión. ....	34
3.3.	Ponderación de las consideraciones para el diseño. ....	35
3.3.1.	Conclusión. ....	37
3.4.	Diseño mecánico. ....	37
3.4.1.	Diseño del elevador para el motor impulsor. ....	37
A.	Selección del tipo de elevador. ....	37

A.1.	Criterios a evaluar .....	38
A.1.1.	Conclusión. ....	41
B.	Características y consideraciones. ....	41
C.	Mecanismo del sistema de transmisión de movimiento. ....	42
D.	Cálculo de cargas estáticas aplicadas al eje de movimiento. ....	43
D.1.	Cálculo de cargas estáticas para el eje Z. ....	43
E.	Esfuerzo y deflexión para la columna cargada excéntricamente. ....	44
F.	Cálculo de flexión de las guías para el eje z .....	46
G.	Selección del tornillo de potencia. ....	49
G.1.	Selección del tornillo de potencia para el eje z. ....	49
H.	Tornillo de potencia. ....	50
3.4.2.	Motor elevador .....	53
3.4.3.	Motor impulsor. ....	54
A.	Caudal total de suministro. ....	54
B.	Altura dinámica. ....	54
C.	Cálculo de la potencia. ....	58
3.4.4.	Diseño del esqueleto de la estructura. ....	59
A.	Selección del material. ....	59
A.1.	Aluminio. ....	61
A.2.	Acero ASTM A513-A500. ....	62
A.3.	Acero ASTM A36. ....	62
A.4.	Selección. ....	63
A.4.1.	Criterios A Evaluar. ....	63
A.4.2.	Conclusión. ....	66
B.	Análisis de esfuerzos de la estructura. ....	67
B.1.	Análisis simulado de la estructura. ....	67

3.4.5.	Selección de las ruedas para la estructura de la máquina. ....	72
3.5.	Diseño eléctrico y electrónico.....	73
3.5.1.	Introducción. ....	73
3.5.2.	Elementos de control.....	73
A.	Control del manejo del motor impulsor. ....	73
B.	Control del manejo del motor elevador. ....	73
C.	Control del manejo de la electroválvula. ....	74
D.	Control de la máquina. ....	74
3.5.3.	Control de velocidad del motor impulsor. ....	75
A.	Microconvertidor de frecuencia ABB ACS55.....	75
B.	Convertidor de frecuencia WEG CFW08.....	76
C.	Convertidor de frecuencia SIEMENS SINAMICS V20.....	77
D.	Evaluación.....	79
E.	Conclusión. ....	81
F.	Instalación mecánica del SINAMICS V20. ....	81
G.	Puesta en marcha de SINAMICS V20.....	82
G.1.	Estructura del menú de configuración ....	82
G.2.	Configuración de datos del motor.....	83
G.3.	Configuración de macros de conexión.....	84
G.4.	Macro de conexión Cn003.....	85
3.5.4.	Electroválvula. ....	86
3.5.5.	Selección del Controlador.....	86
A.	Microcontrolador PIC16F877A.....	86
B.	Arduino uno. ....	87
C.	PLC. ....	88
D.	Comparación entre controladores preseleccionados.....	89

E.	Evaluación.....	91
F.	Conclusión. ....	92
G.	Selección del PLC.....	92
G.1.	PLC logo 8 Siemens 12/24 RCE.....	93
G.2.	PLC Allen Bradley Pico 1760.....	94
G.3.	PLC Schneider Electric Zelio .....	95
G.4.	Evaluación.....	96
G.4.1.	Análisis de costos.....	97
G.4.2.	Selección del PLC.....	98
G.4.3.	Criterios a Evaluar. ....	99
G.5.	Conclusión. ....	100
3.5.6.	Requerimientos a considerar previa a la programación del PLC Logo de Siemens.....	100
A.	Diagramas de causa-efecto de los controles asignados al PLC. ....	101
A.1.	Diagrama causa-efecto de control de velocidad del motor impulsor.....	102
A.2.	Diagrama causa-efecto de control del motoreductor elevador. ....	102
A.3.	Diagrama causa-efecto de control de apertura y cierre de la electroválvula. ....	103
A.4.	Diagrama causa-efecto total de los inconvenientes de la máquina.....	104
B.	Matriz QDF para necesidades de control.....	104
B.1.	Desarrollo de la Matriz QFD .....	105
B.2.	Objetivo.....	109
B.3.	Relación de mejora. ....	110
B.4.	Argumento de venta.....	110
B.5.	Ponderación absoluta. ....	110
B.6.	Ponderación relativa.....	110
C.	Parámetros de la programación.....	112

C.1.	Método Gráfico para modelación de procesos de control. ....	112
C.2.	Proceso de control de velocidad. ....	113
C.3.	Control de cambio de giro.....	114
C.4.	Control de cambio de estado.....	115
C.5.	IDEF0 total de control .....	116
3.5.7.	Diseño del circuito de potencia.....	118
 <b>CAPÍTULO IV</b> .....		<b>121</b>
<b>CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA</b> .....		<b>121</b>
4.1.	Construcción Mecánica.....	121
4.1.1.	Estructura del elevador .....	121
4.1.2.	Estructura de la base principal. ....	125
4.2.	Construcción eléctrica y electrónica. ....	127
4.	Conexión del PLC Logo de Siemens. ....	127
A.	Montaje del PLC Logo de Siemens. ....	127
B.	Conexión de las entradas al PLC Logo de Siemens. ....	128
C.	Conexión de las salidas del PLC Logo de Siemens.....	129
D.	Distribución de las entradas y salidas del PLC Logo de Siemens. ....	129
5.	Programación del PLC Logo de Siemens .....	131
A.	LOGO! Soft Confort. ....	131
A.1.	Bloques de función. ....	132
6.	Placa del circuito de potencia. ....	134
4.3.	Conexión de la máquina.....	136
4.4.	Presentación final de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles. ....	137
4.5.	Estudio financiero. ....	140

4.5.1.	Inversión inicial. ....	140
4.5.2.	Capital de trabajo. ....	140
4.5.3.	Financiamiento.....	141
4.5.4.	Proyección de ingresos y egresos. ....	141
A.	Ingresos. ....	141
B.	Egresos.....	142
B.1.	Costos.....	142
B.2.	Gastos.....	143
B.3.	Egresos totales. ....	144
4.5.5.	Flujo neto de efectivo.....	144
4.5.6.	Conclusión. ....	145
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>146</b>
<b>ANÁLISIS DE PRUEBAS.....</b>		<b>146</b>
5.1.	Introducción. ....	146
5.2.	Pruebas Mecánicas.....	146
5.2.1.	Prueba 1: Capacidad del Elevador. ....	146
5.2.2.	Prueba 2: Correcto contacto de los finales de carrera con la base del motor impulsor.....	147
5.2.3.	Prueba 3: Estabilidad del ascensor sobre el esqueleto de la estructura.....	147
5.3.	Pruebas eléctricas y electrónicas.....	147
5.3.1.	Prueba 1: Señal de voltaje por parte de los finales de carrera. ....	147
5.3.2.	Prueba 2: Funcionamiento de motor impulsor con programación Cn003 de convertidor de frecuencia.....	148
5.3.3.	Prueba 3: Correcta funcionalidad y polarización de electroválvula. ....	148
5.3.4.	Prueba 4: Polarización y cambio de giro de motoreductor asociados correctamente.....	148

5.4.	..... Pruebas de funcionamiento en conjunto con todos los sistemas de la máquina.....	148
5.4.1.	Prueba 1: Funcionamiento de motor impulsor acoplado a bomba electrosumergible.....	149
5.4.2.	Prueba 2: Funcionamiento de alineación de la base del motor impulsor para acople por parte del motoreductor elevador.....	149
5.4.3.	Prueba 3: Funcionamiento de prohibición de alineación fuera de límites permitidos por parte de finales de carrera.....	149
5.4.4.	Prueba 4: Funcionamiento de luces indicadoras de estado y paro de emergencia.....	150
5.5.	Conclusiones de las pruebas.....	150
 <b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>151</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>151</b>
6.1.	Conclusiones.....	151
6.2.	Recomendaciones.....	152
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>154</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>156</b>
<b>ANEXO A: MANUAL DE USUARIO</b>		
<b>ANEXO B: PLANOS MECÁNICOS</b>		
<b>ANEXO C: PLANOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS</b>		
<b>ANEXO D: PLANOS PROGRAMACIÓN</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de motor .....	12
Tabla 2. Alturas medidas en el mes de mayo del 2015.....	34
Tabla 3. Ponderación de las principales consideraciones de la máquina.....	35
Tabla 4. Relación de variables no específicas a variables específicas de las características de la máquina .....	36
Tabla 5. Matriz morfológica de la selección del tipo de elevador para el motor impulsor .....	37
Tabla 6. Matriz de valoración para la selección de la forma del sistema de elevación .....	39
Tabla 7. Evaluación de criterios para la selección del tipo de elevador para el motor impulsor.....	40
Tabla 8. Roscas unificadas de paso fino estándar.....	49
Tabla 9. Coeficientes de fricción pertenecientes a los tornillos de transmisión .....	51
Tabla 10. Características del Motor Siemens Seleccionado .....	59
Tabla 11. Tipos de propiedades que se analizarán para la elección del material.....	60
Tabla 12. Principales propiedades que presenta el aluminio .....	61
Tabla 13. Principales propiedades que presentan los aceros <b>ASTM A513-A500</b> .....	62
Tabla 14. Principales propiedades que presentan los aceros <b>ASTM A36</b> .....	62
Tabla 15. Valores asignados a los criterios a evaluar para selección de material del esqueleto de la estructura.....	65
Tabla 16. Evaluación de criterios para la selección de material del esqueleto de la estructura .....	66

Tabla 17. Propiedades de la estructura principal de la máquina .....	68
Tabla 18. Información de malla .....	68
Tabla 19. Tensiones en el esqueleto de la estructura principal de la máquina.....	69
Tabla 20. Desplazamientos del esqueleto de la estructura principal de la máquina ..	70
Tabla 21. Desplazamientos del esqueleto de la estructura principal de la máquina ..	71
Tabla 22. Características del microconvertidor de frecuencia <b>ABB ACS55</b> .....	75
Tabla 23. Características del convertidor de frecuencia <b>WEG CFW08</b> .....	76
Tabla 24. Características del convertidor de frecuencia <b>SIEMENS SINAMICS V20</b> .....	77
Tabla 25. Matriz morfológica de la selección de variador de frecuencia .....	79
Tabla 26. Criterios a evaluar para la selección del convertidor de frecuencia.....	80
Tabla 27. Criterios evaluados para la selección del convertidor de frecuencia .....	80
Tabla 28. Funciones de submenú del menú configuración de <b>SINAMICS V20</b> .....	82
Tabla 29. Funciones de parámetros del menú configuración de datos del motor de <b>SINAMICS V20</b> .....	83
Tabla 30. Descripción de macros de conexión configuración de SINAMICS V20... ..	84
Tabla 31. Características <b>PIC16F877A</b> .....	87
Tabla 32. Características Arduino uno .....	88
Tabla 33. Características <b>PLC'S</b> .....	89
Tabla 34. Selección del controlador de la máquina, matriz morfológica.....	90
Tabla 35. Criterios a evaluar de la selección del controlador .....	91
Tabla 36. Selección del controlador de la máquina .....	91
Tabla 37. Características del <b>PLC</b> Logo de Siemens .....	94

Tabla 38. Características <b>PLC</b> Allen Bradley pico 1760.....	95
Tabla 39. Características <b>PLC</b> Schneider Electric Zelio .....	96
Tabla 40. Características comunes de los 3 <b>PLC'S</b> preseleccionados.....	96
Tabla 41. Análisis de costos para cada <b>PLC</b> con módulos adicionales .....	97
Tabla 42. Matriz morfológica de la selección del <b>PLC</b> .....	98
Tabla 43. Criterios a evaluar para selección del <b>PLC</b> .....	99
Tabla 44. Criterios evaluados para la selección del <b>PLC</b> .....	99
Tabla 45. Matriz <b>QFD</b> del control de la máquina.....	111
Tabla 46. Tabla de Símbolos para diagramas de proceso .....	113
Tabla 47. Distribución de entradas y salidas del <b>PLC</b> Logo de siemens.....	130
Tabla 48. Entradas y salidas totales del <b>PLC</b> Siemens junto con el módulo de expansión y la pantalla logo <b>TDE</b> .....	131
Tabla 49. Inversión Inicial .....	140
Tabla 50. Capital de trabajo .....	141
Tabla 51. Ingresos utilizados para la construcción del Sistema Automatizado para el Mantenimiento de Bombas Electrosomergibles .....	141
Tabla 52. Costos de los materiales .....	142
Tabla 53. Costos de mano de obra indirecta .....	143
Tabla 54. Gastos.....	144
Tabla 55. Egresos Totales .....	144
Tabla 56. Flujo neto de efectivo.....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes bombeo Electrosumergible. ....	5
Figura 2. Transformadores (Izquierda <b>SDT</b> , Derecha <b>SUT</b> ). ....	7
Figura 3. Sensor Well Lift.....	9
Figura 4. Motor Electrosumergible. ....	10
Figura 5. Ensamble del Motor.....	11
Figura 6. Forma Básica para Dimensionar Bombas y Motores. ....	12
Figura 7. Componentes del Motor. ....	13
Figura 8. Protector o sección sellante. ....	14
Figura 9. Función del Sello. ....	15
Figura 10. Separador de Gas. ....	16
Figura 11. Intake o Succión. ....	17
Figura 12. Bomba Electrosumergible. ....	18
Figura 13. Partes de la Etapa de la Bomba.....	19
Figura 14. Tipos de Etapas de la Bomba. ....	20
Figura 15. Altura Dinámica Total <b>TDH</b> . ....	21
Figura 16. Red de distribución eléctrica. ....	22
Figura 17. Elementos de un circuito eléctrico.....	22
Figura 18. Primer transistor realizado por físicos W. Shockley, J. Bardeen y W. Brattain .....	23
Figura 19. El primer circuito integrado, por Jack Kilby el 12 de septiembre de 1958. ....	24

Figura 20. Esquema de un Microprocesador y sus partes.....	24
Figura 21. Esquema de un microcontrolador y sus partes. ....	25
Figura 22. Imagen de diferentes <b>PLC'S</b> . ....	25
Figura 23. Imagen de una programación tipo Ladder. ....	26
Figura 24. Lazo de control donde se describen las entradas, salidas, retroalimentaciones, el controlador y el proceso a ser controlado. ....	27
Figura 25. Dibujo de un lazo de control abierto.....	27
Figura 26. Dibujo de un lazo de control cerrado con retroalimentación.....	28
Figura 27. Mecanismo tornillo-tuerca.....	29
Figura 28. Transmisión por tornillo posicionador.....	30
Figura 29. Mecanismo de etapa linear motorizada de eje único con transmisión de tornillo. ....	30
Figura 30. Mapa de necesidades por parte de la empresa auspiciante. ....	32
Figura 31. Mapa de las necesidades de apertura y cierre para el suministro de solvente, de la empresa auspiciante.....	32
Figura 32. Mapa de las condiciones que intervienen en el control del motor impulsor.....	33
Figura 33. Porcentaje de la ponderación de las principales consideraciones de la máquina. ....	36
Figura 34. Criterios de la matriz de valoración para la selección del tipo de elevador para el motor impulsor.....	40
Figura 35. Resultado de la selección del tipo de elevador para el motor impulsor....	41
Figura 36. Diseñó de la estructura del elevador para el motor impulsor. ....	42

Figura 37. Diseño de la estructura del elevador para el motor impulsor con motoreductor acoplado. ....	43
Figura 38. Propiedades del círculo. ....	46
Figura 39. Diagrama de carga aplicada. ....	48
Figura 40. Diagrama de fuerza cortante y momento flector .....	48
Figura 41. Partes de un tornillo. ....	50
Figura 42. Diagrama de fuerza: a) al subir la carga b) al bajar la carga. ....	50
Figura 43. Diagrama de Moody para el factor de fricción. ....	56
Figura 44. Motor Siemens. ....	59
Figura 45. Criterios de la matriz de valoración para selección del material .....	65
Figura 46. Resultados de los criterios evaluados en la selección del material del esqueleto de la estructura. ....	66
Figura 47. Diagrama de cuerpo libre de la estructura. ....	67
Figura 48. Rueda giratoria con placa y freno. ....	72
Figura 49. Microconvertidor de frecuencia <b>ABB ACS55</b> . ....	76
Figura 50. Convertidor de frecuencia <b>WEG CFW08</b> . ....	77
Figura 51. Convertidor de frecuencia <b>SIEMENS SINAMICS V20</b> . ....	78
Figura 52. Resultado de los criterios evaluados para la selección del convertidor de frecuencia. ....	80
Figura 53. Orientación de montaje <b>SINAMICS V20</b> . ....	81
Figura 54. Montaje <b>SINAMICS V20</b> en armario de control. ....	81
Figura 55. Estructura de menús de <b>SINAMICS V20</b> . ....	82
Figura 56. Configuración de macro de conexión. ....	85

Figura 57. Conexión para configuración de macro Cn003. ....	85
Figura 58. Microcontrolador <b>PIC16F87A</b> .....	87
Figura 59. Arduino Uno .....	88
Figura 60. Diferentes Plc´s de la marca siemens. ....	89
Figura 61. Criterios evaluados de la selección del controlador de la máquina. ....	92
Figura 62. <b>PLC</b> Logo 8 de Siemens.....	93
Figura 63. <b>PLC</b> Allen Bradley pico 1760.....	94
Figura 64. <b>PLC</b> Schneider Electric Zelio. ....	95
Figura 65. Resultados evaluación selección del <b>PLC</b> de la máquina. ....	100
Figura 77. Diagrama causa-efecto del control de velocidad del motor impulsor. ...	102
Figura 78. Diagrama causa-efecto del control del motoreductor elevador. ....	103
Figura 79. Diagrama causa-efecto del control de apertura y cierre de la electroválvula.....	103
Figura 80. Diagrama causa-efecto total de la máquina automática de BP.....	104
Figura 81. Características " <b>QUE</b> " del <b>QFD</b> de la programación de la máquina.....	107
Figura 82. Relaciones " <b>QUE vs COMO</b> " de la matriz <b>QFD</b> para la programación	108
Figura 83. Correlaciones del " <b>COMO</b> " de la matriz <b>QFD</b> de la programación de la máquina. ....	109
Figura 84. Ponderaciones Matriz <b>QFD</b> .....	110
Figura 85. Diagrama del proceso de control de velocidad.....	113
Figura 86. Diagrama de flujo del proceso de control de velocidad. ....	114
Figura 87. Diagrama del proceso de control de cambio de giro. ....	114
Figura 88. Diagrama de flujo del proceso de control de cambio de giro. ....	115

Figura 89. Diagrama del proceso de control de cambio de estado.....	115
Figura 90. Diagrama de flujo del proceso de control de cambio de estado. ....	116
Figura 91. <b>IDEFO</b> total de control de la máquina. ....	117
Figura 66. Diseño de la fuente del circuito de potencia con luz de estado. ....	119
Figura 67. Entradas de activación de relés del circuito de potencia. ....	119
Figura 68. Relé con diodo de protección en la bobina. ....	119
Figura 69. Circuito de potencia final de 8 entradas de control. ....	120
Figura 70. Diagrama de flujo del proceso de construcción de la estructura del elevator. ....	122
Figura 71. Fase 1 de la construcción de la estructura del elevador.....	123
Figura 72. Fase 2 de la construcción de la estructura del elevador.....	124
Figura 73. Diagrama de flujo del proceso de construcción de la estructura base principal.....	125
Figura 74. Fases de la construcción de la estructura base principal.....	126
Figura 75. Pasos para montar un <b>PLC</b> Logo de Siemens. ....	128
Figura 76. Pasos para montar un <b>PLC</b> Logo de Siemens. ....	129
Figura 92. Pantalla de programación del programa <b>LOGO!</b> Soft Confort de Siemens.....	132
Figura 93. Bloque de función del programa <b>LOGO!</b> Soft Confort. ....	133
Figura 94. Inicio de la programación en <b>LOGO!</b> Soft Confort. ....	133
Figura 95. Diseño de la placa del circuito de potencia. ....	135
Figura 96. Imagen simulada de la placa de potencia. ....	135
Figura 97. Placa de potencia terminada. ....	136

Figura 98. Panel de instrumentos eléctricos y electrónicos del sistema automatizado para el mantenimiento de bombas electrosumergibles. ....	137
Figura 99. Presentación final simulada de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles.....	138
Figura 100. Presentación final de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles. ....	139

## **RESUMEN**

El presente documento describe paso a paso el desarrollo del proyecto de diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el mantenimiento de bombas electrosumergibles, el cual tiene la capacidad de realizar el proceso de circulación de solvente mediante el control de un motor impulsor considerando la velocidad adecuada para los diferentes tipos de bombas electrosumergibles, el ingreso de solvente mediante un actuador y la nivelación de ejes pertenecientes al motor impulsor y bomba electrosumergible. En ese sentido desarrollar y elaborar este proyecto tiene como finalidad generar tiempos cortos de mantenimiento, mediante un diseño sencillo para que el manejo del operario sea fácil. El sistema automatizado va a ser utilizado en la planta CENTRILIFT ALS de BAKER HUGHES de Quito ubicada en la vía a Mitad del mundo, en donde se almacena y repara equipos utilizados en levantamiento artificial (Bombeo Electrosumergible).

### **PALABRAS CLAVE:**

- **BOMBAS ELECTROSUMERGÍBLES**
- **MOTORES ELÉCTRICOS**
- **SISTEMAS ELECTRÓNICOS**
- **PLC**
- **MECANISMO TORNILLO-TUERCA**

## **ABSTRACT**

This document describes step by step the development of the project design, construction and implementation of an automated system for maintenance of electric submersible pumps, which has the ability to perform the circulation process solvent by controlling a drive motor considering right speed for different types of electric submersible pumps, a solvent entry through an actuator and leveling axes between drive motor and electric submersible pump. In that sense, developing this project aims at the generating short maintenance times, with a simple design for an easy handling. The automated system will be used in ALS Centrilift BAKER HUGHES, located in Quito on the road to middle of the world, where it is stored and repairs equipment used in artificial lift (Electrosumergible Pumping).

### **KEY WORDS:**

- **SUBMERSIBLE PUMPS**
- **ELECTRIC MOTORS**
- **ELECTRONIC SYSTEMS**
- **PLC**
- **SCREW-NUT MECHANISM**

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema.

Actualmente la planta **CENTRILIFT ALS** de **BAKER HUGHES** de Quito ubicada en la vía a Mitad del mundo, almacena y repara equipos utilizados en levantamiento artificial (Bombeo Electrosumergible). Además almacena materiales correspondiente a los equipos de protección personal EPP's.

Dentro de los equipos correspondientes a Bombeo Electrosumergible se encuentra la bomba electrosumergible, la cual requiere mantenimiento, el mismo que es realizado manualmente generando exceso de horas hombre.

La búsqueda de alternativas de solución para el mantenimiento manual de bombas electrosumergibles facilitará y mejorará el proceso y reducirá el tiempo y personal empleado en el mismo así como también se contribuirá a la mejora de calidad y eficiencia.

### 1.2. Antecedentes.

Los métodos de levantamiento artificial son aquellos utilizados para llevar los fluidos desde el fondo del pozo hasta el separador. Entre estos métodos se encuentra Bombeo Electrosumergible, que utiliza una bomba centrífuga para transportar los fluidos hasta la estación de flujo. Este método, a pesar de ser muy efectivo para producir crudos livianos y pesados, es uno de las técnicas que necesita mayor supervisión, análisis y control, de manera que el funcionamiento del sistema sea óptimo.

Por otra parte, el avance de la tecnología ha permitido unir estos métodos de levantamiento convencionales con los pozos inteligentes para aumentar la producción de los activos en procesos de maduración, mediante el control en tiempo real de la bomba electrosumergible, dejando a un lado la exclusividad para pozos complejos y de alto costo. (Comunidad Petrolera 2012)

La aplicación del sistema de Bombas Electrosumergible ha venido incrementándose considerablemente en los últimos años en la industria petrolera a nivel mundial como una alternativa segura de extracción de petróleo.

La operación de un equipo es una de las etapas del sistema **BES** en donde el Operador o el Ingeniero de Operación intervienen cuando el equipo **BES** ya está diseñado, instalado, colocado en el pozo.

Sin embargo debemos tener en cuenta que para iniciar una operación con un sistema **BES**, el personal de Operación o de Producción debe de conocer con que equipo de fondo disponemos, con qué equipo de superficie disponemos para el arranque, confiabilidad del suministro del sistema eléctrico, debido a que la operación de un equipo **BES** está relacionado con el equipo de fondo, con la geometría del pozo, con el yacimiento, condiciones muy particulares del pozo, con el equipo de superficie y el resto del sistema de producción, como el manifold, con el centro de recolección del petróleo, a efectos de considerar el impacto en la operación del sistema electrosumergible, y de cómo afecta el comportamiento del sistema en el fondo del pozo. (ACEinternacional 2012)

A partir de 1975 la industria petrolera en nuestro país entra en auge y periodo más tarde ingresa la Empresa Baker Hughes, siendo considerada hoy en día como una de las más importantes del país en el campo petrolífero. Debido al uso de sistemas **BES** y la demanda de este tipo de empresa es necesario analizar las diferentes fallas que se presentan en la operación de un sistema de bombeo electrosumergible, así mismo evaluar las diferentes alternativas de solución que se recomiendan para cada caso específico.

### **1.3. Justificación.**

Debido a la necesidad que enfrenta la base de Baker Hughes Centrilift de Quito, se diseñará una máquina tendiente a varias etapas correctamente acopladas y controladas para que les permita acceder a un proceso de mantenimiento más eficiente.

En ese sentido desarrollar y elaborar este proyecto tiene como finalidad generar tiempos cortos de mantenimiento, mediante un diseño sencillo para que el manejo del operario sea fácil.

Sin duda alguna es importante crear tecnologías que ayuden al desarrollo y optimización de procesos industriales para de esta manera lograr cumplir con los requerimientos demandados, para así lograr obtener el máximo potencial de las mismas, ya que siempre se debe buscar métodos que puedan brindarnos un manejo simple, seguro y adecuado para fomentar la integración de la Mecatrónica en la industria.

#### **1.4. Importancia.**

Debido a la necesidad que enfrenta la base de Baker Hughes Centrillift de Quito, se diseñará una máquina tendiente a varias etapas correctamente acopladas y controladas para que les permita acceder a un proceso de mantenimiento más eficiente.

En ese sentido desarrollar y elaborar este proyecto tiene como finalidad generar tiempos cortos de mantenimiento, mediante un diseño sencillo para que el manejo del operario sea fácil.

Sin duda alguna es importante crear tecnologías que ayuden al desarrollo y optimización de procesos industriales para de esta manera lograr cumplir con los requerimientos demandados, para así lograr obtener el máximo potencial de las mismas, ya que siempre se debe buscar métodos que puedan brindarnos un manejo simple, seguro y adecuado para fomentar la integración de la Mecatrónica en la industria.

#### **1.5. Objetivos.**

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

Diseñar y construir un sistema automatizado que facilite el mantenimiento de bombas electrosumergibles realizada manualmente en la planta **CENTRILIFT ALS** de **BAKER HUGHES INC.**

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- Analizar el campo para determinar parámetros requeridos.
- Determinar las funciones y módulos necesarios para la máquina.
- Diseñar el sistema electrónico y mecánico que permitirá el mantenimiento de las bombas electrosumergibles, tomando en cuenta el tipo de comunicación que se establecerá con el controlador.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento para verificar la calidad del mantenimiento y el cumplimiento de todos los requerimientos que se requerirán.

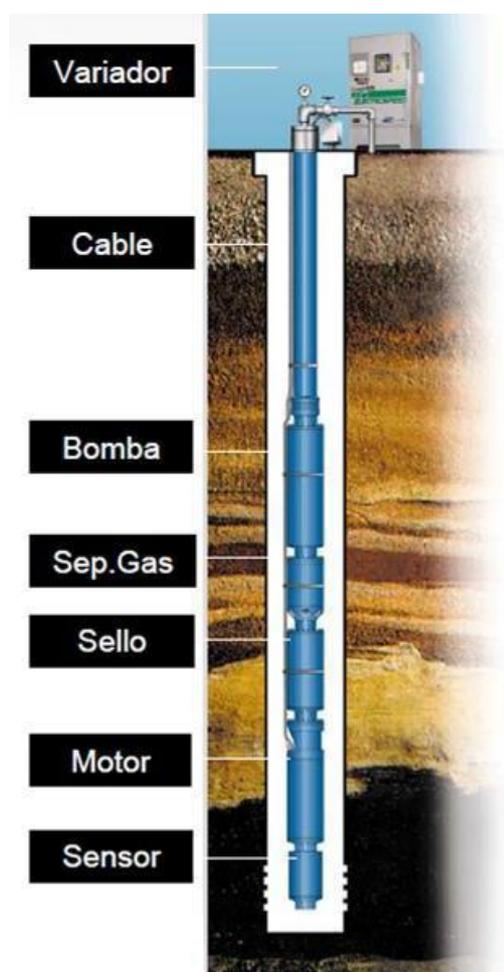
## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Fundamentos Teóricos de la Tecnología del Bombeo Electrosumergible (BES).

##### 2.1.1. Bombeo Electrosumergible.

“El Bombeo electrosumergible es un sistema integrado de levantamiento artificial, considerado como un medio técnico para producir altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo.” (BAKER HUGHES, 2015)



**Figura 1.** Partes bombeo Electrosumergible.

**Fuente:** (Savedra, 2013)

## **A. Componentes del Equipo de Superficie.**

“El equipo de superficie se compone de máquinas eléctricas que regulan la energía eléctrica, según los parámetros de operación del equipo de fondo.” (BAKER HUGHES, 2015)

### **A.1. Cabeza del Pozo.**

“El cabezal del pozo es el equipo que se instala en superficie, el propósito de colocar el cabezal es suspender la sarta de tubería dentro del pozo, monitorear y controlar altas presiones que frecuentemente se presenta en este tipo de operaciones.” (BAKER HUGHES, 2015)

### **A.2. Caja de Cojinetes (Venteo).**

Es también conocida como caja de conexiones, por que realiza tres funciones:

- Proporciona un punto para conectar el cable proveniente del controlador al cable del pozo.
- Proporciona un desfogue a la atmosfera, para el gas que pueda migrar por el cable de potencia desde el fondo del pozo.
- Proporciona puntos de prueba fácilmente accesibles para la revisión eléctrica de los equipos de fondo.

### **A.3. Controladores del Motor.**

Normalmente, todos utilizan un sistema de circuitos que proporcionan protección y control, para el sistema BES.

Los controladores varían en tamaño físico, diseño y potencia. Algunos controladores de motor son simples en su diseño, mientras que otros pueden ser extremadamente sofisticados y complejos, ofreciendo numerosas opciones que fueron diseñadas para aumentar los métodos de control, protección, y monitoreo del equipo BES.

#### A.4. Transformadores.

Los variadores requieren una tensión de entrada entre 480V y 380V generalmente. Esta tensión se logra con el transformador reductor (SDT) que baja el voltaje desde las líneas de 2.4 Kv, 13.8kV y 34.5kV.

La tensión de salida del variador es generalmente inferior a la requerida por el motor, por eso se usa un transformador elevador (SUT) que sube el voltaje hasta el requerido por el motor (1000V - 3760V).

La distribución de la energía eléctrica en los campos petroleros se realiza generalmente a voltajes intermedios, tal como 6,000 voltios o más. Debido a que el equipo ESP funciona con voltajes entre 250 y 4000 voltios, se requiere la transformación del voltaje de distribución.

Los transformadores se proveen generalmente en una configuración de tres máquinas monofásicas o en una máquina trifásica. Estos transformadores son unidades llenas de aceite, auto-refrigerables y son poco comunes del punto de vista de que contienen un número considerable de derivaciones en el secundario que permiten un amplio rango de voltajes de salida. Este amplio rango de voltajes es necesario para poder ajustar el voltaje requerido en la superficie para una variedad de posibilidades de caídas de voltaje en el cable que ocurren debido a las diferentes profundidades en las cuales se instala el sistema BES.



**Figura 2.** Transformadores (Izquierda SDT, Derecha SUT).

**Fuente:** (Salazar, 2014)

## **B. Componentes del Equipo de Subsuelo.**

“Los componentes del equipo de fondo o de subsuelo pueden ser descritos de manera clara y concreta mediante los siguientes conceptos y gráficos descriptivos necesarios en el desarrollo del proyecto para un mejor análisis.” (BAKER HUGHES, 2015)

### **B.1. Sensor de Fondo.**

Los Sistemas de Monitoreo de fondo pueden instalarse en la parte inferior del motor.

Opciones disponibles actualmente:

- Presión de fondo
- Temperatura del motor
- Presencia de agua.

Otras opciones disponibles incluyen:

- Flujo de descarga
- Presión de descarga
- Vibración

El sensor de presión de fondo (Pressure Heaters Detectors) **PHD**, opera acoplado al motor y eléctricamente está conectado al centro de acople del motor. Emplea un transductor de presión a una señal eléctrica, esta señal se transmite a superficie a través del cable de potencia.

El transductor está compuesto básicamente de un tubo bourdon y una resistencia variable. El rango del tubo bourdon puede ser de 0 - 3500 PSI o 0 - 5000 **PSI**, mientras que el rango de la resistencia variable es de 2500 ohm (condiciones ambiente) - 16500 ohm.

WellLIFT es el nuevo sensor de fondo de Centrilift para equipos **BES** y puede ser usado como parte de un sistema que incluye un controlador de velocidad variable o un controlador de motor o como un sistema único con su propio panel de superficie.

El sistema general del WellLIFT consiste de:

- Un sensor de fondo o Motor Gauge Unit (**MGU**)
- Un dispositivo de descarga o Discharge Gauge Unit (**DGU**)
- Un panel de Alto Voltaje en Superficie o High Voltage Surface Interface (**HVI Panel**)
- Un paquete electrónico decodificador en superficie.



**Figura 3.** Sensor Well Lift.

**Fuente:** (Savedra, 2013)

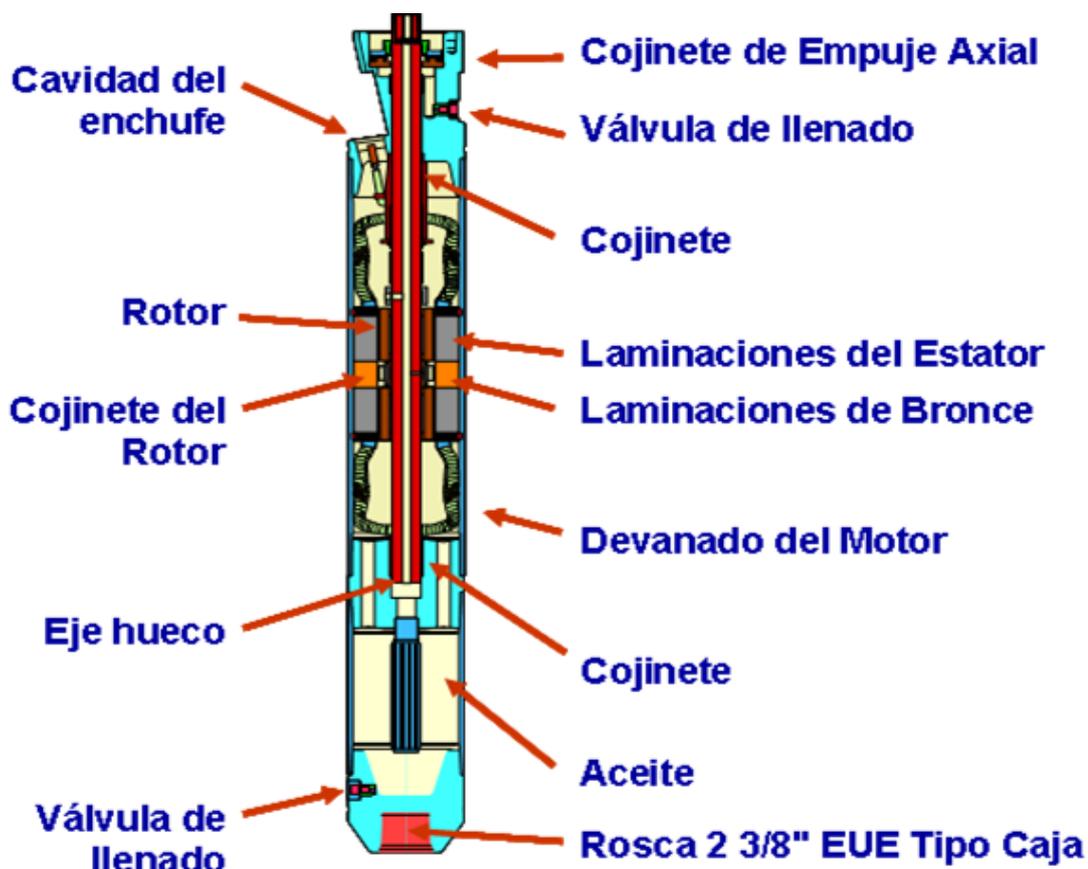
Parámetros que muestra WellLIFT:

- Presión de Intake
- Temperatura del Fluido
- Temperatura Sistema electrónico
- Temperatura de motor
- Vibración (2 canales X & Y)

## B.2. Motor Electrosumergible.

El Motor electrosumergible es un motor eléctrico de inducción bipolar trifásico (tipo jaula de ardilla), el cual opera a una velocidad típica de 3,600 **RPM**.

Los componentes del motor están diseñados para resistir temperaturas hasta 260oC (500 oF). Una corriente alterna (**AC**) de tres fases crea campos magnéticos que giran en el estator. Estos campos magnéticos inducen a los rotores y al eje a girar dentro del estator.



**Figura 4.** Motor Electrosumergible.

**Fuente:** (Savedra, 2013)

### B.2.1. Construcción del Motor Electrosumergible.

El bobinado del motor **CTL** está protegido por un encapsulado epóxico.



**Figura 5.** Ensamble del Motor.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2011)

- Mejora el pegamento mecánico
- Protección contra contaminación.
- Mejora la fuerza dieléctrica.
- Incrementa la conductividad del calor.

### **B.2.2. Operación del Motor.**

El enfriamiento del motor se logra a través de:

- Circulación interna del aceite del motor.
- Velocidad y flujo másico de crudo alrededor de la parte exterior del motor.

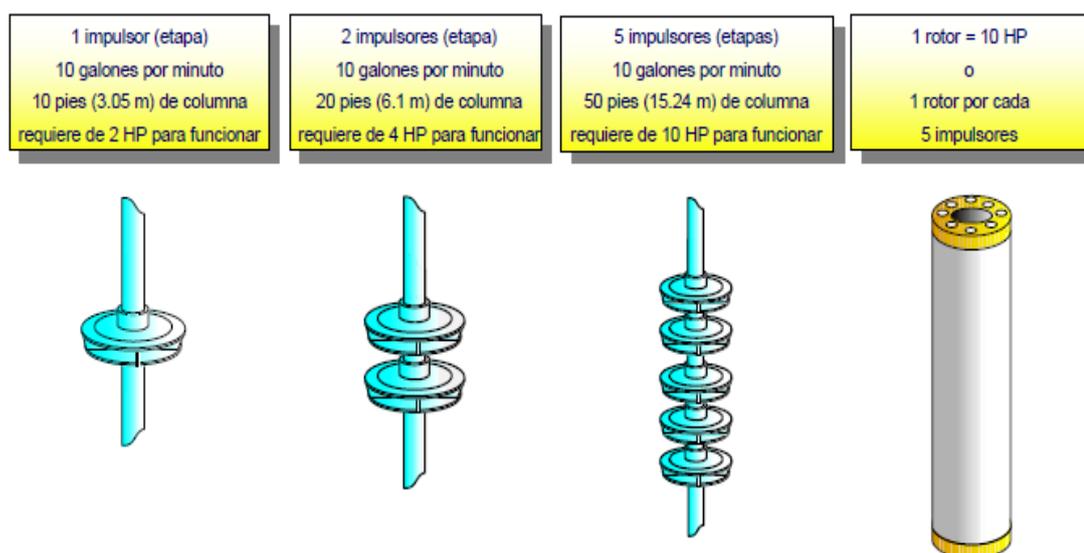
En el caso en donde el espacio anular no permita alcanzar la velocidad para refrigeración y la posición del motor esté por debajo de los punzados del pozo, se emplea la camisa de refrigeración para forzar al fluido a pasar por sobre las paredes del motor como si estuviera en un espacio anular menor. A continuación se presentan los tipos de motores de acuerdo a su diámetro (ver tabla 1).

**Tabla 1.****Tipos de motor.**

SERIE	DIÁMETRO	POTENCIA MÁXIMA (HP)
D	338	190
F	450	370
K	562	1000

Fuente: (BAKER HUGHES, 2015)

En este ejemplo se utilizan figuras hipotéticas que describen la forma básica para dimensionar bombas y motores (otras variables deben ser consideradas).

**Figura 6.** Forma Básica para Dimensionar Bombas y Motores.

Fuente: (BAKER HUGHES, 2015)

**B.2.3. Como Seleccionar el Motor.**

Para una selección apropiada del Motor se debe tener en cuenta:

- Potencia en **HP** que va a consumir el sistema.
- Porcentaje de la carga a la cual trabajará.
- Temperatura operativa del motor.
- Profundidad del equipo.
- Velocidad del fluido.

- Presencia de agentes corrosivos y carbonatos.
- Características del fluido (API, Corte de Agua, etc.)
- Diámetro interno del casing.
- Suministro de energía y equipo de superficie (Voltaje, corriente).

#### B.2.4. Componentes del Motor.



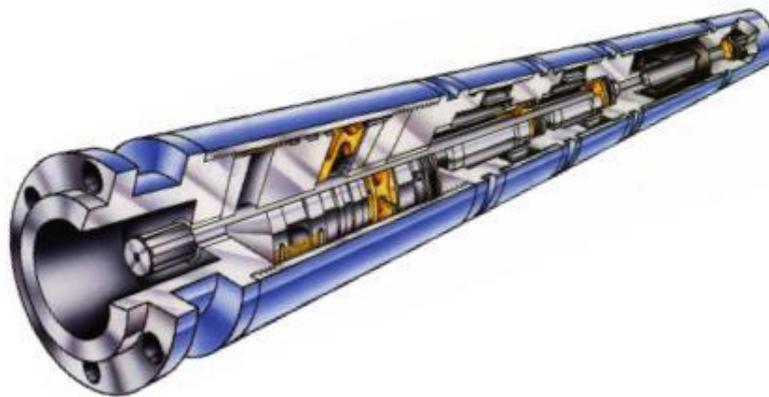
**Figura 7.** Componentes del Motor.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

#### B.3. Protector o Sección Sellante (Sello).

El sello está ubicado entre la parte superior del motor y la parte inferior de la bomba, puede ser instalado como una unidad sencilla o como una unidad tándem.

El sello está diseñado para proteger al motor por medio de cuatro funciones básicas, las cuales son:



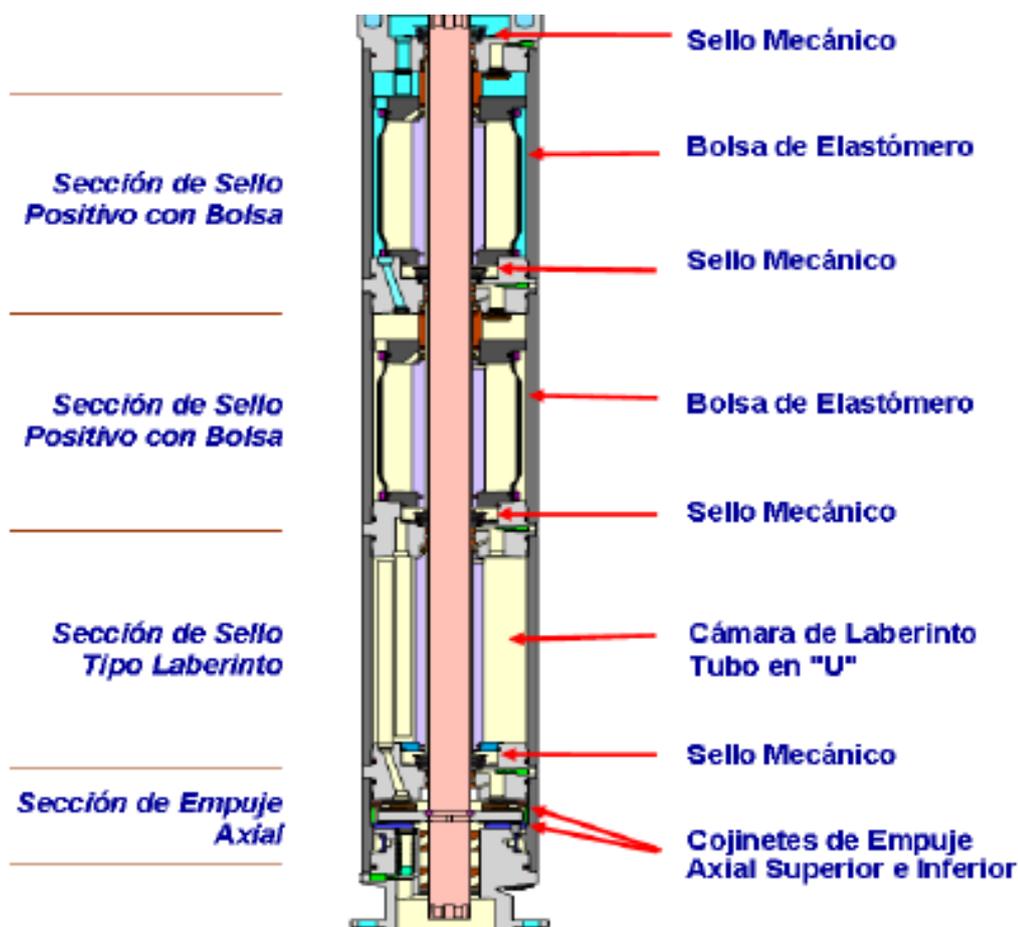
**Figura 8.** Protector o sección sellante.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2011)

- Provee el volumen necesario para permitir la expansión del aceite dieléctrico contenido en el motor. La expansión se debe al incremento de temperatura del motor cuando la unidad está en operación y a la temperatura del fondo del pozo.
- Igualar la presión del pozo con el fluido dieléctrico del motor; esta compensación de presiones a lo largo del motor evita que el fluido del pozo pueda infiltrarse en las uniones selladas del motor. El ingreso de fluidos del pozo al motor causarían una falla dieléctrica prematura; la bolsa elastomérica al igual que las cámaras tipo laberinto, permiten que se lleve a cabo el equilibrio de las presiones.
- Proteger al motor de la contaminación de los fluidos del pozo. Como se mencionara anteriormente, la contaminación del aislamiento del motor con el fluido del pozo conlleva una falla temprana del aislamiento. La sección sello contiene múltiples sellos mecánicos montados en el eje que evitan que el fluido del pozo ingrese por el eje. Las bolsas elastoméricas proporcionan una barrera positiva para el fluido del pozo. Las cámaras laberínticas proporcionan separación del fluido en base a la diferencia de densidades entre el fluido del pozo y el aceite del motor. Cualquier fluido del pozo que pase por los sellos superiores del eje o por la cámara superior es contenido en las cámaras laberínticas inferiores como un medio de protección secundario.
- Absorber el empuje axial descendente de la bomba. Esto se lleva a cabo por medio de un cojinete de empuje deslizante, que utiliza una película hidrodinámica de aceite para proporcionar lubricación durante la operación. El empuje descendente

es el resultado de la presión desarrollada por la bomba actuando sobre el área del eje y el empuje residual transferido por cada impulsor individual al eje.

Los sellos vienen en varios tamaños para unir motores y bombas de diámetros diferentes. El eje del motor es conectado al eje de la bomba por medio del eje del sello, el cual tiene una terminación con estrías en cada extremo.



**Figura 9.** Función del Sello.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

El extremo superior del eje del sello se une al eje de la bomba de tal manera que el peso del eje de la bomba, la carga hidráulica longitudinal en el eje de la bomba, y cualquier carga longitudinal de los impulsores fijos es transmitida de la bomba al eje del ensamble del sello. Estas cargas son transferidas a su vez al cojinete de empuje, aislándolas del eje del motor.

#### B.4. Separador de Gas.

“Los Separadores de Gas se usan cuando el gas libre causa interferencia con el rendimiento de la bomba. El Separador de Gas está diseñado para prevenir que gran parte del gas libre entre a la bomba, previene la cavitación y puede utilizarse tanto en forma sencilla o como en **TANDEM.**”



**Figura 10.** Separador de Gas.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

La cámara rotativa de diseño especial actúa como una centrífuga, obliga a los fluidos pesados a dirigirse hacia las paredes exteriores y deja que el gas migre hacia el centro de la cámara. El gas libre es físicamente separado del resto de los fluidos al final del separador, el fluido es dirigido hacia la toma de la bomba y el gas es venteado hacia el espacio anular.

### **B.5. Intake.**

Las admisiones estándar o intake solamente cumplen con las funciones de permitir el ingreso de los fluidos del pozo a la bomba y transmitir el movimiento del eje en el extremo del sello al eje de la bomba.



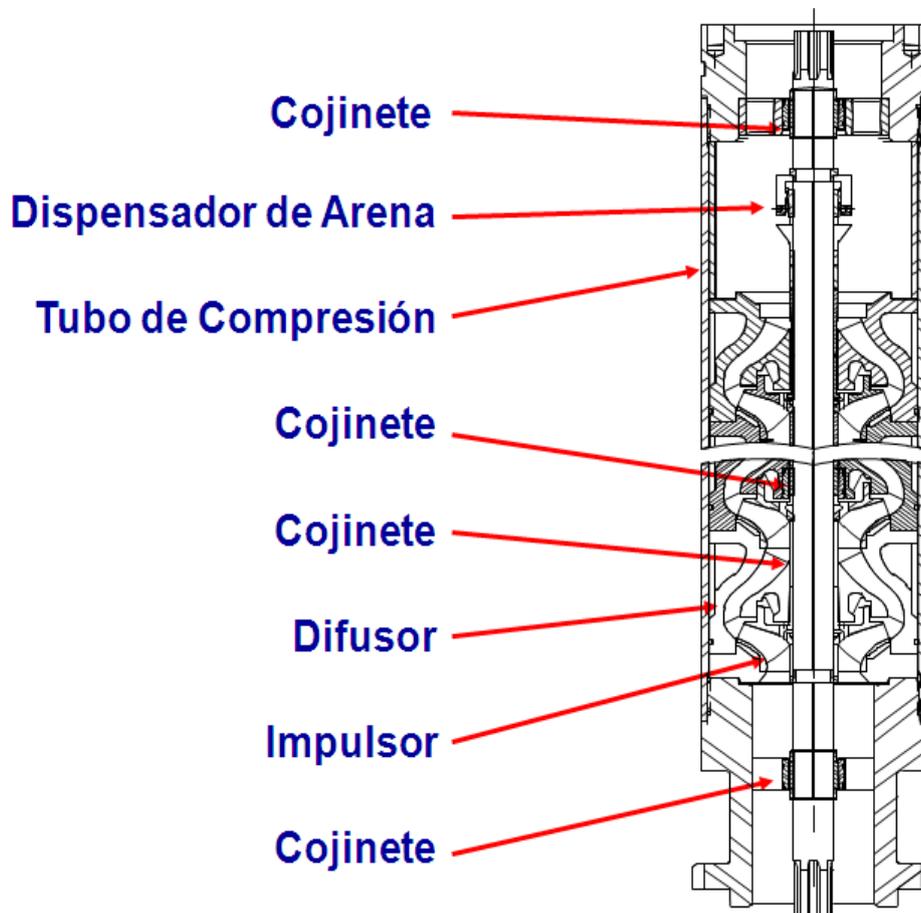
**Figura 11.** Intake o Succión.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

### **B.6. Bomba Electrosumergible.**

“La Bomba Centrífuga está construida de una serie de etapas (Impulsores y Difusores) ubicados en un alojamiento llamado “housing”. Se superponen varias etapas (Bombas Multietapas) para obtener la altura de columna deseada, las Bombas Centrífugas multietapas de Centrilift pueden ser de flujo radial o flujo mixto. Los impulsores de la bomba pueden tener libertad de movimiento axial “Flotante,” o pueden estar fijos al eje de la bomba “de Compresión”.

Cada etapa de la Bomba consta de un impulsor y un difusor. El fluido entra al impulsor por medio de un orificio interno, cercano al eje y sale por el diámetro exterior del impulsor. Le da al fluido energía cinética y potencial.

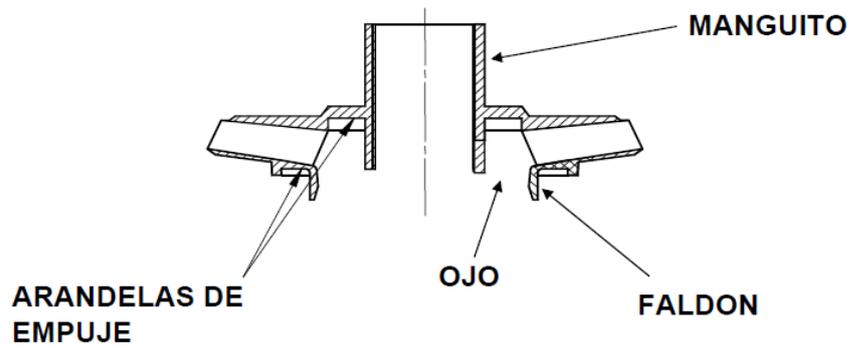


**Figura 12.** Bomba Electrosumergible.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

El difusor dirige el fluido hacia el siguiente impulsor. Transforma energía cinética en energía potencial. Se superponen varias etapas para obtener la altura de columna (TDH) deseada.

## IMPULSOR

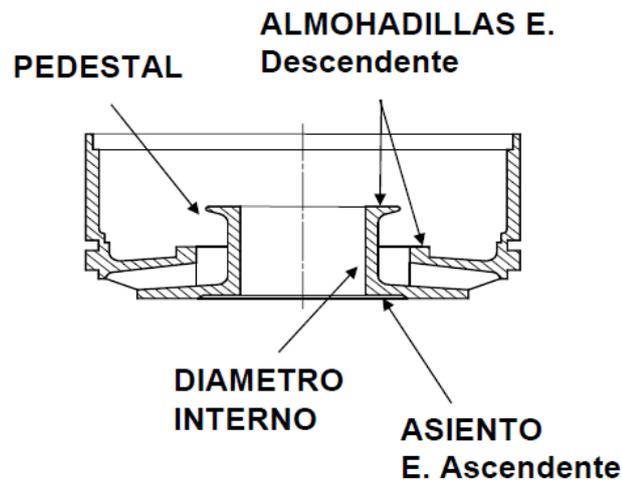


**Movimiento rotatorio:** Radial (hacia fuera del impulsor)

Tangencial (en dirección al diámetro del impulsor)

**Resultante:** Dirección de flujo.

## DIFUSOR

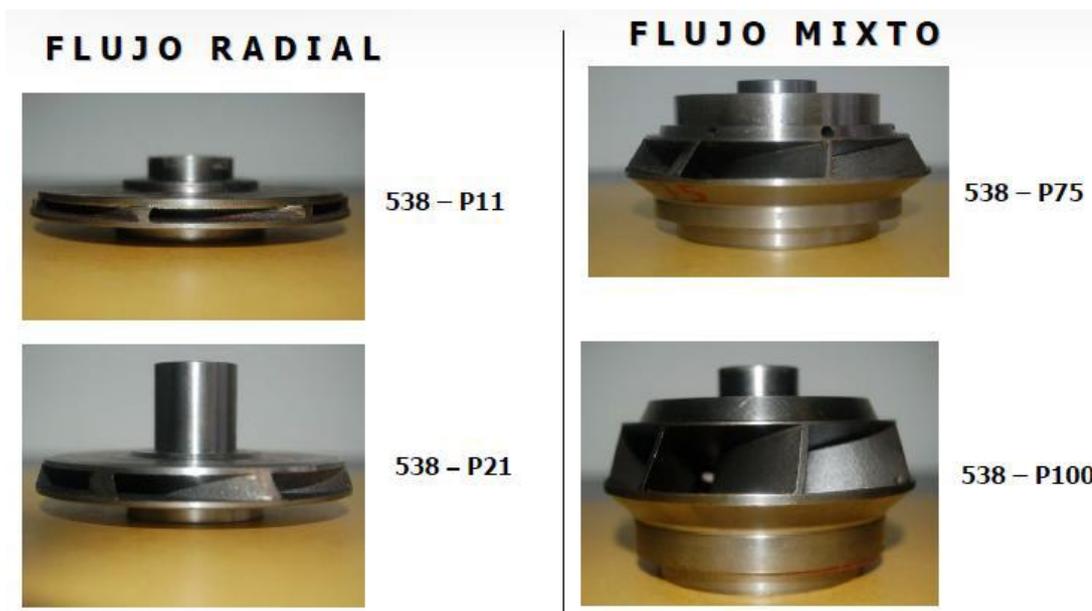


**Convierte la energía de alta velocidad y baja presión, en energía de baja velocidad y alta presión.**

**Figura 13.** Partes de la Etapa de la Bomba.

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

Nomenclatura de fabricante: Las etapas se llaman por sus mismas series (diámetro ext. de bomba) y la tasa o caudal a la mejor eficiencia (en **BPD** a 60 Hz).



**Figura 14. Tipos de Etapas de la Bomba.**

**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

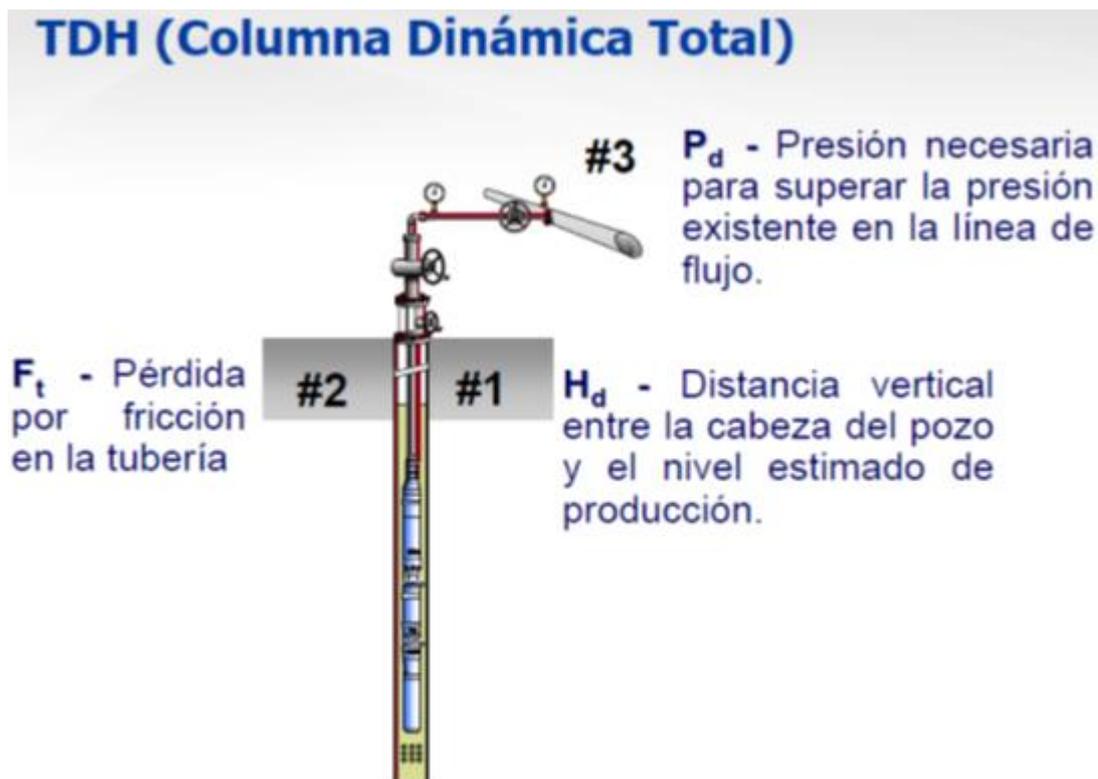
El **TDH** es la altura total requerida para bombear la capacidad de fluido deseada. Esta altura hace referencia a la presión que requiere la bomba en la cabeza,

Se obtiene de la siguiente forma:

$$\mathbf{TDH} = H_d + F_t + P_d$$

Donde:

- $H_d$ : Es la distancia vertical en pies o metros, entre la cabeza del pozo y el nivel estimado de producción
- $F_t$ : Es la columna requerida para vencer las perdidas por fricción en la tubería.
- $P_d$ : Es la presión necesaria para superar la presión existente en la línea de flujo.



**Figura 15.** Altura Dinámica Total TDH.

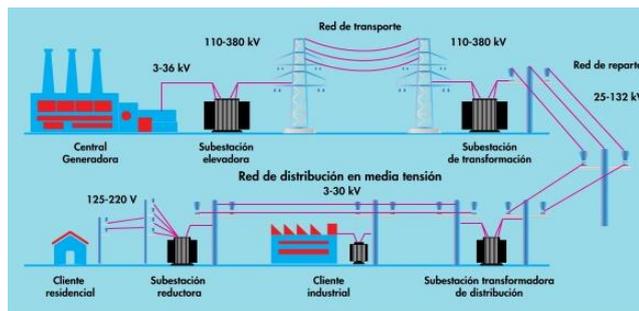
**Fuente:** (BAKER HUGHES, 2015)

## 2.2. Sistemas Eléctricos y Electrónicos.

En la actualidad, sistemas eléctricos y electrónicos, están presentes en la vida cotidiana de las personas, haciendo que muchas personas, no le den la importancia que estos sistemas tienen. Los encontramos desde la toma corriente de las casas, hasta en aparatos cercanos a nosotros, como el celular, la televisión, la radio, etc.

### 2.2.1. Sistemas Eléctricos.

Un sistema eléctrico es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo. La podemos encontrar en todos los sistemas de distribución de energía, desde los postes de iluminación pública hasta en las tomas de corriente de las casas, como el mostrado en la figura 16.



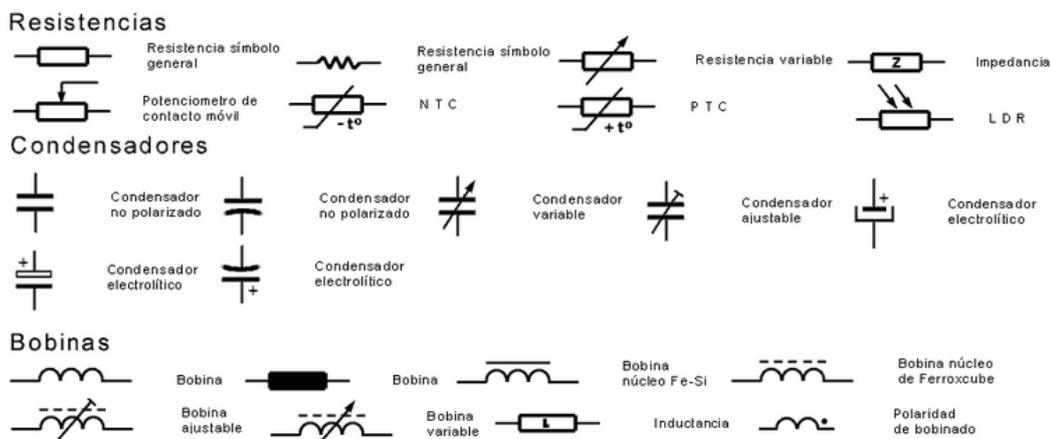
**Figura 16.** Red de distribución eléctrica.

**Fuente:** (Revista Eléctrica, 2011)

**A. Elementos de un Sistema Eléctrico.**

Según (Edminister, 1965), los elementos de un circuito pueden ser:

- Generadores de tensión
- Generadores de corriente
- Fuente eléctrica
- Fuente independiente
- Fuente dependiente
- Resistores
- Capacitores o condensadores
- Inductor o bobina



**Figura 17.** Elementos de un circuito eléctrico.

**Fuente:** (Universidad Nacional Abierta y a Distancia)

### 2.2.2. Sistemas electrónicos.

Los sistemas electrónicos tienen su aparición a comienzos del siglo XX con la aparición de los tubos de vacío se pudieron amplificar las señales de radio y los sonidos débiles; el desarrollo de una amplia variedad de tubos para funciones específicas, permitió el desarrollo de las primeras computadoras.

#### A. El transistor.

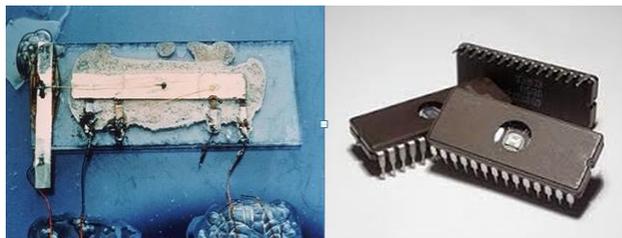
El transistor como el de la figura 18, apareció en 1948 y reemplazó al tubo de vacío en la mayor parte de sus aplicaciones, a diferencia de las válvulas, el transistor es un dispositivo controlado por corriente y del que se obtiene corriente amplificada. (Bell laboratories, 2011)



**Figura 18.** Primer transistor realizado por físicos W. Shockley, J. Bardeen y W. Brattain

**Fuente:** (Bell laboratories, 2011)

El avance de los transistores, permitió, el desarrollo del circuito integrado como se ve en la figura 19, permitiendo la reducción de los elementos electrónicos, y la miniaturización de todos los equipos electrónicos.



**Figura 19.** El primer circuito integrado, por Jack Kilby el 12 de septiembre de 1958.

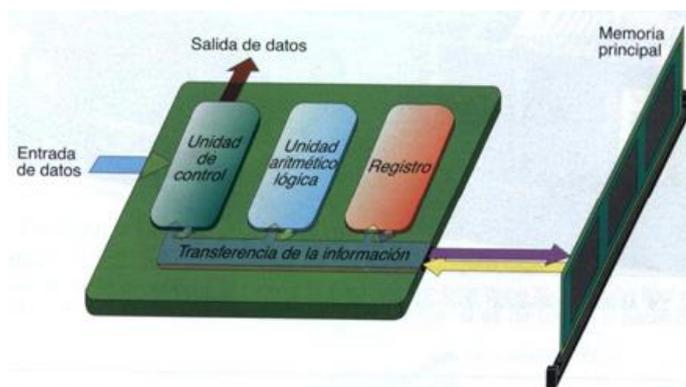
**Fuente:** (La opinion de malaga, 2014)

## B. Microprocesador.

El microprocesador es la parte fundamental de un **CPU**, es un componente electrónico compuesto por cientos de miles de transistores integrados en una placa de silicio. (Urbina, 2010)

Un microprocesador como el de la figura 20, está conformado por:

- Unidad aritmética lógica(ALU)
- Unidad de control (UC)
- Buses
- Registros

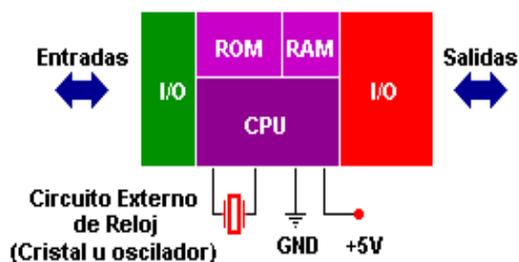


**Figura 20.** Esquema de un Microprocesador y sus partes.

**Fuente:** (Urbina, 2010)

### C. Microcontroladores.

Según (Urbina, 2010), el Microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ) es un computador completo, de prestaciones limitadas, contenido en el chip de un circuito integrado, programable y con memoria. Sus puertos de entrada/salida soportan el conexionado de sensores y actuadores, como se muestra en la figura 21.



**Figura 21.** Esquema de un microcontrolador y sus partes.

**Fuente:** (Urbina, 2010)

### 2.3. Controlador lógico programable (PLC).

Un **PLC**, es considerado una computadora que se utiliza en la ingeniería de automatización industrial. Con los **PLC'S** como se muestra en la figura 22, es posible automatizar procesos electromecánicos y tener la certeza de que este va a funcionar de la mejor manera, dando a las personas una gran confiabilidad debido a su robustez.

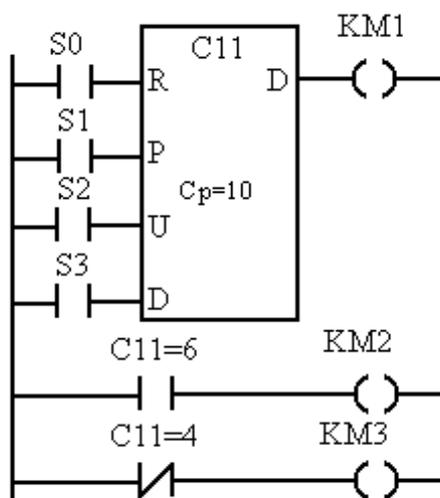


**Figura 22.** Imagen de diferentes PLC'S.

**Fuente:** (Micro Technology Inc., 2003)

A diferencia de las computadoras, los PLC están diseñados para múltiples señales de entrada y de salida, esto debido a que se le pueden conectar sensores de temperatura, humedad, proximidad, o presión y también actuadores de presión, ventiladores, motores, u otros.

Los primeros **PLC** fueron diseñados para reemplazar sistemas de relés lógicos. Estos **PLC** fueron programados en "lenguaje ladder" cómo se ve en la figura 23, que se parece mucho a un diagrama esquemático de la lógica de relés.



**Figura 23.** Imagen de una programación tipo Ladder.

**Fuente:** (Dorf & Bishop, 2005)

#### 2.4. Controladores Industriales.

El control automático se ha convertido en parte fundamental de la ingeniería y la ciencia, ya que ha tomado gran importancia en casi todos los ámbitos de los que estamos rodeados, desde sistemas para vehículos inteligentes, hasta en procesos de fabricación de productos de uso cotidiano.

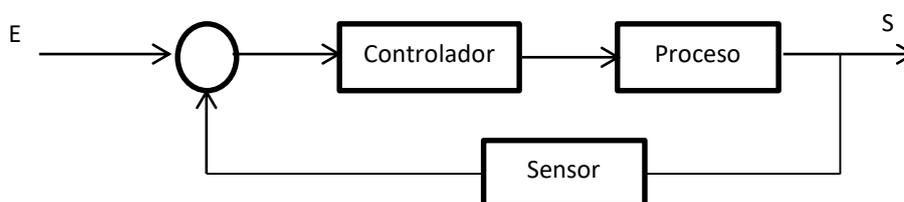
El control automático permite que operaciones esenciales como el control de presión, temperatura, humedad, etc., sean precisas, rápidas, exactas y sin la necesidad de tener una persona específica para cada área.

### 2.4.1. Controlador.

El controlador de un proceso se limita a realizar rechazo a perturbaciones y tener sensibilidad a cambios en parámetros físicos. Un sistema de control es un conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal y como se desea mediante una acción de control. (Dorf & Bishop, 2005)

En la figura 24, se puede ver cómo está conformado un lazo de control y sus componentes son:

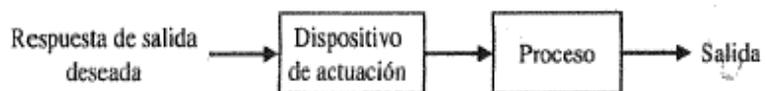
- Entrada
- Salida
- Planta
- Controlador
- Actuador
- Transductor



**Figura 24.** Lazo de control donde se describen las entradas, salidas, retroalimentaciones, el controlador y el proceso a ser controlado.

### 2.4.2. Sistemas de control de Lazo Abierto.

Un sistema de control en lazo abierto como el de la figura 25, es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida:

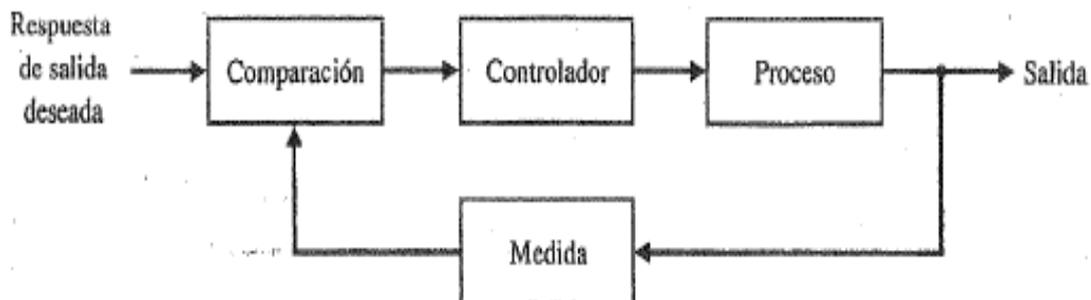


**Figura 25.** Dibujo de un lazo de control abierto.

**Fuente:** (Dorf & Bishop, 2005)

### 2.4.3. Sistemas de control en Lazo Cerrado.

En un sistema de control en lazo cerrado como el de la figura 26, la salida o variable controlada interviene en la acción de control, a este efecto se lo denomina retroalimentación.



**Figura 26.** Dibujo de un lazo de control cerrado con retroalimentación.

**Fuente:** (Dorf & Bishop, 2005)

### 2.4.4. Señal de control.

Se puede entender a la señal de control como, indicador de los actuadores (elementos finales de control) de la forma en la que se deben de accionar.

### 2.4.5. Tipos de controladores.

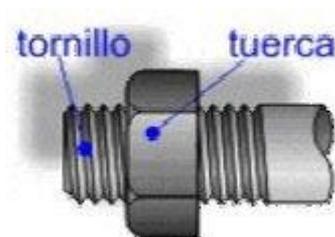
Según (Dorf & Bishop, 2005), de acuerdo a como se comporta la señal, se tiene los siguientes controladores:

- Control de dos posiciones **ON-OFF**
- Control proporcional **P**
- Control integral **I**
- Control proporcional integral **PI**
- Control proporcional derivativo **PD**
- Control proporcional integral derivativo **PID**
- Control Fuzzy ( Lógico)

## 2.5. Mecanismo de transformación de movimiento

### 2.5.1. Mecanismo Tornillo-Tuerca

Se presenta a continuación el mecanismo tornillo-tuerca figura 27 que también se lo conoce como husillo-tuerca, el cual se lo considera como un mecanismo capaz de convertir el movimiento circular en lineal, el mismo que se encuentra conformado por una tuerca alojada en un eje roscado.



**Figura 27.** Mecanismo tornillo-tuerca.

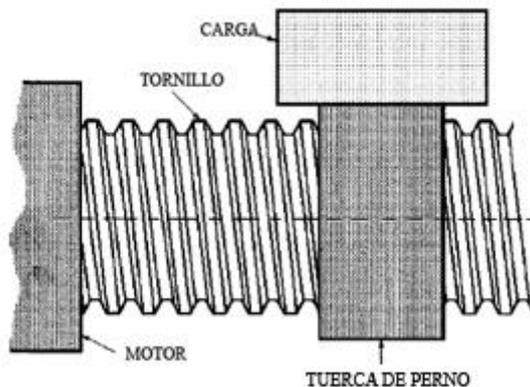
**Fuente:** (WordPress, 2014)

El funcionamiento de este mecanismo consiste en que si el tornillo gira y la tuerca se mantiene fija con respecto a su orientación entonces obtenemos como resultado un movimiento de avance rectilíneo dentro de ella. Los siguientes factores son tomados en cuenta para el avance: (WordPress, 2014)

- El paso de la rosca del tornillo (distancia entre dos crestas existentes en la rosca del tornillo).
- Velocidad de giro del elemento motriz.

### 2.5.2. Transmisión por tornillo posicionador.

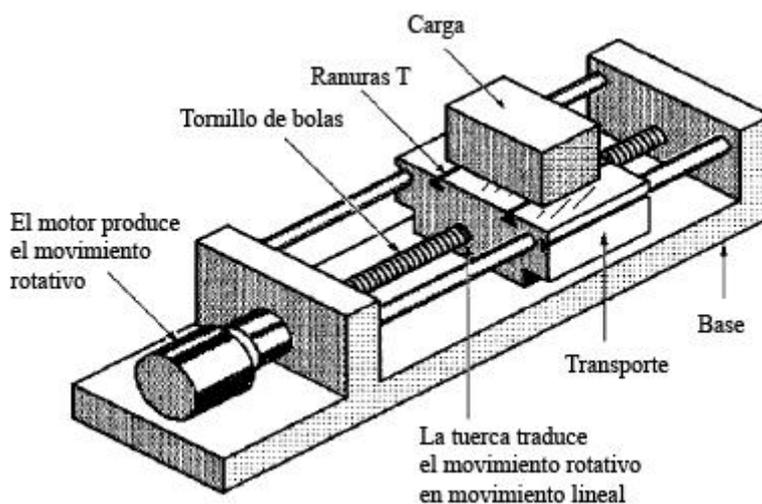
En la figura 28 se muestra la transmisión por tornillo posicionador en donde la carga que se desea desplazar en dirección axial del tornillo se mueve cuando se produce giro en el tornillo posicionador.



**Figura 28.** Transmisión por tornillo posicionador.

**Fuente:** (Tecnoficio, 2014)

Para obtener el movimiento de traslación de la carga (motor impulsor) a un solo grado de libertad (eje y) las guías lineales o también llamadas etapas lineales motorizadas lo reducen. Se asegura un movimiento suave y en línea recta minimizando la fricción gracias a la guía linear la misma que también soporta la masa de la carga al ser operada. En la figura 29 podemos observar un ejemplo:



**Figura 29.** Mecanismo de etapa lineal motorizada de eje único con transmisión de tornillo.

**Fuente:** (Tecnoficio, 2014)

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE LA MÁQUINA**

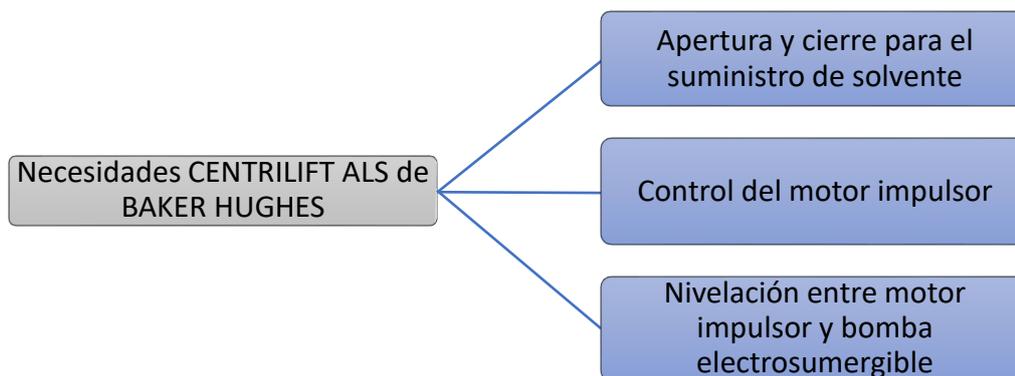
#### **3.1. Introducción.**

Los datos empleados en el diseño serán el punto de inicio a seguir por el diseñador, y se establecerá una secuencia ordenada que tendrá una entrada o datos iniciales, para de esta manera tratar de obtener una solución de ingeniería práctica y funcional que logre satisfacer el problema en cuestión. Un proceso que implica diseño se lo puede entender como un ejercicio lleno de creatividad y aplicación de conocimientos, agregado un método investigativo específico y sobre todo práctico, para así permitir que el proyecto sea organizado, y brinde facilidad a la hora de obtener resultados.

El contenido de este capítulo abarcará el diseño y el proceso de selección concerniente a los diferentes elementos que van a formar parte de la máquina para el mantenimiento de bombas electrosumergibles en la planta **CENTRILIFT ALS** de **BAKER HUGHES INC.**

#### **3.2. Consideraciones para el diseño.**

Se busca por parte del auspiciante que se lleve a cabo el desarrollo de una solución satisfactoria para el mantenimiento automatizado de bombas electrosumergibles la cual facilite y mejore el proceso de limpieza interna, reduzca el tiempo y personal empleado en el proceso, así como también se contribuya a la mejora de calidad y eficiencia. Conjuntamente con el diseñador se llegaron a concretar las principales necesidades que se analizarán y tomarán en cuenta, las mismas que se muestran a continuación (ver figura30).



**Figura 30.** Mapa de necesidades por parte de la empresa auspiciante.

En cada necesidad establecida se procederá a efectuar un análisis para proceder a buscar la mejor solución, en donde se ramificará en la búsqueda de necesidades secundarias, las cuales también serán tomadas en cuenta como requerimientos a solucionar para el problema en sí.

### 3.2.1. Apertura y cierre para el suministro de solvente.

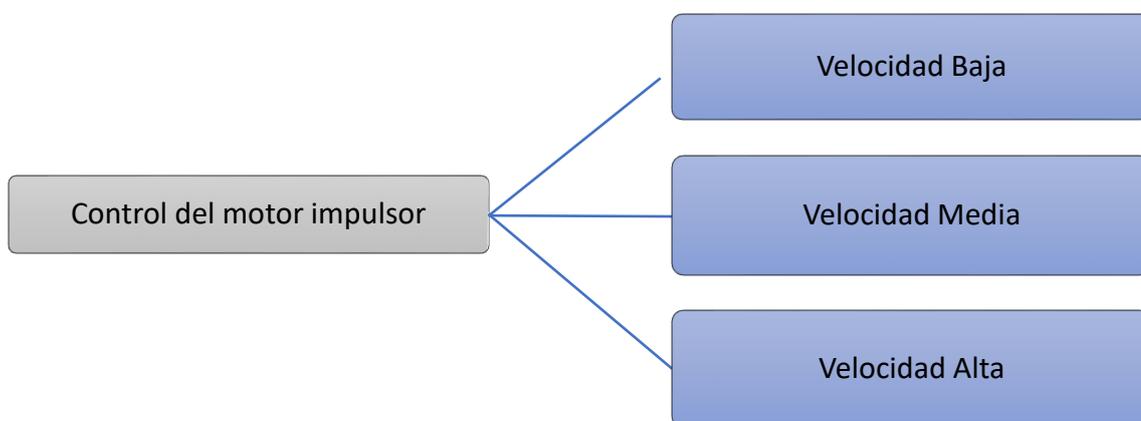
En la apertura y cierre para la suministración de solvente, de una manera rápida y oportuna, se presenta el problema de disponer la válvula en estado de apertura al mismo tiempo que el operario cuenta con otros requerimientos para que se lleve a cabo el proceso de inicialización del mantenimiento así como en la finalización del mismo en donde se hace necesario la asistencia de un segundo operario que disponga el estado de cierre de la válvula.



**Figura 31.** Mapa de las necesidades de apertura y cierre para el suministro de solvente, de la empresa auspiciante.

### 3.2.2. Control del motor impulsor.

Para transmitir movimiento al eje de la bomba electrosumergible la máquina tendrá que contar con un motor impulsor el cual por necesidad del auspiciante deberá contar con tres diferentes velocidades para mantener las mejores condiciones del mantenimiento a realizar, además que se deberá analizar la elaboración de una estructura estable que cuente con un soporte transportable en sentido vertical. Las necesidades de este apartado se muestran en la (ver figura 32).



**Figura 32.** Mapa de las condiciones que intervienen en el control del motor impulsor.

Para mantener la estabilidad y para que se realice el manejo en las mejores condiciones se debe conocer y analizar el posicionamiento que deberá ocupar el motor impulsor, así como las dimensiones del esqueleto de la estructura. Toda la base en si deberá ser transportable y contar con las diferentes seguridades en los instrumentos empleados para impartir movimiento; como son frenos en las cuatro llantas locas que se utilizaran por requerimiento de parte del auspiciante que en conjunto con el diseñador se observó el lugar de la planta en la que será ubicada la máquina para su funcionamiento.

### 3.2.3. Nivelación entre motor impulsor y bomba electrosumergible.

Para el proceso de nivelación se debe mantener un planteamiento de la estructura que implique estabilidad, además se realizó la medición para las diferentes alturas a las cuales se encuentran ubicadas las bombas electrosumergibles con sus apoyos, y a las mismas que se impartirá movimiento con el motor impulsor.

**Tabla 2.**

**Alturas medidas en el mes de mayo del 2015.**

Bombas electrosumergibles	Altura apoyo [mm]	Altura de apoyo al eje [mm]	Altura total [mm]
Tipo A	600	100	700
Tipo B	550	85	635
Tipo C	835	100	935
Tipo D	720	75	795
Tipo F	415	130	545

Los valores obtenidos en la (ver tabla 2) se deberán tomar en cuenta para el movimiento vertical en ascenso y descenso estableciendo de esta manera un alcance máximo y un alcance mínimo los mismos que se observan que son 935mm y 545mm respectivamente. Cabe recalcar, que para este procedimiento el tiempo en el que se realiza este movimiento deberá ser bajo para de esta forma adquirir precisión y facilidad para el operario.

### 3.2.4. Conclusión.

Con respecto a las consideraciones de diseño se concluye que se debe realizar una máquina que posea en primera instancia una electroválvula para suministrar el solvente, un motor impulsor que cuente con una estructura estable y con una base que lo permita ser transportado por una trayectoria vertical para ser alineado al acople del eje de la bomba electrosumergible considerando un alcance máximo de 935mm y un alcance mínimo de 545mm, movimiento que debe poseer una velocidad baja para adquirir precisión como se mencionó; ahora bien se procederá a plantear el análisis de las alternativas que se nos presentan.

### 3.3. Ponderación de las consideraciones para el diseño.

Respecto al diseño, se partirá con el análisis del elevador de la máquina, para proseguir con el del bastidor, y de esta manera poder realizar el ensamble de todos los elementos mecánicos establecidos como necesarios; y finalmente efectuar el diseño eléctrico y electrónico, para que en conjunto permita obtener el funcionamiento correcto de la máquina.

En el sitio donde va a llevar a cabo su funcionamiento la máquina, es decir en las instalaciones de la empresa auspiciante, las principales consideraciones obtenidas por parte de los encargados, se presentan a continuación:

- Costo dentro del presupuesto planteado
- Robusta
- Amigable con el usuario
- Transportable
- Segura y confiable.
- Durable
- Estética
- Mantenimiento Sencillo

Ahora se procede a establecer un valor que represente la importancia a cada una, los mismo que van a ser calificados en un rango porcentual de 0 a 100 para de esta manera obtener un grado de importancia, como se muestra en la (ver tabla 3).

**Tabla 3.**

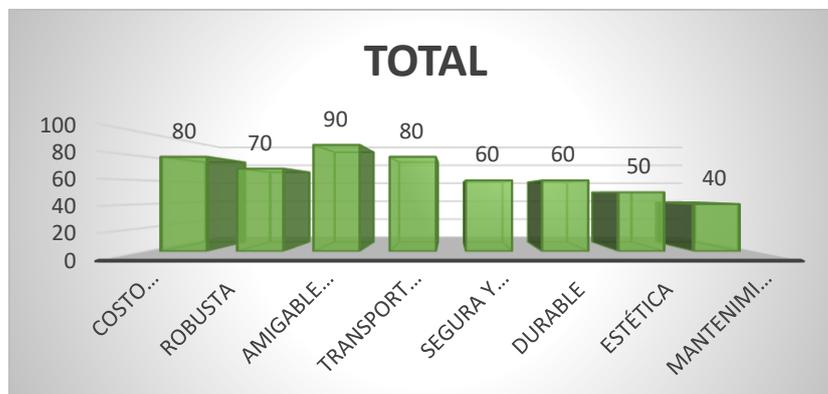
#### **Ponderación de las principales consideraciones de la máquina.**

Características Deseadas	Porcentaje (%)
Costo dentro del presupuesto planteado	80
Robusta	70
Amigable con el usuario	90
Transportable	80
Segura y confiable.	60

CONTINÚA 

Durable	60
Estética	50
Mantenimiento Sencillo	40

En la figura 33, se muestra la representación gráfica de la tabla 3.



**Figura 33.** Porcentaje de la ponderación de las principales consideraciones de la máquina.

Las características que se presentaron son variables no específicas, por lo tanto no las podemos cuantificar, y se procederá a relacionarlas con variables específicas, como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4.**

**Relación de variables no específicas a variables específicas de las características de la máquina.**

Variable No específica	Variable Especifica
Costo dentro del presupuesto planteado	Material
Robusta	Material
Amigable con el usuario	Diseño
Transportable	Diseño
Segura y confiable.	Material, diseño
Durable	Material
Estética	Diseño
Mantenimiento Sencillo	Material, Diseño

### 3.3.1. Conclusión.

Con respecto a la ponderación de las consideraciones para el diseño de la máquina se puede concluir que se ha designado y se ha considerado lo más relevante para que la máquina cumpla con las necesidades requeridas y que todo se basará principalmente en la selección del material y el diseño propio del mismo.

### 3.4. Diseño mecánico.

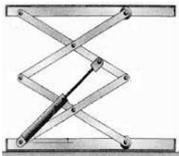
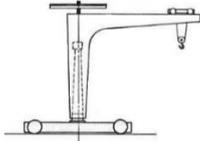
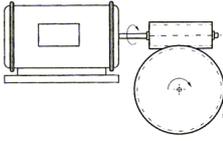
#### 3.4.1. Diseño del elevador para el motor impulsor.

##### A. Selección del tipo de elevador.

Para la selección del tipo de elevador para el motor impulsor, se comenzará con la selección de 3 tipos de elevadores, y se realizará una matriz morfológica, proseguida de un análisis de cuál es la forma más óptima que debería tener el elevador.

**Tabla 5.**

**Matriz morfológica de la selección del tipo de elevador para el motor impulsor.**

SISTEMA	Elevador, Sistema de nivelación		
ÍTEM: Tipo	Elevador del tipo tijera	Elevador con puntal	Elevador basado en tornillo sinfín
GRAFICO			
VENTAJAS	Perfecto para trabajos en altura	Presenta facilidad en su diseño	Son compactos
	Simetría en su forma	Muy utilizado en la industria	Requieren soportes y apoyos simples
	Presenta una buena estabilidad	El material a transportar requiere un apoyo simple	Se consideran de fácil instalación
	Son fáciles de operar entregando mayor flexibilidad		
DESVENTAJAS	Presenta mayor desventaja en relación al costo	No posee estabilidad en el apoyo del material a transportar	No es recomendado para grandes elevaciones (hasta 20 metros)

CONTINÚA 

Presenta mayor desventaja en relación a su construcción (Procesos de mecanizado)	Difícil equilibrar la elevación	Volumen de material bajo
Requiere una mayor ocupación de espacio		No se recomienda para transportar materiales frágiles, delicados o abrasivos

Ahora de la misma manera, se realizará la evaluación con los criterios más relevantes para la elección del tipo de elevador que nos permita realizar el movimiento de ascenso y descenso más eficiente para la máquina.

### A.1. Criterios a evaluar

- **Manufactura:** Un elevador de forma simple, sin un mecanizado complicado, ni cortes especiales, será el que va a admitir una fácil manufactura. Se determinó un valor de 4 puntos para este criterio, donde 4 obtendrá el más fácil de manufacturar, y 0 cuando más difícil sea su manejo.
- **Seguridad:** Se considerara seguro al elevador que presente confianza al operario de que no va a dañarse de manera rápida e igualmente brinde seguridad en su funcionamiento. Se determinó un valor de 2 puntos para este criterio, donde 2 obtendrá el que mayor seguridad brinde al diseño, y 0 cuando no cumpla los requerimientos de seguridad.
- **Mantenimiento:** El elevador será considerado de mantenimiento sencillo si su forma no contenga lugares de difícil acceso para su lubricación, limpieza o arreglo. Por lo cual se determinó un valor de 3 puntos para este criterio, donde 3 obtendrá el que menor mantenimiento requiera, y 0 cuando no cumpla los requerimientos de mantenimiento adecuado.
- **Costos:** Para el costo de la construcción del elevador, se tomará en cuenta la cantidad de material que se va a necesitar, así como los procesos necesarios para su fabricación. Se determinó un valor de 4 puntos para este criterio, donde 4 obtendrá el que menor cantidad de elementos requiera para su elaboración, y 0 cuando no se encuentre dentro de los requerimientos presupuestarios.

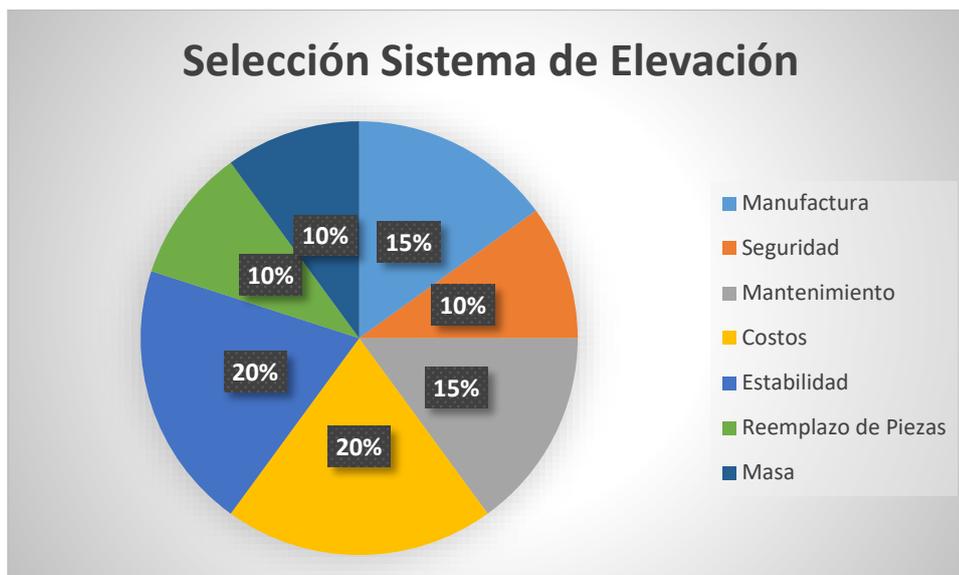
- **Estabilidad:** Para un elevador este criterio estará dado en consideración de la capacidad que tendrá de admitir al motor en su apoyo sometido a elevación, así como a su equilibrio y estabilidad. Se determinó un valor de 4 puntos para este criterio, donde 4 obtendrá el que presente mayor estabilidad y soporte para el motor a transportar, y 0 cuando no se encuentre dentro de los requerimientos planteados.
- **Reemplazo de Piezas:** La capacidad de poder reemplazar las partes constitutivas de modo fácil y rápido si existiere el caso de ocurrir algún daño será también considerado en el proceso de evaluación para esta selección. Se determinó un valor de 2 puntos para este criterio, donde 2 obtendrá el que presente mayor facilidad de reemplazo de sus componentes, y 0 cuando no se encuentre dentro de los requerimientos de sustitución.
- **Masa:** La masa del elevador es considerado también como factor relevante, ya que será parte constitutiva de la máquina, y mientras más elaborado sea, mayor masa tendrá. Se determinó un valor de 2 puntos para este criterio, donde 2 obtendrá el que presente menor masa, y 0 cuando mayor sea su masa.

**Tabla 6.**

**Matriz de valoración para la selección de la forma del sistema de elevación.**

Criterios a Evaluar			
		Símbolo	Valoración
1	Manufactura	M	3
2	Seguridad	S	2
3	Mantenimiento	MT	3
4	Costos	C	4
5	Estabilidad	F	4
6	Reemplazo de Piezas	PS	2
7	Masa	MA	2
			20

A continuación se muestra en la figura 34, los criterios sometidos a evaluación donde se obtiene un total de 20 puntos, haciendo que el diseño propuesto que mejor puntaje obtenga sea el más adecuado.



**Figura 34.** Criterios de la matriz de valoración para la selección del tipo de elevador para el motor impulsor.

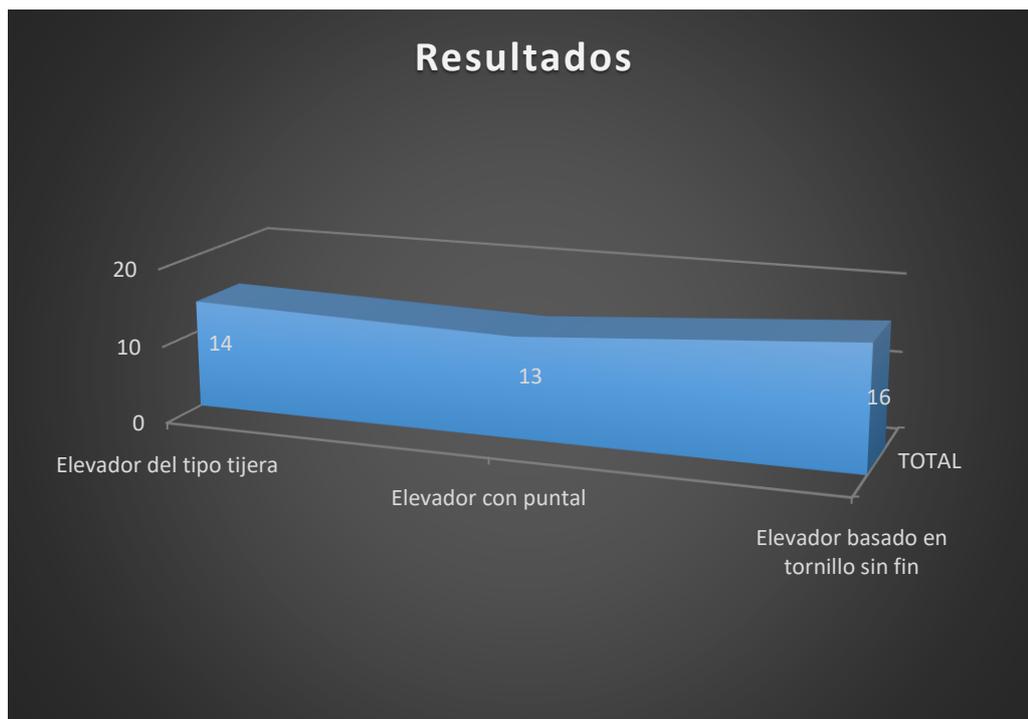
Una vez con los criterios establecidos, se procederá a elaborar la matriz de evaluación y se asignará un valor a cada criterio, donde el criterio sometido a evaluación deberá tener un valor máximo, dependiendo de qué tan óptimo sea para ese criterio.

**Tabla 7.**

**Evaluación de criterios para la selección del tipo de elevador para el motor impulsor.**

SISTEMA	ÍTEM	CRITERIOS								
		TIPOS	M	S	Mn	C	E	R	Ma	TOTAL
Elevador motor impulsor	Forma	Elevador del tipo tijera	1	2	2	2	4	2	1	14
		Elevador con puntal	2	1	2	3	1	2	2	13
		Elevador basado en tornillo sin fin	3	1	2	4	4	1	1	16

Se presenta en la figura 35, los resultados obtenidos en los criterios evaluados.



**Figura 35.** Resultado de la selección del tipo de elevador para el motor impulsor.

#### **A.1.1. Conclusión.**

El tipo de elevador basado en tornillo sin fin es el que mejor se adapta a las necesidades planteadas para el sistema de elevación del motor impulsor, debido a que facilita su construcción, brinda una excelente estabilidad y permite ser reparado o reemplazado.

#### **B. Características y consideraciones.**

Con respecto al diseño del elevador para el motor impulsor, se seleccionó un eje de acero de transmisión **AISI 1018** (ver en Anexos), por pedido y disponibilidad del proveedor del auspiciante, el cual posee las siguientes características:

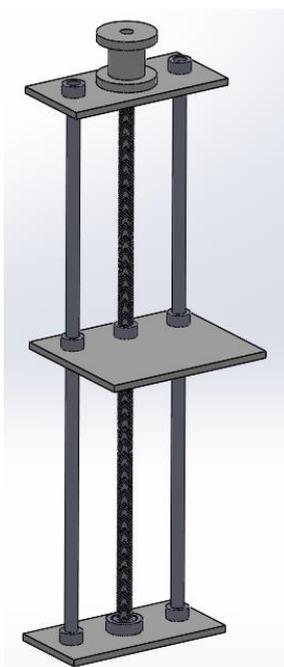
- Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.
- Aplicaciones: Levas, uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado3.
- Acero de transmisión: **AC.FRIO 7/8 (3.0468 KG/MT)**.

Para poder realizar el movimiento ascendente y descendente de nivelación entre el motor impulsor y el acople para la bomba electrosumergible, considerando abarcar la altura de todas las bombas electrosumergibles hacia sus acoples, va a ser necesario ocupar un espacio dentro del rango teniendo como máximo 935mm y como mínimo 545mm, y tomando también en consideración, que se decidió aumentar la altura por consecuencia del medio de transporte que son las ruedas, las mismas que se analizará más adelante, así como del apoyo del elevador para de esta manera evitar la construcción de un elevador muy alto. Que tendría las siguientes medidas:

- Ejes de trabajo: Z
- Recorrido vertical eje Z: 632(mm)
- Altura: 1088(mm)
- Ancho: 300(mm)
- Profundidad: 250(mm)
- Peso máximo de la carga 12,39(kg)

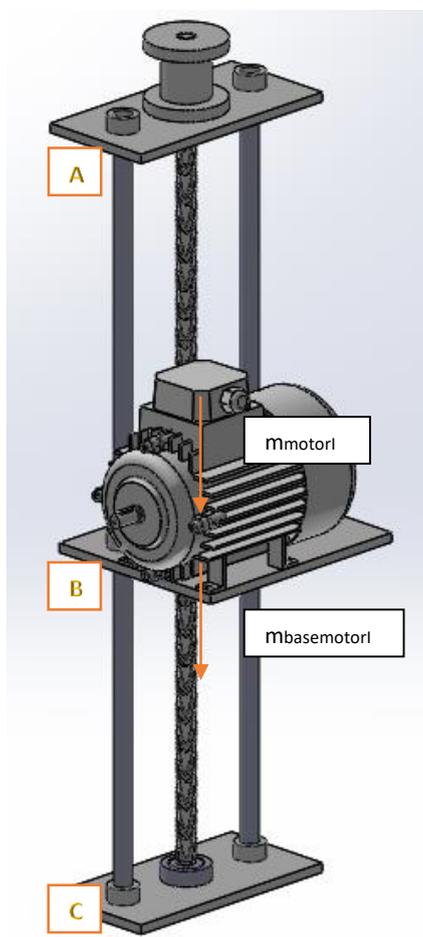
### C. Mecanismo del sistema de transmisión de movimiento.

Para poder realizar los diseños de las partes de la máquina, se ocupará un programa de dibujo tipo CAD/CAE.



**Figura 36.** Diseño de la estructura del elevador para el motor impulsor.

Con ayuda de la brida de sujeción se ubicará el motoreductor cuya selección se realizará más adelante, así como la selección del motor impulsor; se designó planchas abrasivas de 12 mm de espesor para la base superior e inferior del elevador así como para la base donde ira ubicado el motor impulsor.



**Figura 37.** Diseño de la estructura del elevador para el motor impulsor con motoreductor acoplado.

#### **D. Cálculo de cargas estáticas aplicadas al eje de movimiento.**

En los cálculos que se presentan a continuación, contienen ecuaciones referentes a (Robert L. Mott, 2006)

##### **D.1. Cálculo de cargas estáticas para el eje Z.**

Con ayuda de la ecuación 1 se procederá a encontrar la carga estática que se ejerce en el eje z:

$$F_Z = \sum W_Z \quad (1)$$

$$F_Z = (m_{motor1} + m_{basemotor1}) * g$$

$$F_Z = (5,5kg + 6,89kg) * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_Z = 121,4N$$

Donde:

$F_Z$ : Fuerza resultante de la sumatoria de los pesos en el eje z

$W_Z$ : Peso de la estructura que actúa en el desplazamiento del eje z

### E. Esfuerzo y deflexión para la columna cargada excéntricamente.

Se maneja una sección transversal redonda con diámetro (D) de 22,23mm, una excentricidad (e) de 113mm, una longitud de columna (L) de 1088mm, una constante (K) que depende de la conexión en los extremos que para nuestro caso es empotrada en los dos extremos donde es igual a 0,65, un radio de giro (r), un eje neutro al exterior (c), una área de la sección transversal (A) y una carga (P) de 121,4N. El material de la columna, el cual se muestra en la figura 38, es el acero AISI 1018.

Primero se determinará las propiedades del acero para el eje. Para el material utilizado se tiene una resistencia en fluencia (Sy) de 235MPa y un módulo de elasticidad (E) de 205GPa

$$r = \frac{D}{4} \quad (2)$$

$$r = \frac{0,02223m}{4}$$

$$r = 0,00556m$$

$$c = \frac{D}{2} \quad (3)$$

$$c = \frac{0,02223m}{2}$$

$$c = 0,01112m$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

$$A = \frac{\pi \times 0,02223^2}{4}$$

$$A = 0,000388m^2$$

Se Emplea la ecuación (5) para calcular el esfuerzo máximo ( $\sigma_{L/2}$ ) y la ecuación (6) para calcular la deflexión máxima ( $y_{max}$ ). El factor de diseño  $N=2$ :

$$\sigma_{\frac{L}{2}} = \frac{NP}{A} \left[ 1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left( \frac{KL}{2r} \sqrt{\frac{NP}{AE}} \right) \right] \quad (5)$$

$$\sigma_{\frac{L}{2}} = \frac{2 \times 121,4}{0,000388} \left[ 1 + \frac{0,113 \times 0,01112}{0,00556^2} \sec \left( \frac{0,65 \times 1,088}{2 \times 0,00556} \sqrt{\frac{2 \times 121,4}{A \times 205 \times 10^9}} \right) \right]$$

$$\sigma_{\frac{L}{2}} = 40,58MPa$$

$$y_{max} = e \left[ \sec \left( \frac{KL}{2r} \sqrt{\frac{P}{AE}} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

$$y_{max} = 0,113 \left[ \sec \left( \frac{0,65 \times 1,088}{2 \times 0,00556} \sqrt{\frac{121,4}{0,000388 \times 205 \times 10^9}} \right) - 1 \right]$$

$$y_{max} = 0,00556m$$

Se puede observar que el esfuerzo máximo es de 40,58MPa en la mitad de la longitud de la columna, este resultado es satisfactorio puesto que es menor que el  $S_y$  de 235MPa del material; y con la deflexión máxima de 0,00556m aseguramos que el diseño de la columna es el indicado.

## F. Cálculo de flexión de las guías para el eje z

Para el cálculo de flexión se analizará considerando un eje cilíndrico como se observa en la figura 38 el cual será sometido a flexión. Se Comenzará determinando el esfuerzo a flexión del tornillo:

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad (7)$$

Donde:

$\sigma$ = Esfuerzo a flexión.

M=Momento flector.

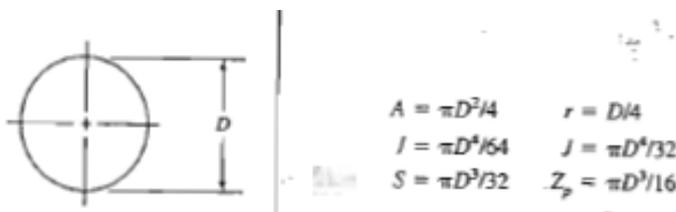
C= Distancia del eje neutro a la fibra a analizar.

I=Inercia

Con ayuda de la ecuación 8 se asegura que el esfuerzo sea menor que el límite de fluencia del material, se asume un factor de diseño y se obtiene:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad (8)$$

Tomando en consideración que la guía es una sección circular, calculamos la inercia de la siguiente manera:



**Figura 38.** Propiedades del círculo.

**Fuente:** (Robert L. Mott, 2006)

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad (9)$$

Se Procede a continuación a presentar la ecuación 10 con la cual se podrá calcular la distancia del eje neutro:

$$C = \frac{d}{2} \quad (10)$$

Reemplazando las ecuaciones 9 y 10 en la ecuación 7 obtenemos la ecuación que se utilizará para el esfuerzo a flexión:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi * d_{Tg}^3} \quad (11)$$

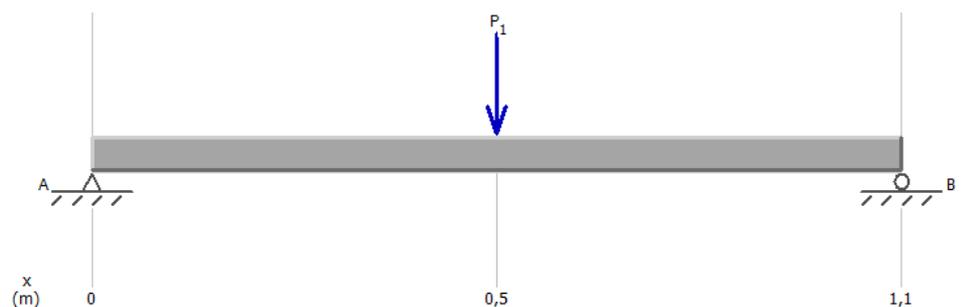
Finalmente para obtener el diámetro de la guía ( $d_{Tg}$ ) se iguala las ecuaciones 8 y 11, y se obtiene:

$$d_{Tg} = \sqrt[3]{\frac{32M * N}{\pi * S_y}} \quad (12)$$

Para la guía en el eje longitudinal se utilizará los siguientes datos mostrados a continuación, en donde la carga estática de 121,4N calculada anteriormente será multiplicada por un factor de carga ( $F_c$ ) de 2 dándonos como resultado una carga estática de 242,8N:

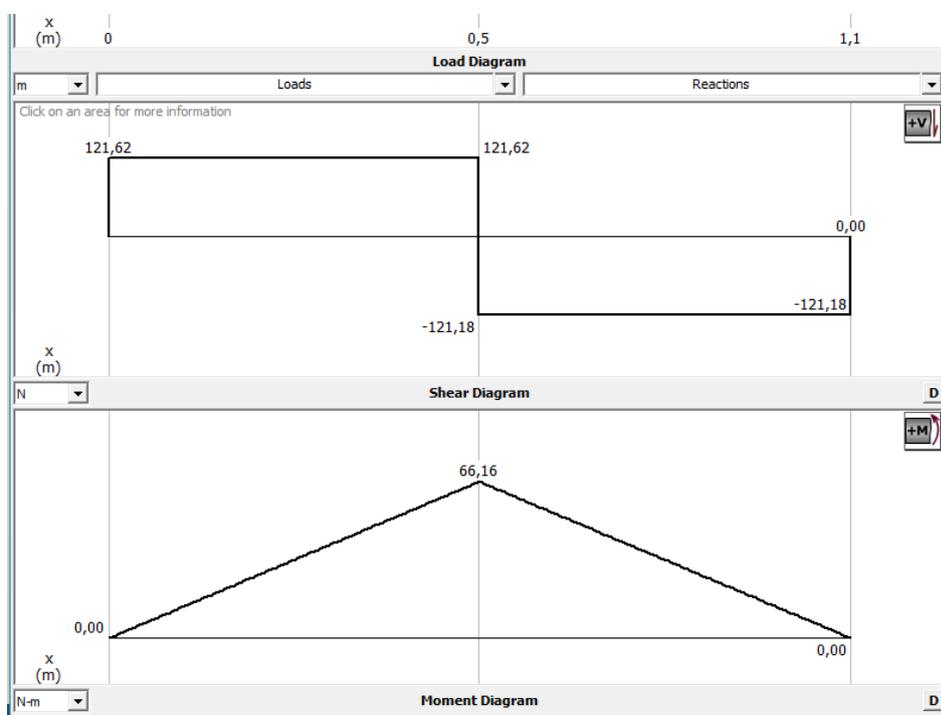
- Material: Acero AISI 1018
- Límite de fluencia: 235 MPa
- Longitud: 1m
- Factor de seguridad de la guía: 2
- Carga estática P1: 242,8 N

Para el cálculo del momento flector y representación de su gráfico se empleará un software de diseño, para lo cual se considera una carga puntual ubicada en el extremo más crítico como se muestra en la figura 39:



**Figura 39.** Diagrama de carga aplicada.

El software muestra en la figura 40 el diagrama de fuerza cortante y de momento flector:



**Figura 40.** Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Conociendo el máximo momento flector 66,04Nm se utiliza la ecuación 12, para calcular el diámetro del tubo guía:

$$d_{Tg} = \sqrt[3]{\frac{32(66,04) * (2)}{\pi * (235000000)}}$$

$$d_{Tg} = 0,0178m$$

Como consideración de diseño se ha establecido un factor de carga de  $F_c=2$ ; y tomando en cuenta que se utilizarán dos tubos circulares como guías se estableció un diámetro de  $7/8$  de pulgada es decir 22,2 milímetros para cada guía.

## G. Selección del tornillo de potencia.

### G.1. Selección del tornillo de potencia para el eje z.

Se eligió mediante la aplicación que va a realizar, donde se necesita efectuar un recorrido de 632mm, y por requerimiento del auspiciante realizar este recorrido a una velocidad baja para que de esta manera se pueda obtener precisión al momento de alinear el eje del motor impulsor con el de la bomba electrosomergible, por lo que se seleccionó un tiempo de 12 minutos para completar el recorrido y que en cada minuto se realicen 30 revoluciones. Por lo que se seleccionó un paso fino de 14 hilos por cada 25,4mm bajo la norma **UNF** la cual se muestra en la figura 41:

**Tabla 8.**

### Roscas unificadas de paso fino estándar.

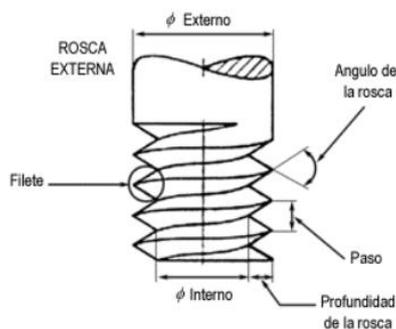
UNIFICADA PASO FINO		
Medida Nominal		
Dext	-	Nº
Nº 0 (.060")	-	80 UNF
Nº 1 (.073")	-	72 UNF
Nº 2 (.086")	-	64 UNF
Nº 3 (.099")	-	56 UNF
Nº 4 (.112")	-	48 UNF
Nº 5 (.125")	-	44 UNF
Nº 6 (.138")	-	40 UNF
Nº 8 (.164")	-	36 UNF
Nº 10 (.190")	-	32 UNF
Nº 12 (.216")	-	28 UNF
1/4"	-	28 UNF
5/16"	-	24 UNF
3/8"	-	24 UNF
7/16"	-	20 UNF
1/2"	-	20 UNF
9/16"	-	18 UNF
5/8"	-	18 UNF
3/4"	-	16 UNF
7/8"	-	14 UNF
1"	-	12 UNF
1"1/8"	-	12 UNF
1"1/4"	4	12 UNF
1"3/4"	4	12 UNF
1"1/2"	-	12 UNF

Fuente: (EGAMASTER, 2015)

Con lo cual se obtiene en cada **30RPM** recorrer 54,4mm, en consecuencia el recorrido de 632mm se lo efectúa en un tiempo de 11,6 minutos aproximadamente, dándose un resultado satisfactorio.

## H. Tornillo de potencia.

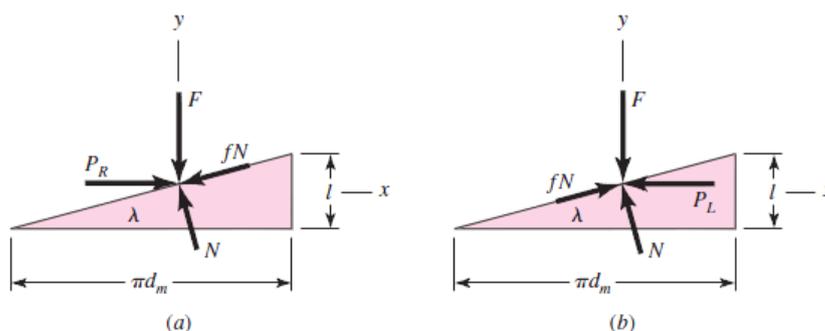
El tornillo de transmisión de potencia que se utiliza tiene un diámetro mayor ( $d$ ) de 22,23mm y un paso ( $p$ ) de 3,6mm. En la figura 42 se puede observar las partes constitutivas de un tornillo, el cual se define como un plano inclinado enrollado alrededor de un cilindro tomando forma de una hélice.



**Figura 41.** Partes de un tornillo.

**Fuente:** (EGAMASTER, 2015)

A continuación se presenta el diagrama de fuerzas al subir la carga y al bajar la carga, para dar paso a cálculos con ecuaciones referentes a (Shigley, 2011).



**Figura 42.** Diagrama de fuerza: a) al subir la carga b) al bajar la carga.

**Fuente:** (Shigley, 2011)

Donde:

F= Carga P1 que actúa sobre el área normal de la rosca

P<sub>R</sub>= Fuerza para elevar la carga

P<sub>L</sub>= Fuerza para bajar la carga

N= Fuerza normal

f= Coeficiente de fricción

λ= Ángulo de avance

l= avance

A continuación se presentan, en la tabla 8, los coeficientes de fricción pertenecientes a los tornillos de transmisión los cuales poseen distintos valores, por consecuencia de las características propias de cada material para una combinación de los mismos. El coeficiente de fricción (f) que utilizaremos será de 0,16.

**Tabla 9.**

**Coefficientes de fricción pertenecientes a los tornillos de transmisión.**

Material del tornillo	Material de la tuerca			
	Acero	Bronce	Latón	Hierro Fundido
Acero, seco	0,15-0,25	0,15-0,23	0,15-0,19	0,15-0,25
Acero, aceite para máquina	0,11-0,17	0,10-0,16	0,10-0,15	0,11-0,17
Bronce	0,08-0,12	0,04-0,06		0,06-0,09

Fuente: (Shigley, 2011)

Se procede a calcular el diámetro medio (d<sub>m</sub>), diámetro menor (d<sub>r</sub>) y el avance (l):

$$d_m = d - \frac{p}{2} \quad (13)$$

$$d_m = 0,02223 - \frac{0,0018}{2}$$

$$d_m = 0,02133m$$

$$d_r = d - p \quad (14)$$

$$d_r = 0,02223 - 0,0018$$

$$d_r = 0,02043m$$

$$l = 2p \quad (15)$$

$$l = 2 \times 0,0018$$

$$l = 0,0036m$$

El ángulo de avance está definido por:

$$\frac{l}{\pi d_m} = \tan \lambda \quad (16)$$

$$\frac{0,0036}{\pi \times 0,02023} = \tan \lambda$$

$$\lambda = 3,24^\circ$$

Para asegurar que el tornillo es autobloqueante se utilizará la condición siguiente:

$$f > \tan \lambda \quad (17)$$

$$0,16 > \tan 3,24$$

$$0,16 > 0,06$$

De esta manera queda asegurado el autobloqueo en el tornillo.

Mediante la ecuación 18, se determina el par de torsión que se requiere para hacer girar el tornillo contra la carga ( $T_R$ ):

$$T_R = \frac{P_1 d_m}{2} \left( \frac{1 + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \quad (18)$$

$$T_R = \frac{242,8 \times 0,02133}{2} \left( \frac{1 + \pi \times 0,16 \times 0,02133}{\pi \times 0,02133 - 0,16 \times 0,0036} \right)$$

$$T_R = 0,42Nm$$

Con el par de torsión que se requiere para hacer girar el tornillo contra la carga de 0,42 Nm se procede a continuación a calcular la eficiencia durante la elevación de la carga ( $e_c$ ) para luego poder realizar la elección del motor elevador.

$$e_c = \frac{P_1 l}{2\pi T_R} \quad (19)$$

$$e_c = \frac{242,8 \times 0,0018}{2 \times \pi \times 0,42}$$

$$e_c = 0,165$$

### 3.4.2. Motor elevador

Para la selección del motor más idóneo para la aplicación requerida se tomaron las siguientes consideraciones en conjunto con el auspiciante:

- El ascenso y descenso debe ser realizado a una velocidad baja para de esta forma poder alinear con precisión el eje del motor impulsor apoyado en su respectiva base.
- Buscar un motor eléctrico normalizado de fácil disponibilidad en el mercado con potencia suficiente para realizar el ascenso y descenso requerido.
- Seleccionar un motor monofásico a 220VAC para aprovechar la conexión de red ya establecida para el funcionamiento del motor impulsor.

Una vez establecidos los requerimientos del motor elevador se seleccionó un motoreductor con motor ¼ de **HP** de 1800rpm con salida a reductor de 30rpm disponible por el proveedor del auspiciante; el cual se comprobará a continuación si cumple con las funciones que se lo asignan.

$$P_{motorE} = \frac{T_R \omega}{e_c} \quad (20)$$

Donde:

$P_{motorE}$  = Potencia del motor elevador

$\omega$  = velocidad angular

$$P_{motorE} = \frac{0,39Nm \times 3,14rad/s}{0,165}$$

$$P_{motorE} = 7,42W$$

Ya con este valor de potencia podemos compararla transformándola a **HP** obteniendo el valor de 0,01**HP** lo cual nos permite asegurar que el motoreductor seleccionado de 0,25**HP** va a poder cumplir satisfactoriamente con la aplicación asignada.

### 3.4.3. Motor impulsor.

Para la potencia del motor impulsor de la bomba electrosumergible se utilizará la siguiente fórmula (Cengel, 2012):

$$P_{motorI} = H_B \gamma_D Q \quad (21)$$

Donde:

$P_{motorI}$ : Potencia en W

$H_B$ : Altura dinámica

$\gamma_D$ : Peso específico del diésel

$Q$ : Caudal total de suministro

#### A. Caudal total de suministro.

Para la determinación del caudal total, se considerará el caudal que proporciona la salida del sistema de suministro de solvente, a través de una válvula de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, la cual suministra 16 galones por minuto, para así obtener:

$$Q = 0,001 \text{ m}^3/\text{seg}$$

#### B. Altura dinámica.

Para la determinación de la altura dinámica se empleará la siguiente formula:

$$H_B = h_f + \left( \frac{P_2}{\gamma_D} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) - \left( \frac{P_3}{\gamma_D} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 \right) \quad (22)$$

Donde:

$h_f$ : Pérdida de carga

$P_2$ : Presión en la salida de la válvula = 0,103MPa

$V_2$ : Velocidad del flujo del diésel en la salida de la válvula

$Z_2$ : Altura de la válvula respecto del motor = 1,6m

$P_3$ : Presión en el nivel de toma de diésel del depósito = 0MPa

$V_3$ : Velocidad del flujo del diésel en la salida del depósito = 0m/seg

$Z_3$ : Altura de la toma de diésel respecto del motor = -1,9m

Para el cálculo de la velocidad del flujo del diésel en la salida de la válvula se empleará la siguiente fórmula, donde el área de la sección interna de la tubería ( $A_T$ ) es igual a 0,00028m<sup>2</sup>:

$$V_2 = \frac{Q}{A_T} \quad (23)$$

$$V_2 = \frac{0,001}{0,00028}$$

$$V_2 = 3,61 \text{ m/seg}$$

Para el cálculo de la pérdida de carga en el recorrido del diésel por la tubería se empleará la siguiente fórmula:

$$h_f = \frac{f_T L_{eq} V_2^2}{2D_{Tubería} g} \quad (24)$$

Donde:

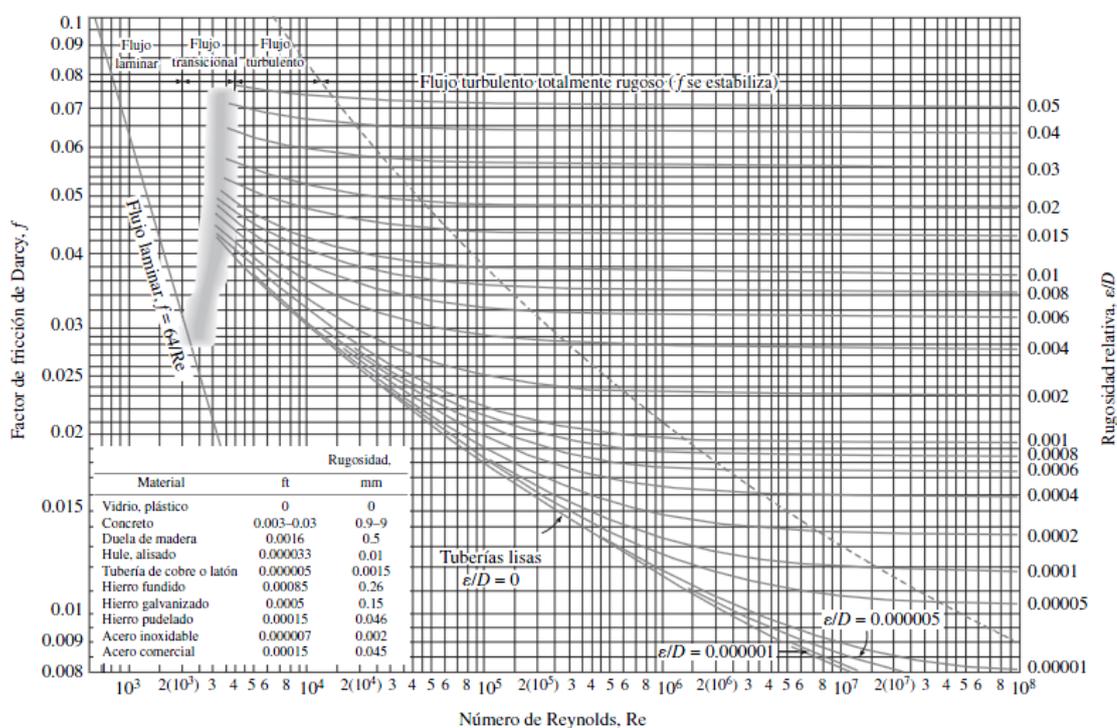
$L_{eq}$ : Longitud equivalente

$f_T$ : Coeficiente de fricción para la tubería

$D_{\text{Tubería}}$ : Diámetro de la tubería = 0,01905m

Para conocer la pérdida de carga total, previamente se calculará tanto el coeficiente de fricción de la tubería como la longitud equivalente de la tubería de suministro de diésel, que son datos aún sin determinar.

El coeficiente de fricción ( $f_T$ ), se determinará a partir del diagrama de Moody presentado en la figura 44, para lo cual se necesita conocer previamente, tanto el número de Reynolds ( $N_{RE}$ ), como la rugosidad relativa ( $\epsilon/D_{\text{Tubería}}$ ) de la tubería.



**Figura 43.** Diagrama de Moody para el factor de fricción.

**Fuente:** (Cengel, 2012)

Para el cálculo del número de Reynolds se empleará la siguiente fórmula:

$$N_{RE} = \frac{D_{\text{Tubería}} V_2 \rho_D}{\mu} \quad (25)$$

Donde:

$\rho_D$ : Densidad del diésel = 680 kg/m<sup>3</sup>

u: viscosidad dinámica del diésel = 0,000287 Pa\*s

$$N_{RE} = \frac{0,01905 \times 3,61 \times 680}{0,287}$$

$$N_{RE} = 163$$

Para el cálculo de la rugosidad relativa se empleará una rugosidad ( $\epsilon$ ) de tubería de acero comercial de 0,000045m:

$$\frac{\epsilon}{D_{Tuberia}} = \frac{0,000045}{0,01905}$$

$$\frac{\epsilon}{D_{Tuberia}} = 0,00236$$

Con los datos obtenidos para el  $N_{RE}$  y la ( $\epsilon/D_{Tuberia}$ ) se emplea la gráfica de la Figura 45 obteniendo:

$$f_T = 0,023$$

Continuamos con el cálculo de la longitud equivalente ( $L_{eq}$ ) de la tubería, la cual está comprendida por la longitud de la tubería lineal ( $L_{TL}$ ) de 16,5m y la longitud equivalente de los accesorios ( $L_{eqacc}$ ) que participan en la línea de suministro de diésel.

$$L_{eq} = L_{TL} + L_{eqacc} \quad (26)$$

Para la longitud equivalente de accesorios ( $L_{eqacc}$ ) se consideran 10 accesorios (codos de 90°), por lo tanto, la longitud equivalente de un accesorio ( $L_{eq1acc}$ ) estará determinada de la siguiente manera:

$$L_{eq1acc} = L_{TL} D_{Tuberia} \quad (27)$$

$$L_{eq1acc} = 16,5 \times 0,01905$$

$$L_{eq1acc} = 0,314 \text{ m/ accesorio}$$

Por lo tanto la longitud equivalente de todos los accesorios será:

$$L_{eqacc} = 0,314 \text{ m} / \text{accesorio} \times 10 \text{ accesorio}$$

$$L_{eqacc} = 3,14 \text{ m}$$

Luego la longitud equivalente total será:

$$L_{eq} = 16,5 + 3,14$$

$$L_{eq} = 19,64 \text{ m}$$

Con todos los datos calculados se determinará la pérdida de carga total, presentada en la ecuación 24:

$$h_f = \frac{0,023 \times 19,64 \times 3,61^2}{2 \times 0,01905 \times 9,8}$$

$$h_f = 15,77 \text{ m}$$

Finalmente se determina la altura dinámica a partir de la ecuación 22:

$$H_B = 15,77 + \left( \frac{103000}{9,8 \times 680} + \frac{3,61^2}{2 \times 9,8} + 1,6 \right) - (-1,9)$$

$$H_B = 35,39 \text{ m}$$

### C. Cálculo de la potencia.

Una vez obtenidos todos los datos para la potencia del motor impulsor de la bomba electrosumergible de la ecuación 21 tenemos:

$$P_{motorI} = 35,39 \times 9,8 \times 680 \times 0,001$$

$$P_{motorI} = 235,84 \text{ W}$$

Por lo tanto la potencia teórica del motor impulsor es 235,84W (0,32HP) pero como siempre existe un margen de error entonces se tendrá que escoger un motor más grande, es decir un motor de 0,5HP de potencia.



**Figura 44.** Motor Siemens.

**Fuente:** (Siemens, 2009)

El motor seleccionado con las características mostradas en la tabla 9 fue sujeto a la marca siemens por disponibilidad del proveedor del auspiciante.

**Tabla 10.**

**Características del Motor Siemens Seleccionado.**

Tipo	Potencia		FS	In [A]		n [%]	Cos $\phi$	RPM	Tn [Nm]	Peso [Kg]
	HP	kW		220V	440V					
1LA7 070-4YA60	0,5	0,37	1,15	1,9	0,95	66	0,81	1800	2,24	5,5

Fuente: (Siemens, 2009)

**3.4.4. Diseño del esqueleto de la estructura.**

**A. Selección del material.**

Se iniciará el diseño del esqueleto de la estructura de la máquina, que se considera la parte más importante puesto que será el apoyo de todas las partes constitutivas que lo conforman, tomando en cuenta 3 materiales, preseleccionados por su uso en la industria y se realizará un estudio de sus propiedades mediante investigación y asesoramiento de los encargados del área de mecanizado del auspiciante.

En la siguiente tabla 10 se muestran las posibles propiedades que se pueden analizar en la elección de un material:

**Tabla 11.****Tipos de propiedades que se analizarán para la elección del material.**

Tipos de propiedades	
Económicas	Precio y disponibilidad
	Reciclable
Físicas	Densidad
Mecánicas	Punto de fusión
	Limite elástico
	Dureza
Producción	Facilidad de fabricación
	Unión
	Acabado
Interacción con el entorno	Oxidación
	Corrosión
	Desgaste
Estética	Aspecto y Textura

De la tabla anterior se tomaron en cuenta las siguientes características limitantes para la elección:

- Precio y disponibilidad
- Densidad
- Límites en sus propiedades mecánicas.
- Interacción con el entorno

En conjunto con el auspiciante se estableció las limitantes de las propiedades de los materiales, para lo cual se especificó la dureza entre el rango de (200-1000Mpa), el límite elástico entre el rango (200-1000Mpa), el punto de fusión entre el rango (500-1600°C), la disponibilidad inmediata y si presenta la posibilidad de ser reciclado.

Se procedió a relacionar las familias de materiales que se desea que pertenezcan al proceso de selección, y se pudo concluir con la asistencia del proveedor de la empresa auspiciante que debido a la facilidad de adquisición y gran variedad en el mercado, se seleccionó el uso de metales.

Ya establecidos todos los datos de las propiedades de los materiales mencionados en el sistema, se procederá a enlistar los materiales que cumplen con estos requisitos y que son los más óptimos para la necesidad planteada.

Los materiales para tubo estructural cuadrado, perfiles angulares a 90 grados que son los elementos en los que se basara el esqueleto de la estructura son:

- Aluminio
- Acero **ASTM** A513
- Acero **ASTM** A500
- Acero **ASTM** A36

Los materiales presentados fueron escogidos de acuerdo a la disponibilidad del proveedor de la empresa auspiciante y se procederá a analizar cada uno para la elección del más idóneo para el esqueleto de la estructura de la máquina.

#### **A.1. Aluminio.**

Este material se encuentra clasificado dentro de los metales no ferrosos, que tiene mayor presencia en la industria, en cierta parte porque a las grandes facilidades que ofrece. A continuación en la tabla 11 se presenta las propiedades generales del aluminio las cuales lo hacen muy útil.

**Tabla 12.**

#### **Principales propiedades que presenta el aluminio.**

ALUMINIO			
	Rango		Unidad
	Mínimo	Máximo	
Precio	1,50	1,70	USD/Kg
Densidad	2,6	2,9	g/m <sup>3</sup>
Limite Elástico	30	500	MPa
Limite a la Tensión	58	550	MPa
Punto de Fusión	500	660	°C
Conductor Térmico	Buen Conductor		
Conductor Eléctrico	Buen Conductor		

### A.2. Acero ASTM A513-A500.

Estos dos tipos de acero son aceros al carbono laminados en frío, este proceso de laminado en frío se lo lleva a cabo en condiciones cercanas a la temperatura ambiente, haciendo al material poseer una mayor dureza y resistencia.

**Tabla 13.**

#### Principales propiedades que presentan los aceros ASTM A513-A500.

ASTM A513-A500			
	Rango		Unidad
	Mínimo	Máximo	
Precio	1,60	1,75	USD/Kg
Densidad	7,80E+06	7,85E+06	g/m <sup>3</sup>
Límite Elástico	310	315	MPa
Límite a la Tensión	400	415	MPa
Punto de Fusión	1510	1650	°C
Conductor Térmico	Buen Conductor		
Conductor Eléctrico	Buen Conductor		

### A.3. Acero ASTM A36.

Considerado el tipo más común de aleación de acero, las propiedades que presenta el ASTM A36 permiten que se deforme rápidamente mientras se incrementa la tensión más allá de su fuerza para ceder.

Se consideró este material puesto que está considerado como parte constitutiva de la máquina los ángulos, los cuales están conformados de este material. Las propiedades del acero ASTM A36 se muestran en la tabla 13.

**Tabla 14.**

#### Principales propiedades que presentan los aceros ASTM A36.

ASTM A36			
	Rango		Unidad
	Mínimo	Máximo	
Precio	1,60	1,75	USD/Kg
Densidad	7,80E+06	7,85E+06	g/m <sup>3</sup>
Límite Elástico	250	300	MPa

CONTINÚA 

Limite a la Tensión	400	550	MPa
Punto de Fusión	1510	1650	°C
Conductor Térmico	Buen Conductor		
Conductor Eléctrico	Buen Conductor		

#### **A.4. Selección.**

A continuación se procederá a realizar una evaluación de los materiales presentados, tomando como referencia criterios relevantes considerados con el fin de desplegar un buen criterio de selección.

##### **A.4.1. Criterios A Evaluar.**

Una vez presentados las principales propiedades que poseen los materiales preseleccionados podemos guiarnos a través de estos y plantear criterios con los que evaluaremos a las diferentes opciones para encontrar la que sea más idónea.

A continuación se presentan los valores que se emplearán para la tabla de criterios a evaluar, para lo cual se asignó un valor a cada ítem y sumados todos nos permitirán obtener a una puntuación de 20.

- **Costo:** Entre un material y otro su costo está sujeto con la selección del mismo para la aplicación a la que se le vaya a asignar, en muchos de los casos se presentan materiales que pueden satisfacer una necesidad de diseño de sobremanera, pero por su costo su utilización es no asequible.

Al costo se le asignó un valor de 3 puntos, donde el mayor puntaje se le asignara al material que presente un precio aceptable y 0 si su valor es demasiado alto.

- **Seguridad:** El material que se seleccionará deberá permitir al diseñador asegurar seguridad, es decir que sea capaz de sobrellevar el trabajo al que va a ser sujeto, y de esta forma cumplir de sobremanera, brindando un rango de seguridad que le permita al diseñador estar seguro de su desempeño. A este criterio se le asignó un valor de 2 puntos, obteniéndose el mejor puntaje al que brinde mayor seguridad al diseño y como menor al que incumpla con la seguridad que se requiere.

- **Mantenimiento:** El material seleccionado deberá permitir un adecuado proceso de mantenimiento, es decir que si se presenta la necesidad de efectuar algún ajuste de alguna forma, o de proporcionarle cierto mantenimiento preventivo, no sea complicado efectuarlo. Se le asignó un valor de 3 puntos, obteniéndose el mejor puntaje al que brinde sencillez de mantenimiento, y como menor cuando el mantenimiento sea complicado.
- **Manufactura:** Para las partes constitutivas se necesita de un material que brinde un fácil manejo con respecto a los requerimientos del diseñador, es así que se considera una cualidad importante que se tomara en selección para determinar cuál va a ser el más práctico y fácil de manufacturar. Se le asignó un valor de 3 puntos, obteniéndose el mejor puntaje al que brinde facilidad al trabajar con él, y como menor cuando sea difícil su manejo.
- **Disponibilidad:** La disponibilidad juega un papel importante ya que se cuenta con un proveedor de parte del auspiciante. El que el material se pueda adquirir en diferentes tamaños, lo hace más versátil en su utilización, ya que se tiene de donde escoger para las diferentes necesidades. Se le asignó un valor de 4 puntos, obteniéndose el mejor puntaje al que brinde fácil disponibilidad, y como menor cuando sea difícil su adquisición.
- **Masa:** Este factor es el que estará ligado directamente al peso de la máquina y por tanto se da una importancia alta a su análisis. Se le asignó un valor de 4 puntos, obteniéndose el mejor puntaje al que brinde una masa manejable, y como menor cuando su masa sea demasiado alta.
- **Sustentabilidad:** La sustentabilidad nos permitirá conocer el impacto de un material que se genere en el medio ambiente con respecto a su extracción y procesamiento. Se le asignó un valor de 3 puntos, obteniéndose el mejor puntaje al que brinde una mayor sustentabilidad, y como menor cuando sea demasiado difícil su extracción.

**Tabla 15.**

**Valores asignados a los criterios a evaluar para selección de material del esqueleto de la estructura.**

Criterios a Evaluar			
		Símbolo	Valoración
1	Costo	C	3
2	Seguridad	S	2
3	Mantenimiento	M	3
4	Manufactura	Mn	4
5	Disponibilidad	D	4
6	Masa	Ms	2
7	Sustentabilidad	Ss	2
			20

Para una fácil interpretación se presentan los valores en la siguiente figura 46.



**Figura 45.** Criterios de la matriz de valoración para selección del material

Establecidos los criterios a evaluar, se proseguirá por asignar los valores que correspondan a cada material según la matriz morfológica y así poder seleccionar el material adecuado.

**Tabla 16.**

**Evaluación de criterios para la selección de material del esqueleto de la estructura.**

ÍTEM	CRITERIOS								
	TIPOS	C	S	M	Mn	D	Ms	Ss	TOTAL
Material	Aluminio	3	1	2	4	3	1	1	15
	Acero ASTM A513	2	2	3	3	4	2	1	17
	Acero ASTM A500	2	2	3	4	4	2	1	18
	Acero ASTM A36	2	2	2	4	4	2	1	17

A continuación en la figura 47, se indican los resultados obtenidos de los criterios evaluados.



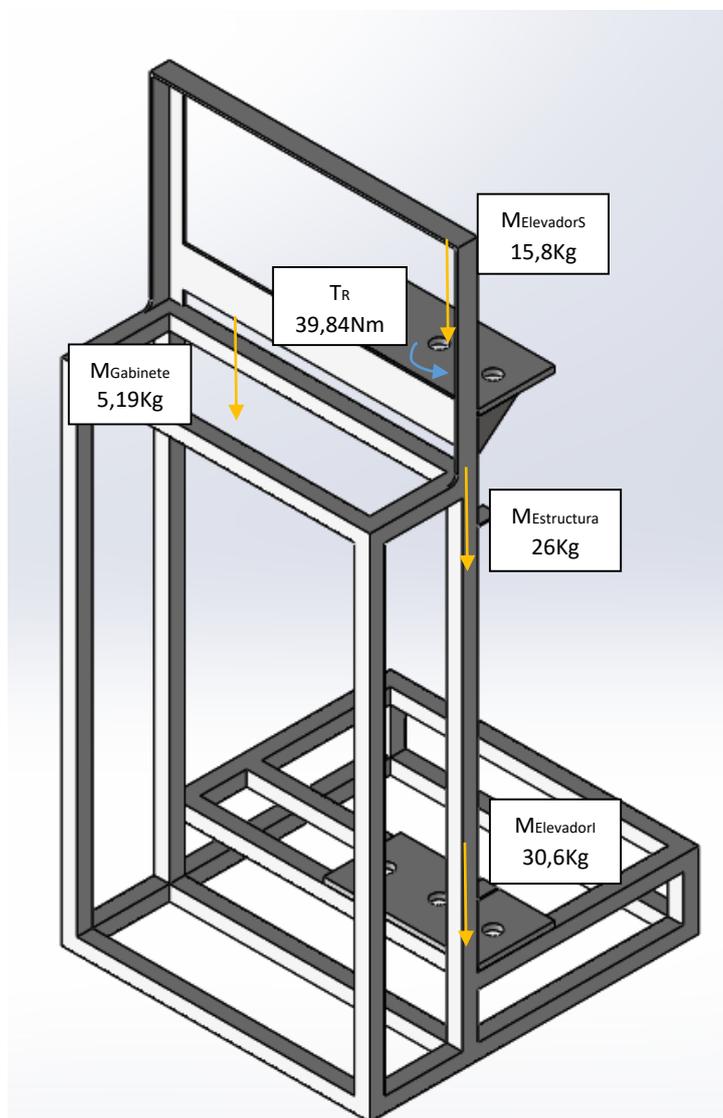
**Figura 46.** Resultados de los criterios evaluados en la selección del material del esqueleto de la estructura.

#### **A.4.2. Conclusión.**

Los resultados obtenidos permiten concluir que el acero **ASTM A500** es el mejor puntuado por lo que para la construcción del esqueleto se utilizara tubo estructural cuadrado **ASTM A500**, y ángulos en acero **ASTM A36** para soporte de la caja de control, debido a las propiedades y ventajas que brindan y por disponibilidad del proveedor de la empresa auspiciante.

## B. Análisis de esfuerzos de la estructura.

En la figura 48 se muestra el diseño del esqueleto de la estructura al cual se planteará el análisis de esfuerzos.



**Figura 47.** Diagrama de cuerpo libre de la estructura.

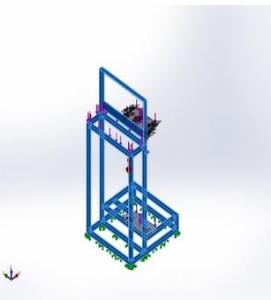
### B.1. Análisis simulado de la estructura.

Con ayuda de un programa de dibujo tipo **CAD/CAE** se procedió a realizar el análisis de esfuerzos simulado en el esqueleto de la estructura, donde gracias a la herramienta de simulación de esfuerzos, se obtuvo la predicción del comportamiento de elementos dibujados en un ambiente controlado y de esta manera conocer si poseen la capacidad de soportar las cargas establecidas.

Es necesario realizar el dibujo 3D, con todas las especificaciones, como son el tipo de material, las sujeciones, los puntos o áreas de las cargas para que el programa puede realizar el mallado del cuerpo o elemento y determina donde se van a localizar los mayores esfuerzos y por tal son los más susceptibles de daños.

**Tabla 17.**

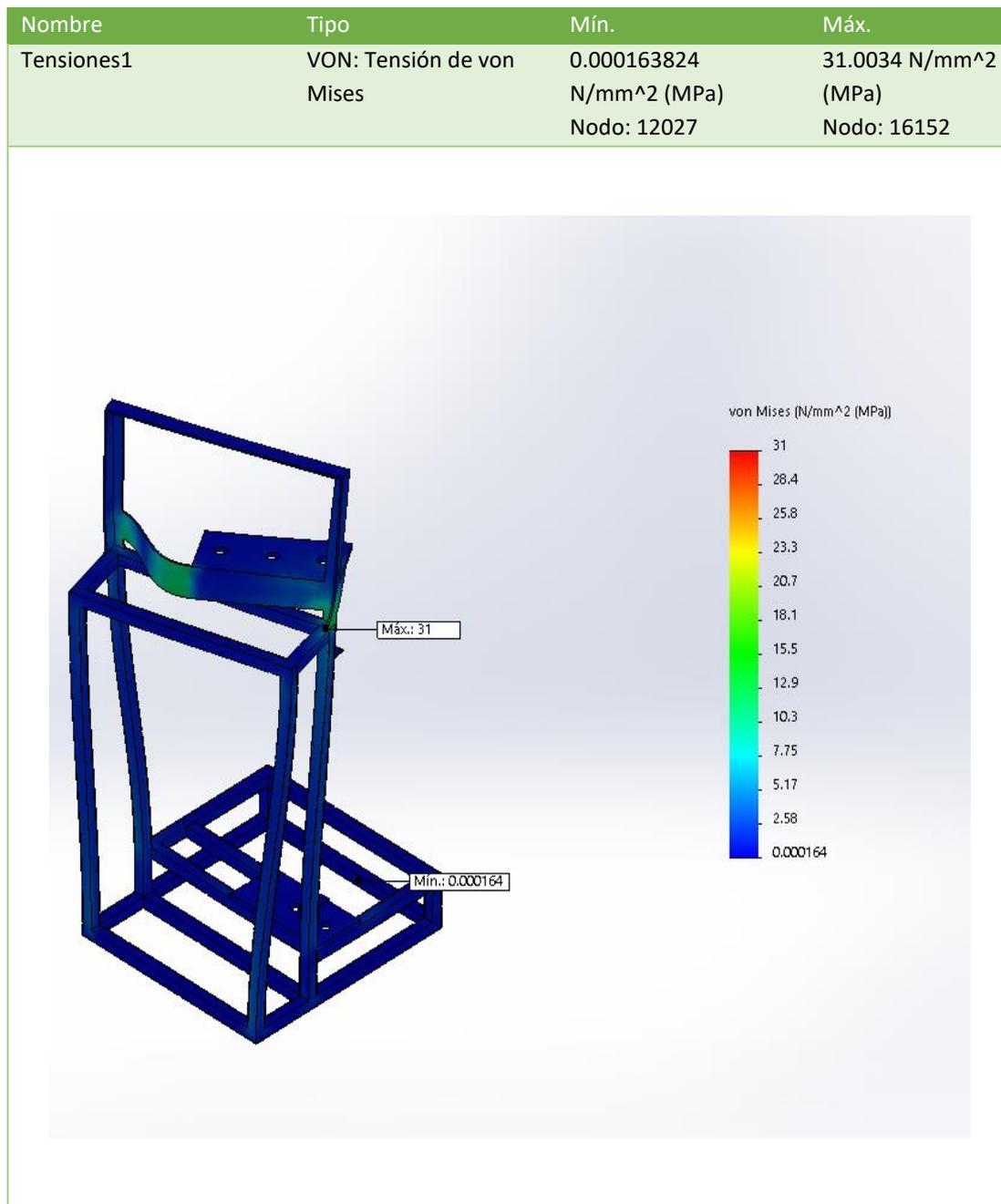
**Propiedades de la estructura principal de la máquina.**

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<b>Nombre:</b> ASTM A500	Sólido 1 (Recubrir7) (acople motor base giratoria-1) (Cortar-Extruir1) (placa 1 y 3-1), (Cortar-Extruir1) (placa 1 y 3-2)
	<b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal	
	<b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido	
	<b>Límite elástico:</b> 1.39043e+008 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Límite de tracción:</b> 1.42559e+008 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Módulo elástico:</b> 8.3e+009 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coficiente de Poisson:</b> 0.28	
	<b>Densidad:</b> 1400 kg/m <sup>3</sup>	
	<b>Módulo cortante:</b> 3.2e+009 N/m <sup>2</sup>	
	<b>Coficiente de dilatación térmica:</b> 3e-005 /Kelvin	
<b>Datos de curva: N/A</b>		

**Tabla 18.**

**Información de malla.**

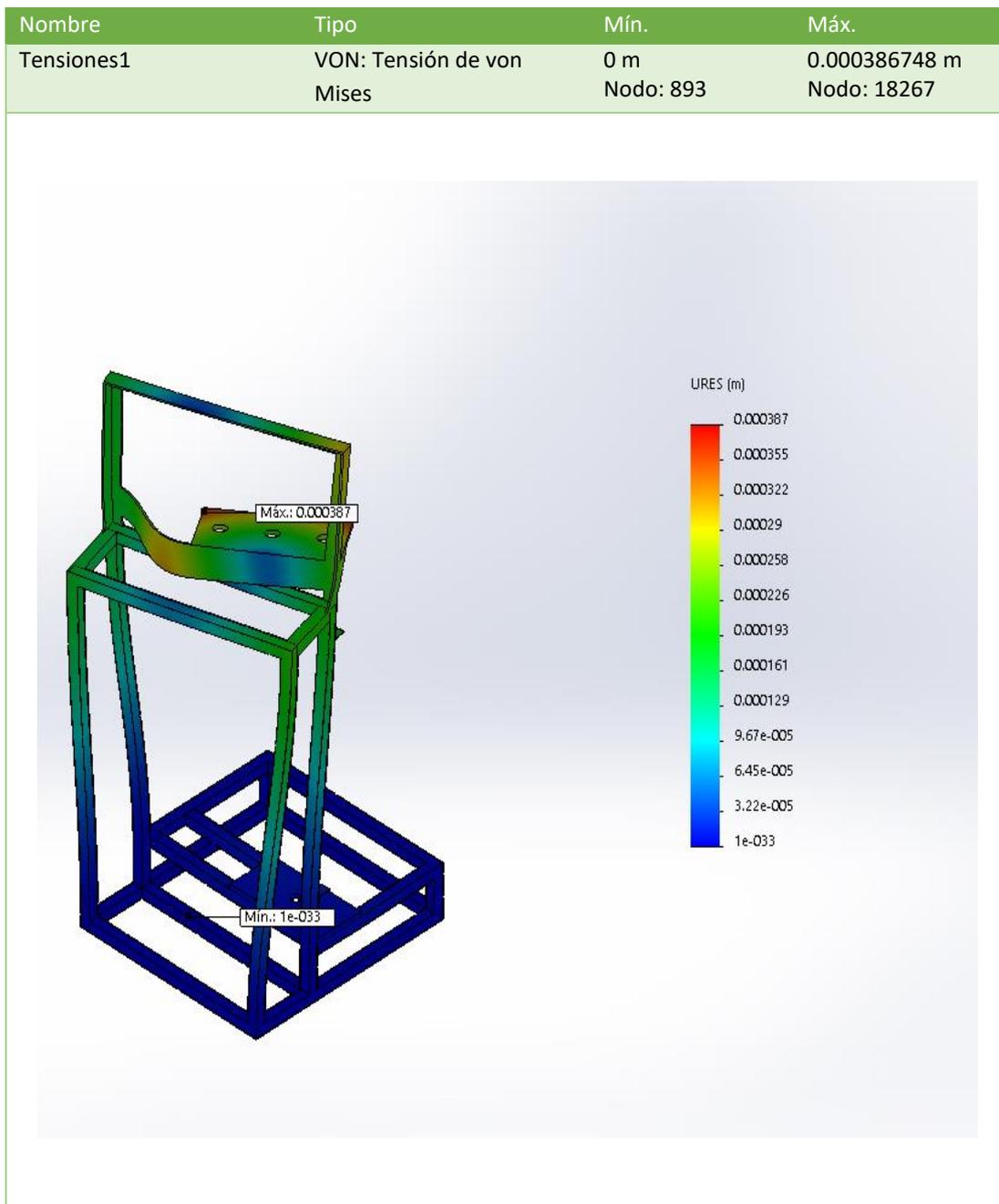
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	33.2804 mm
<b>Tolerancia</b>	1.66402 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible</b>	Desactivar

**Tabla 19.****Tensiones en el esqueleto de la estructura principal de la máquina.**

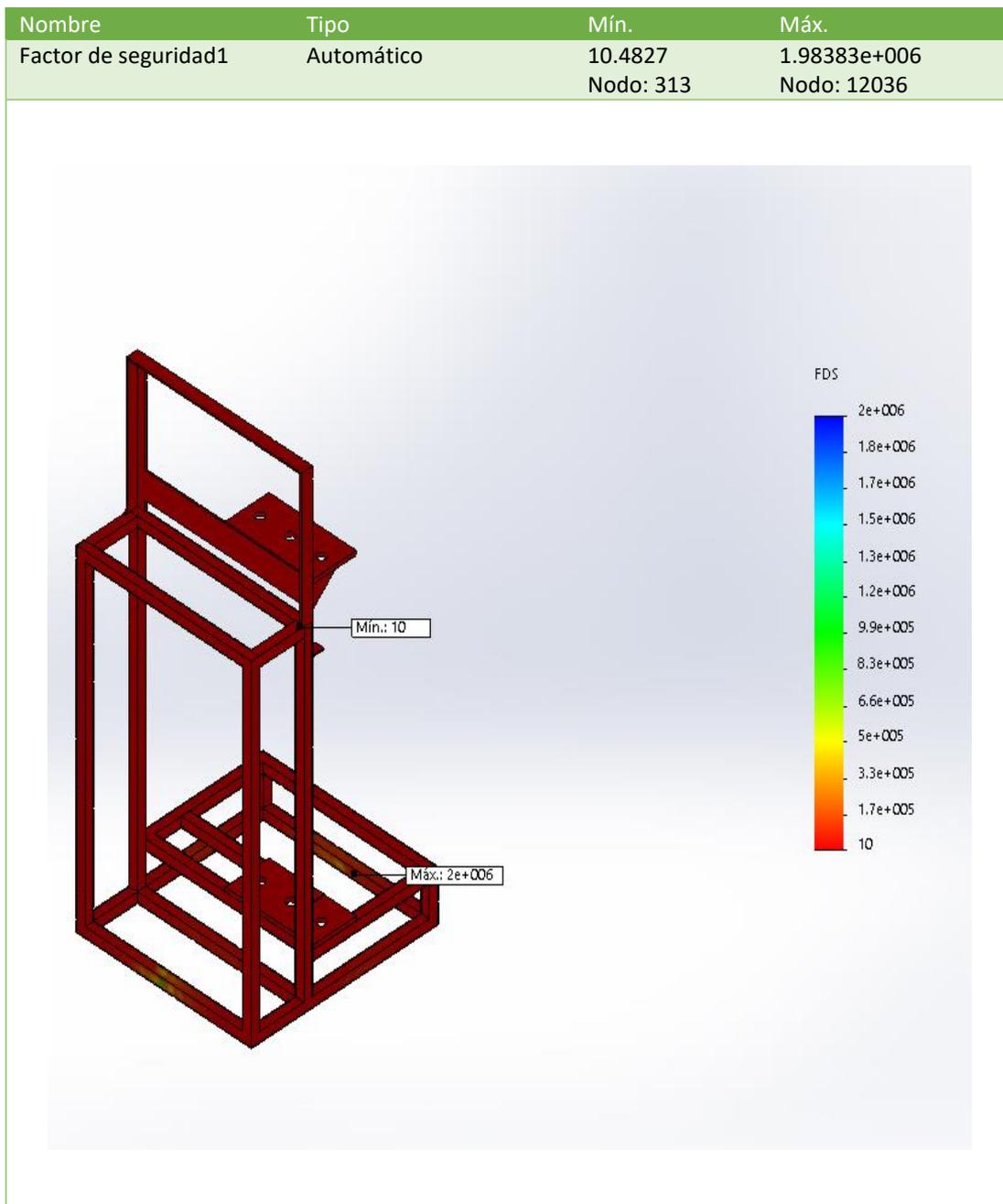
En la tabla 16 se muestran los resultados de la simulación de tensiones donde podemos observar que como tensión mínima 0,00016MPa y una tensión máxima tenemos 31MPa para un material que posee un límite elástico de 218MPa.

Tabla 20.

## Desplazamientos del esqueleto de la estructura principal de la máquina.



En la tabla 17 se muestran los resultados de la simulación de desplazamiento donde podemos observar que el desplazamiento máximo es de 0,00038m por lo que se puede concluir como desplazamiento despreciable.

**Tabla 21.****Factor de seguridad de la estructura principal de la máquina.**

En la tabla 18 se muestran los resultados de la simulación de factor de seguridad donde podemos observar que el valor mínimo es de 10 por lo que se puede concluir como factor de seguridad satisfactorio.

### 3.4.5. Selección de las ruedas para la estructura de la máquina.

Para la selección de las ruedas adecuadas para una sencilla y funcional movilidad para el operario se ha establecido elegir en conjunto con el auspiciante cuatro ruedas locas con freno. La capacidad de carga que se requiere soportar será dividida para las cuatro ruedas, para lo cual se enlistan las masas de las partes constituyentes de la máquina:

- Masa Gabinete: 5,19Kg
- Masa Elevador S: 15,37Kg
- Masa Elevador I: 8,775Kg
- Masa Estructura: 55,665Kg

Obtenemos una masa resultante de 85Kg; considerando un factor de carga de 2 tenemos una masa 170Kg que distribuida para las cuatro ruedas nos dan 45kg, para lo cual se optara por elegir ruedas locas con freno con capacidad de carga de 100kg, tomando en cuenta el factor de seguridad y disponibilidad del proveedor del auspiciante.



**Figura 48.** Rueda giratoria con placa y freno.

**Fuente:** (DUCASSE, 2015)

### **3.5. Diseño eléctrico y electrónico.**

#### **3.5.1. Introducción.**

Dentro del diseño eléctrico y electrónico del sistema automatizado para el mantenimiento de bombas electrosumergibles, se comenzará analizando las necesidades requeridas que se las obtuvo a partir de los requerimientos de los auspiciantes para el funcionamiento de la máquina, las mismas que se presentan a continuación:

- Realizar el control del manejo del motor impulsor de la bomba electrosumergible.
- Realizar el control del manejo del motor elevador para el alineamiento del eje del motor impulsor y el acople de la bomba electrosumergible.
- Realizar el control del manejo de la electroválvula que permite el ingreso del solvente a la bomba electrosumergible.
- Realizar el sistema de control de la máquina, el mismo que va a integrar los controles de los motores y la electroválvula para permitir su funcionamiento.

Ya presentadas las necesidades se procederá a detallar cada una y a obtener los requerimientos de las mismas para la implementación de la máquina.

#### **3.5.2. Elementos de control.**

##### **A. Control del manejo del motor impulsor.**

Se busca realizar un control en donde se pueda obtener tres diferentes velocidades en el motor. Para lo cual este sistema va a necesitar:

- Motor.
- Convertidor de frecuencia.
- Cables y otros.

##### **B. Control del manejo del motor elevador.**

Para que el eje del motor impulsor y el acople de la bomba electrosumergible se alineen, debe realizar un proceso de movimiento ascendente o descendente de la base del motor impulsor, de acuerdo a recomendaciones de los fabricantes.

El elevador de la base del motor impulsor debe tener finales de carrera que nos aseguren que los movimientos ascendente o descendente no sobrepasen los límites establecidos. Para realizar este sistema se va a necesitar:

- Motoreductor.
- Finales de carrera.
- Cables y otros.

### **C. Control del manejo de la electroválvula.**

Para que la máquina realice un suministro de solvente a la bomba electrosumergible una vez brindado movimiento por medio del motor impulsor, se va a realizar un sistema formado por los siguientes elementos:

- Electroválvula
- Cables y otros

### **D. Control de la máquina.**

Para que el sistema en conjunto funcione adecuadamente administrando, adquiriendo las señales de los sensores, activando actuadores, realizando modificaciones de forma permita una función óptima. Para realizar el control de la máquina se va a necesitar:

- Controlador lógico Programable(**PLC**)
- Interfaz humano máquina (**HMI**)
- Paro de emergencia
- Pulsadores
- Luces Piloto
- Protecciones.
- Circuitos acopladores
- Fuente de voltaje
- Panel de montaje
- Cables y otros.

### 3.5.3. Control de velocidad del motor impulsor.

Para la selección del convertidor de frecuencia más adecuado, se procederá con la selección de 3 ejemplares de diferentes marcas más utilizados en el mercado actual, o que poseen una mayor popularidad en su utilización, para lo que se tendrá:

- Microconvertidor de frecuencia **ABB ACS55**
- Convertidor de frecuencia **WEG CFW08**
- Convertidor de frecuencia **SIEMENS SINAMICS V20**.

#### A. Microconvertidor de frecuencia **ABB ACS55**.

El microconvertidor de frecuencia **ABB ACS55** como el mostrado en la figura 50, funciona con alimentación monofásica y es adecuado para entornos domésticos de serie, además posee interfaz de usuario intuitiva y sencilla con interruptores.

A continuación se presenta un listado de características técnicas para una red 220-240 VAC.

**Tabla 22.**

#### **Características del microconvertidor de frecuencia **ABB ACS55**.**

CARACTERÍSTICAS	
Modelo	ACS55-01E-02A2-2
Corriente Nominal de Entrada	6,9 <sup>a</sup>
Corriente de Salida Máxima	3,3 <sup>a</sup>
Motor Aplicable	0,5HP – 0,37kW
Peso	0,7kg
Dimensiones	146x45x128(mm).

Fuente: (ABB, 2014)



**Figura 49.** Microconvertidor de frecuencia **ABB ACS55.**

**Fuente:** (ABB, 2014)

## **B. Convertidor de frecuencia WEG CFW08.**

El Convertidor de frecuencia **WEG CFW08** como el mostrado en la figura 51, posee un encapsulado en plástico con aberturas, haciendo que este bien ventilado para permitir el flujo de aire. A continuación se presenta un listado de características técnicas para una red 220-240 VAC.

**Tabla 23.**

### **Características del convertidor de frecuencia WEG CFW08.**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Modelo	MX CFW08 0026 S 2024 SSZ
Corriente Nominal de Entrada	5,7 <sup>a</sup>
Corriente de Salida Máxima	3,9 <sup>a</sup>
Motor Aplicable	0,5HP – 0,37kW
Peso	1kg
Dimensiones	151x75x131(mm).
Frecuencia de conmutación	5kHz

Fuente: (WEG, 2009)



**Figura 50.** Convertidor de frecuencia  
**WEG CFW08.**

**Fuente:** (WEG, 2009)

### **C. Convertidor de frecuencia SIEMENS SINAMICS V20.**

El convertidor de frecuencia **SIEMENS SINAMICS V20** presenta un sencillo proceso de instalación, así como un intuitivo uso y configuración para su funcionamiento; incorpora una novedosa aplicación integrada la cual permite el uso de macros de conexión y gracias al diseño avanzado de refrigeración en conjunto con el PBC recubierto aumenta la robustez del equipo. A continuación se presenta un listado de características técnicas para una red 220-240 VAC.

#### **Tabla 24.**

#### **Características del convertidor de frecuencia SIEMENS SINAMICS V20.**

CARACTERÍSTICAS	
Modelo	6SL3210-5BE13-7CV0
Corriente Nominal de Entrada	6,2 <sup>a</sup>
Corriente Nominal de Salida	2,3 <sup>a</sup>

CONTINÚA



Peso	1,1kg
Dimensiones	90x166x145,5 (mm).
Motor Aplicable	0,5HP – 0,37kW
Interfaz de Entrada	4DI, 2DO, 2AI, 1AO

Fuente: (Siemens, 2013)



**Figura 51.** Convertidor de frecuencia  
**SIEMENS SINAMICS V20.**

**Fuente:** (Siemens, 2013)

Se procederá a realizar la tabla 22, de la matriz morfológica para observar más profundamente las ventajas y desventajas de cada convertidor de frecuencia en comparación con los tres seleccionados y plantear un proceso de evaluación que nos permita calificar y elegir al mejor puntuado tomando en consideración las características y ventajas que se requiere para formar parte de la máquina.

Tabla 25.

## Matriz morfológica de la selección de variador de frecuencia.

SISTEMA	Control de Velocidad, Motor impulsor		
ÍTEM: Convertidores de frecuencia	ACS55	CFW08	SINAMICS V20
GRAFICO			
VENTAJAS	Tamaño compacto	Alimentación Monofásica o Trifásica	Alimentación Monofásica o Trifásica
	Montaje con tornillo o carril DIN	HMI incorporada	HMI incorporada para uso de aplicaciones para macros de conexión.
	Protección IP20	Salida en protocolo Industrial	Salida en protocolo Industrial
			Protección IP20
DESVENTAJAS	Poco amigable con el usuario	Alto costo	Mayor dimensión
	Funciona solo con alimentación Monofásica	Difícil Mantenimiento	Difícil mantenimiento
	Requiere software y otros elementos para más funciones.	No posee montaje en carril DIN	No posee montaje en carril DIN

## D. Evaluación.

Se consideraron parámetros en la matriz con el fin de calificar características relevantes para la variación de tres velocidades requeridas por el auspiciante, los cuales sumados deben dar 20 puntos, haciendo con esto que el valor más alto sea el que cumpla mejor con los requisitos. Los criterios a ser evaluados son:

**Tabla 26.****Criterios a evaluar para la selección del convertidor de frecuencia.**

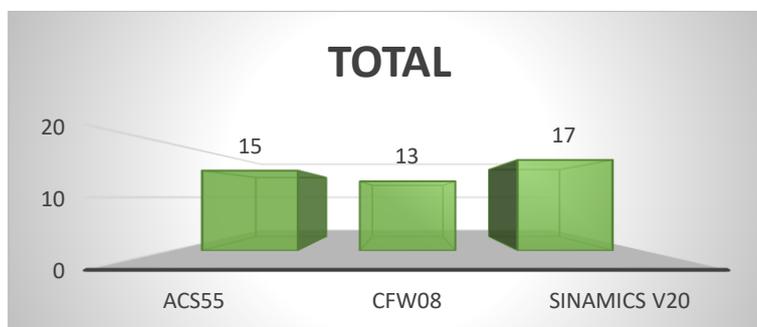
Criterios a Evaluar			
		Símbolo	Valoración
1	Montaje	M	2
2	Protección	P	3
3	Mantenimiento	MN	2
4	Costo	C	6
5	Tamaño	T	1
6	Funcionalidad	F	6
			20

Se procederá a realizar la tabla 24, de evaluación de los convertidores de frecuencia y seleccionar el instrumento que tenga el mejor puntaje en la evaluación.

**Tabla 27.****Criterios evaluados para la selección del convertidor de frecuencia.**

SISTEMA	ÍTEM	TIPOS							TOTAL
		M	P	MN	C	T	F		
Control de Velocidad	Variador de frecuencia	ACS55	2	1	2	5	1	4	15
		CFW08	1	3	1	3	1	5	13
		SINAMICS V20	1	3	1	6	0	6	17

Como se puede observar en la figura 53, el variador que más puntaje obtuvo de los criterios evaluados fue el **SINAMICS V20**.



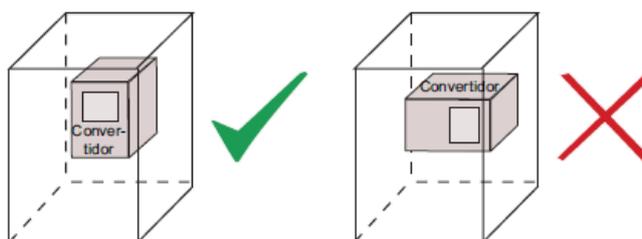
**Figura 52.** Resultado de los criterios evaluados para la selección del convertidor de frecuencia.

### E. Conclusión.

Podemos concluir que de los 3 instrumentos preseleccionados, se obtuvo que el convertidor de frecuencia **SINAMICS V20**, cumple de mejor manera con los requisitos impuestos. Ofreciendo una solución de accionamiento simple y rentable así como facilidad de uso, robustez y eficiencia de costes, lo hacen el más idóneo para una implementación como la planteada en la variación de velocidad del motor impulsor.

### F. Instalación mecánica del SINAMICS V20.

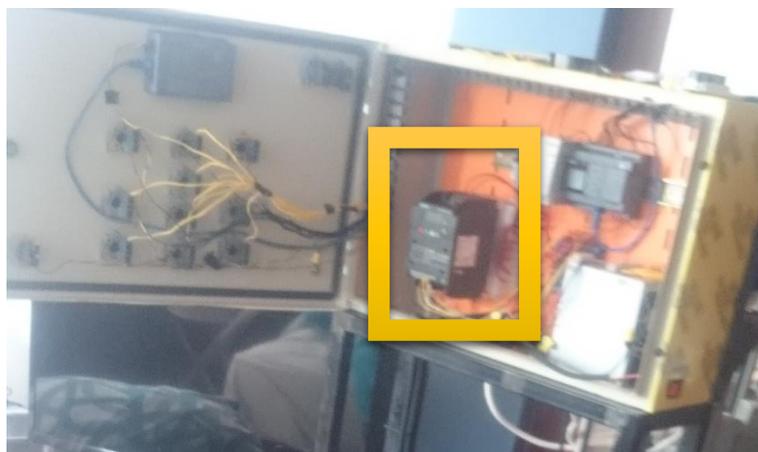
El convertidor de frecuencia o convertidor se debe montar según especificaciones del fabricante en un área cerrada que opere eléctricamente o en un armario de control



**Figura 53.** Orientación de montaje **SINAMICS V20**.

**Fuente:** (Siemens, 2013)

Tomando en consideración lo indicado se procede a colocar el convertidor de frecuencia como se muestra en la figura a continuación:



**Figura 54.** Montaje **SINAMICS V20** en armario de control.

## G. Puesta en marcha de SINAMICS V20.

### G.1. Estructura del menú de configuración

**SINAMICS V20** presenta un menú de configuración el cual le guía por los pasos necesarios para poner en marcha el sistema. Se compone de los cuatro submenús mostrados en la tabla siguiente:

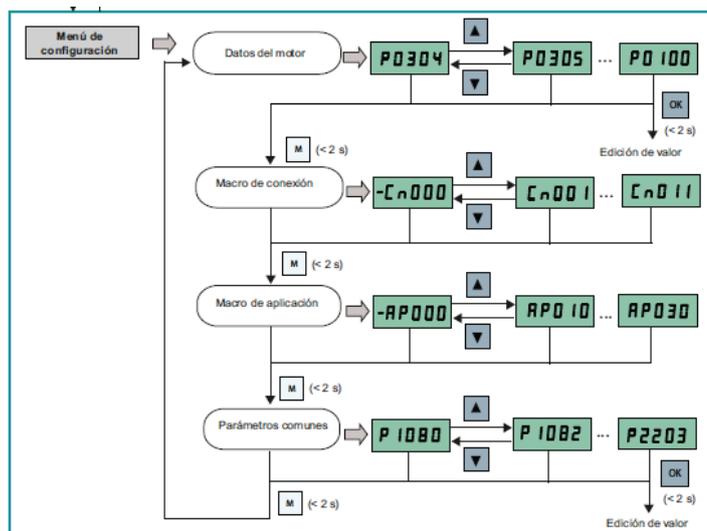
**Tabla 28.**

#### Funciones de submenú del menú configuración de SINAMICS V20.

Submenú	Funciones
1 Datos del motor	Define los parámetros nominales del motor para la puesta en marcha rápida.
2 Selección de macro de conexión	Define las macros necesarias para las disposiciones de cableado estándar.
3 Selección de macro de aplicación	Define las macros necesarias para determinadas aplicaciones comunes.
4 Selección de parámetros comunes	Define los parámetros requeridos para la optimización del rendimiento del convertidor.

Fuente: (Siemens, 2013)

Una vez comprendido las funciones de submenú podemos proceder a familiarizarnos con la estructura de menús la cual se presenta en la siguiente figura:



**Figura 55.** Estructura de menús de SINAMICS V20.

Fuente: (Siemens, 2013)

## G.2. Configuración de datos del motor

En este menú se procede a ingresar los datos nominales de la placa de características de nuestro motor el mismo que se encuentran en la tabla 26; en la siguiente tabla se indica la función de cada parámetro para poder proceder a introducir de forma adecuada nuestros valores.

**Tabla 29.**

### Funciones de parámetros del menú configuración de datos del motor de SINAMICS V20.

Parámetro	Nivel de acceso	Función	Menú de texto
P0100	1	Selección de 50/60 Hz =0: Europa [kW], 50 Hz (valor predeterminado de fábrica) =1: Norteamérica [hp], 60 Hz =2: Norteamérica [kW], 60 Hz	 (EU-US)
P0304[0]	1	Tensión nominal del motor [V] Tenga en cuenta que la entrada de los datos de la placa de características tiene que corresponder con el cableado del motor (en estrella/triángulo).	 (MOT V)
P0305[0]	1	Corriente nominal del motor [A] Tenga en cuenta que la entrada de los datos de la placa de características tiene que corresponder con el cableado del motor (en estrella/triángulo).	 (MOT A)
P0307[0]	1	Potencia nominal del motor [kW/hp] Si P0100 = 0 o 2, unidad de potencia del motor = [kW] Si P0100 = 1, unidad de potencia del motor = [hp]	 P0100=0 o 2 (MOT P)
			 P0100=1 (MOT HP)
P0308[0]	1	Factor de potencia nominal del motor (cosφ) Visible solamente cuando P0100 = 0 o 2	 (M COS)
P0309[0]	1	Eficiencia nominal del motor [%] Visible solamente cuando P0100 = 1 El ajuste 0 produce el cálculo interno del valor.	 (M EFF)
P0310[0]	1	Frecuencia nominal del motor [Hz]	 (M FREQ))

CONTINÚA



P0311[0]	1	Velocidad nominal del motor [RPM]	
P1900	2	Selección de la identificación de datos del motor = 0: Deshabilitada = 2: Identificación de todos los parámetros en parada	

Fuente: (Siemens, 2013)

### G.3. Configuración de macros de conexión.

Para el propósito principal que es el de controlar tres velocidades para el motor impulsor se utilizarán los macros de conexión que ofrece **SINAMICS V20** los cuales al poner en marcha el convertidor la configuración que planteemos se tendrá que hacer una única vez. En este menú se selecciona que macro se necesita para las disposiciones de cableado estándar. Como macro predeterminada se tiene la **CN000** para la macro de conexión 0. A continuación se indica cada macro de conexión con respectiva descripción:

**Tabla 30.**

#### Descripción de macros de conexión configuración de SINAMICS V20.

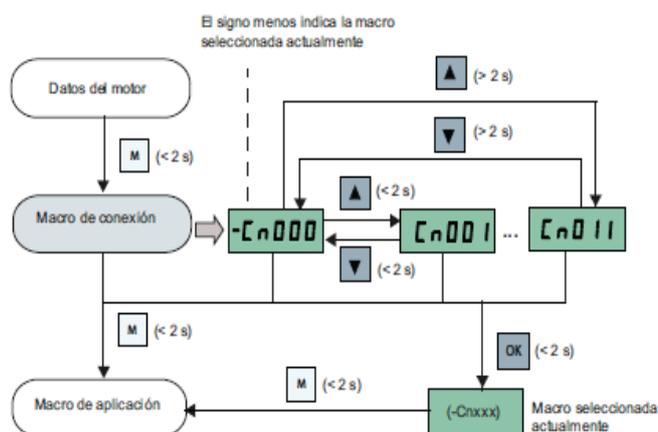
Macro de conexión	Descripción	Pantalla de ejemplo
Cn000	Ajuste predeterminado de fábrica. No hace cambios en los parámetros.	  El signo menos indica que esta macro es la macro seleccionada actualmente.
Cn001	BOP como la única fuente de regulación.	
Cn002	Control desde los bornes (PNP/NPN).	
Cn003	Velocidades fijas.	
Cn004	Modo binario de velocidad fija.	
Cn005	Entrada analógica y frecuencia fija.	
Cn006	Control con pulsador externo.	
Cn007	Pulsador externo con consigna analógica.	
Cn008	Regulación PID con referencia de entrada analógica.	
Cn009	Regulación PID con referencia de valor fija.	
Cn010	Regulación USS.	
Cn011	Regulación MODBUS RTU.	

Fuente: (Siemens, 2013)

Analizada cada macro de conexión que dispone **SINAMICS V20** aplicada al requerimiento que se busca se optó por la Cn003 la cual permite controlar el motor impulsor a tres velocidades fijas distintas.

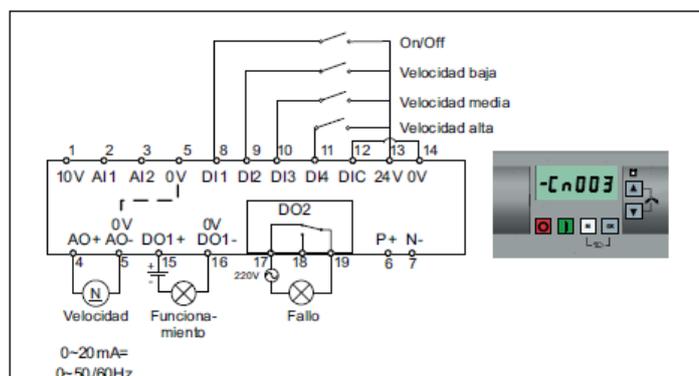
#### G.4. Macro de conexión Cn003

La macro de conexión Cn003 permite obtener tres velocidades fijas con ON/OFF. Para poder establecer en el convertidor la macro de conexión Cn003 debemos proceder al submenú Macro de conexión y seleccionarla como se muestra en la figura 57, y realizar la conexión que se muestra en la figura 58.



**Figura 56.** Configuración de macro de conexión.

**Fuente:** (Siemens, 2013)



**Figura 57.** Conexión para configuración de macro Cn003.

**Fuente:** (Siemens, 2013)

### 3.5.4. Electroválvula.

Existen muchas alternativas para la selección de una electroválvula, sin embargo se limitó a reemplazar la válvula ya acoplada al sistema de suministro de solvente la cual tiene un orificio de  $\frac{3}{4}$ " por lo que se optó por asignar una electroválvula con el mismo tamaño de orificio con un material de bronce activada a 220VAC para aprovechar la conexión de red ya establecida en el gabinete de control. El modelo y la marca se las obtuvo por el proveedor del auspiciante.

### 3.5.5. Selección del Controlador.

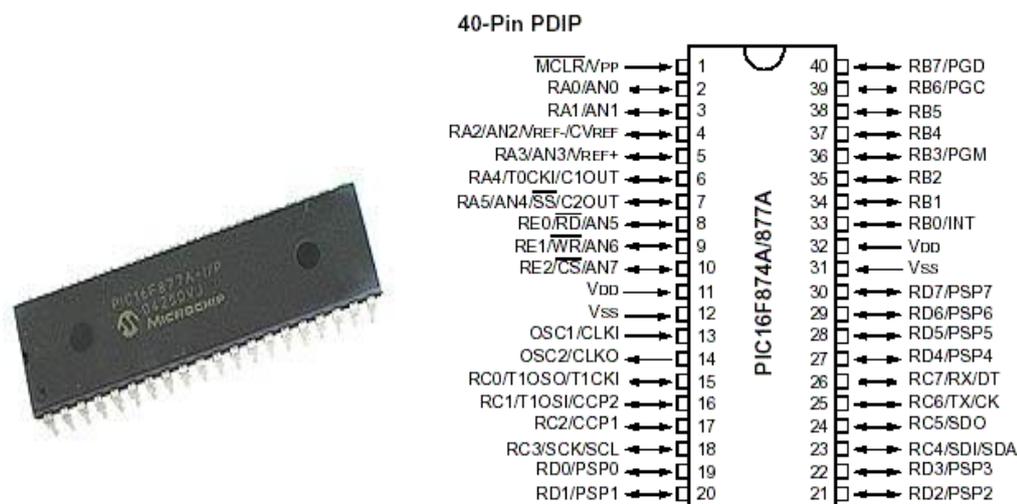
Varias alternativas se presentan cuando se habla de automatizar un proceso, la elección del más adecuado se lo realiza tomando en cuenta las necesidades planteadas y la complejidad del sistema para que sea capaz de sustentar las mismas. Se eligieron para el análisis las siguientes:

- Microcontrolador más usado pic16f877a
- PLC
- Arduino Uno

#### A. Microcontrolador PIC16F877A.

El **PIC16F877** es un microcontrolador que cuenta con tecnología **CMOS**, su consumo de potencia muy bajo y además es completamente estático, esto quiere decir que el reloj puede detenerse y los datos de la memoria no se pierden.

En la figura 59 se presenta su configuración de pines, el encapsulado más común para este Microcontrolador es el **DIP** (Dual In-line Pin) de 40 pines, propio para usarlo en experimentación.



**Figura 58.** Microcontrolador PIC16F87A

**Fuente:** (Microchip Technology Inc, 2003)

Las principales características que presenta el pic16f877a posee se describen en la tabla 28.

**Tabla 31.**

#### Características PIC16F877A.

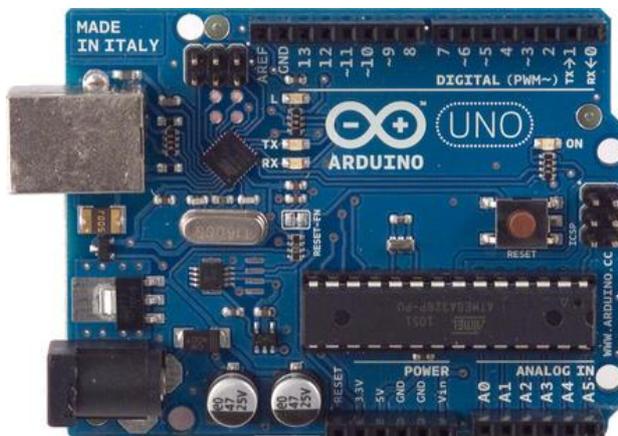
CARACTERÍSTICAS	PIC16F877A
Voltaje de alimentación	5VDC
Frecuencia máxima	20Mhz
Numero de Puertos E/S	5
Numero de pines	40
Memoria EEPROM	256 bytes
Comparadores	2
Comunicación serial	Si

Fuente: (Microchip Technology Inc, 2003)

#### B. Arduino uno.

El Arduino uno, es una plataforma de desarrollo de computación física de código abierto, basada en un Microcontrolador montado sobre una placa que brinda todas las opciones para crear programas de manera directa y a partir de librerías ya creadas y fáciles de usar. (Arduino, 2014)

A continuación se muestra en la figura 60, que el Arduino está conformado por un microcontrolador, pero el mismo se encuentra ya montado en un pcb (placa de circuitos), y por lo tanto su conexión es de manera rápida y directa.



**Figura 59.** Arduino Uno

**Fuente:** (Arduino, 2014)

La siguiente tabla 29 se muestra las características de un Arduino uno convencional.

**Tabla 32.**

### Características Arduino uno.

CARACTERÍSTICAS	ARDUINO UNO
Microcontrolador	Atmega 328
Voltaje de operación	5v
Puertos de E/S	20
Pines de E/S digital	14(6 con PWM)
Entradas analógicas	6

Fuente: (Arduino, 2014)

### C. PLC.

A un **PLC** se lo puede definir como una especie de microprocesador el cual mediante el uso de una memoria programable se basa en controles para así procesar y almacenar instrucciones y de esta manera implementar funciones que nos permitan automatizar procesos. Debido a lo mencionado es que el **PLC** es el más ocionado para la automatización de un sistema.



**Figura 60.** Diferentes Plc´s de la marca siemens.

**Fuente:** (Siemens, 2014)

Para la tabla 30 se presentan características generalizadas de **PLC'S** que están acorde a las necesidades requeridas para este proyecto.

**Tabla 33.**

**Características PLC'S.**

CARACTERÍSTICA	PLC'S
Alimentación	Disponibles en DC y AC
Entradas digitales	De 4 a 8 sin expansión
Entradas analógicas	2 por lo general
Salidas digitales	De 4 a 8 sin expansión
Salidas analógicas	2 por lo general
Comunicación	Con módulo de expansión
Mayor número de E/S	Con módulo de expansión(hasta 50)

Fuente: (Siemens, 2014)

**D. Comparación entre controladores preseleccionados.**

A continuación se partirá de la siguiente matriz morfológica que ayudará a evaluar las ventajas y desventajas de cada elemento de control seleccionado para elegir para el proyecto, y permitirá realizar una comparación entre ellos facilitando al diseñador al escoger que equipo podría satisfacer mejor sus necesidades.

**Tabla 34.**

**Selección del controlador de la máquina, matriz morfológica.**

SISTEMA	Control de motor impulsor, Control de motor elevador, Control electroválvula		
ÍTEM: controlador del sistema	ARDUINO UNO	PIC16F877A	PLC'S
GRAFICO			
VENTAJAS	Su costo no es elevado	Posee gran cantidad de entradas/salidas	Integra encapsulado bajo normas internacionales.
	Incorporada placa de funcionamiento propia.	Programación no compleja.	Ante variaciones de voltaje presenta fiabilidad y robustez.
	Librerías de programación muy variada y accesible.	Hace uso de condiciones lógicas.	Sus entradas analógicas son compatibles con protocolos de estándar industrial (0-10v o 4-20mA)
DESVENTAJAS	Software libre, su programación es de código abierto.	Se selecciona a sus pines como entradas o salidas en su programación.	Programación sencilla y montaje en cualquier gabinete de control.
	Ante variaciones de voltaje presenta fallos.	Se requiere diseñar su propia placa para su montaje lo que representa mayor gasto y tamaño.	Algunos modelos necesitan adquirir licencias.
	Sus pines de entrada y salida están limitados no permite expansión.	Sensible ante variaciones de voltaje.	Presentan costos elevadas.
	Para el uso de sensores requiere circuitos de acoplamiento.	Alimentación limitada a 5VDC	Entradas limitadas a módulos de expansión
	Carece de HMI, es decir no tiene definido.	Para realizar acoples externos del PIC se requiere de diseño de circuitos.	Número de salidas propias limita, requiere módulo de expansión

## E. Evaluación.

Se consideraron parámetros en la matriz con el fin de calificar características relevantes para el controlador del sistema requeridas por el auspiciante, los cuales sumados deben dar 20 puntos, haciendo con esto que el valor más alto sea el que cumpla mejor con los requisitos. Los criterios a ser evaluados son:

**Tabla 35.**

### Criterios a evaluar de la selección del controlador.

Criterios a Evaluar			
		Símbolo	Valoración
1	Confiabilidad	C	3
2	Adquisición	A	2
3	Mantenimiento	M	2
4	Costo	CS	3
5	Tamaño	T	1
6	Interfaz Humano Máquina	I	5
7	Flexibilidad	F	2
8	Acoplamiento	AC	2
			20

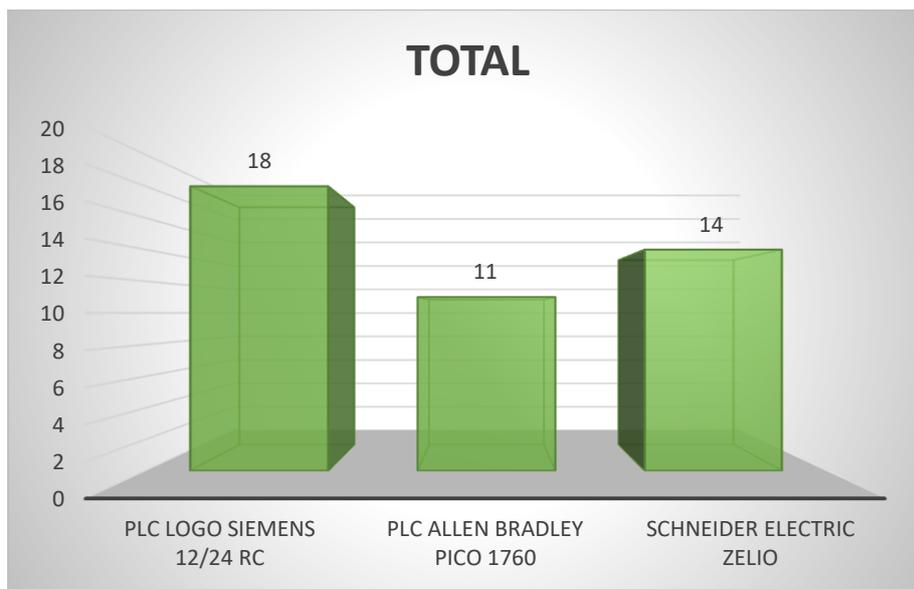
Se procederá a realizar la tabla 33, de evaluación de los controladores del sistema que tenga el mejor puntaje en la evaluación.

**Tabla 36.**

### Selección del controlador de la máquina.

SISTEMA	ÍTEM	CRITERIOS									
		TIPOS	C	A	M	CS	T	I	F	AC	TOTAL
Control del Sistema	Controlador	PIC16F877A	1	2	1	2	0	2	1	1	10
		ARDUINO UNO	2	2	1	3	1	1	1	1	12
		PLC'S	3	2	2	2	0	5	1	2	17

Como se puede observar en la figura 62, el controlador que más puntaje obtuvo de los criterios evaluados fue el PLC.



**Figura 61.** Criterios evaluados de la selección del controlador de la máquina.

#### **F. Conclusión.**

Mediante el proceso de evaluación planteado el **PLC** fue el mejor puntuado para la implementación del sistema de control. Las características que posee el **PLC** como un buen encapsulado, prestaciones robustas, costo relativamente reducido, poseer una infinidad de módulos de expansión para entradas y salidas, poder realizar una interfaz humano-máquina, junto a su sencilla y rápida programación, y a su fácil implementación, lo hacen la mejor opción para una implementación.

#### **G. Selección del PLC.**

Para la selección del **PLC** más adecuado, se procederá con la selección de 3 ejemplares de diferentes marcas más utilizados en el mercado actual del Ecuador, o que poseen una mayor popularidad en su utilización, para lo que se tendrá:

- **PLC logo 8 Siemens 12/24 v DC RC.**
- **PLC Schneider Electric Zelio 24v DC.**
- **PLC Allen Bradley Pico 1760 12/24 V DC.**

### G.1. PLC logo 8 Siemens 12/24 RCE.

El **PLC** logo 8 es un controlador perfecto para tareas de automatización industrial. Cuenta con comunicación Ethernet en todos sus módulos, presenta un tamaño reducido el cual permite aprovechar al máximo el espacio disponible, al ser modular, permite ampliar sus elementos de manera personalizada, y además incluye el logo **TDE** que se trata de un nuevo visualizador de texto. Para una mayor comodidad de manejo, posee una pantalla integrada como se ve en la figura 63, donde se puede programar, desplegar textos de aviso, y además presenta opciones como el texto en desplazamiento, gráficos de barras o los parámetros de estado y soporta tarjetas micro **SD**.

El **PLC** logo 8, permite aumentar las conexiones **E/S**, soporta como máximo 24 entradas digitales, 20 salidas digitales, 8 entradas analógicas y 8 salidas analógicas, cuenta con logo **TDE (HMI)** adicional diseñado para este controlador, con conexión directa al módulo sin necesidad de algún protocolo o medio de comunicación, y con opciones de botones integrado para manejo del **PLC**.



**Figura 62.** PLC Logo 8 de Siemens.

**Fuente:** (Siemens Corporation, 2014)

En la tabla 34, se muestra las características del **PLC** Logo de Siemens.

**Tabla 37.****Características del PLC Logo de Siemens.**

CARACTERÍSTICAS	PLC LOGO 8 SIEMENS 12/24 RCE
Tensión de entrada	24 V DC
Consumo de corriente	15 mA a 130 mA
Software de configuración	Logo softconfort
Memoria	Hasta 200 bloques
Programación	Tipo ladder o FBD( Diagrama de bloques de función)
HMI	HMI logo TDE
Idiomas	Hasta 2 idiomas
Gráficos en display	Hasta 4 gráficos de barras
Protección programación	Por contraseña

Fuente: (Siemens Corporation, 2014)

**G.2. PLC Allen Bradley Pico 1760.**

El controlador Allen Bradley Pico 1760, es un controlador fácil de usar para aplicaciones de control simple. Pensado para usar en una gama de aplicaciones desde automatización de construcción y domestica hasta control de máquinas y de planta; siendo modular, es pequeño, además permite ser programado en la pantalla presionando los botones del dispositivo como se ve en la figura 64, posee una **LCD** incorporada y también el software de programación.

**Figura 63. PLC Allen Bradley pico 1760.**

Fuente: (Allen-Bradley, 2011)

Incorpora módulos de expansión, con lo cual se puede aumentar su capacidad, y permite controles adicionales a través de sus unidades de control remoto y presenta las siguientes características como las que se describen en la tabla 35.

**Tabla 38.**

**Características PLC Allen Bradley pico 1760.**

CARACTERÍSTICAS	PLC ALLEN BRADLEY PICO 1760 L12BWB
Tensión de entrada	24 V DC
Módulos de expansión	Hasta 40 E/S
Software de configuración	PicoSoft Versión 2.1
Memoria externa	No disponible
Programación	Tipo ladder o FBD( Diagrama de bloques de función)
HMI	NO
Idiomas	Uno a la vez
Gráficos en display	NO
Protección programación	NO

Fuente: (Allen-Bradley, 2011)

**G.3. PLC Schneider Electric Zelio**

Considerado como un relé inteligente el controlador Zelio de Schneider Electric como se muestra en la figura 65, fue desarrollado para tareas de control como la automatización de máquinas pequeñas; como un sistema de relés programables, ofrece grandes ventajas, comenzando en el diseño de sistemas de controles pequeños y rápidos hasta el control de las aplicaciones gracias a su flexibilidad y sencillez.



**Figura 64. PLC Schneider Electric Zelio.**

**Fuente:** (Schneider Electric, 2014)

Presenta dos series que son la gama compacta con bloques de 10 a 20 entradas, y la gama modular con módulos de expansión y comunicación de protocolos industriales tipo modbus o Ethernet, además de las características que se muestran en la tabla 36.

**Tabla 39.**

**Características PLC Schneider Electric Zelio.**

CARACTERÍSTICAS	PLC Schneider electric Zelio SR3B101BD
Tensión de entrada	24 V DC
Módulos de expansión	Hasta 40 E/S
Software de configuración	Zelio Logic Soft
Memoria	200 bloques
Programación	Tipo ladder o FBD( Diagrama de bloques de función)
HMI	NO
Idiomas	Uno a la vez
Gráficos en display	NO
Protección programación	NO

Fuente: (Schneider Electric, 2014)

**G.4. Evaluación**

Todos los controladores preseleccionados son de uso industrial pequeño y presentan características comunes por lo que hacen que todos sean parecidos y por esta razón su selección dependerá principalmente de las características particulares que apoyen al funcionamiento del equipo, y por su costo aproximado para la implementación de la máquina. A continuación se procederá a presentar características comunes de los 3 PLC'S tabla 37, y un análisis de costos aproximado para de esta manera realizar la evaluación.

**Tabla 40.**

**Características comunes de los 3 PLC'S preseleccionados.**

CARACTERÍSTICAS COMUNES	DETALLE
Voltaje de funcionamiento	24 V DC
Montaje	Riel Din
Entradas	hasta 8 digitales o analógicas
Salidas	Hasta 4 tipo transistor o relé
Módulos de expansión	Si de E/S y comunicación
Pantalla de programación	Si
Programación	Tipo ladder o FBD

#### G.4.1. Análisis de costos.

En la tabla 38 se presenta los costos aproximados de los 3 equipos preseleccionados así como los módulos adicionales requeridos para el proyecto y así se conocerá cual es el costo de la adquisición de cada uno y poder analizar estos valores en conjunto con el auspiciante.

Cabe mencionar que para una aplicación del tipo que se ha propuesto va a ser necesario incluir una fuente, un módulo de expansión y de ser necesario un módulo de comunicación, además de un **HMI**.

**Tabla 41.**

#### Análisis de costos para cada PLC con módulos adicionales.

MODELO DE PLC	MÓDULOS ADICIONALES	CANTIDAD	V. UNIT (USD)	V. TOTAL (USD)
<b>PLC logo 8 Siemens 12/24 RCE</b>	Costo PLC	1	120	120
	Fuente 24 DC	1	75	75
	Módulo de E/S	1	95	95
	HMI	1	145	145
	Total			<b>435</b>
<b>PLC Allen Bradley Pico 1760</b>	Costo PLC	1	250	250
	Fuente 24 DC	1	75	75
	Módulo de E/S	1	145	145
	Total			<b>470</b>
<b>Schneider Electric Zelio</b>	Costo PLC	1	175	175
	Fuente 24 DC	1	75	75
	Módulo de E/S	1	131	131
	Módulo de comunicación Modbus	1	145	145
	HMI modbus	1	130	130
	Total			<b>656</b>

No se pudo encontrar en el **PLC** Allen Bradley de un sistema **HMI**, razón por la cual no se podría implementar una interfaz con el usuario.

El análisis de costos presentado nos muestra que el **PLC** Logo de Siemens tiene un valor menor para una implementación incluyendo los módulos necesarios para su funcionamiento como serian una fuente de poder, un sistema de expansión y **HMI**.

**G.4.2. Selección del PLC.**

A continuación nos valdremos de la siguiente matriz morfológica que nos ayudara a evaluar las ventajas y desventajas de cada **PLC** preseleccionado para elegir para el proyecto, y permitirá realizar una comparación entre ellos facilitando al diseñador al escoger que equipo podría satisfacer mejor sus necesidades.

**Tabla 42.**

**Matriz morfológica de la selección del PLC.**

SISTEMA	Control de motor impulsor, Control de motor elevador, Control electroválvula		
ÍTEM: Selección PLC	PLC logo Siemens 12/24 v DC RC	PLC Allen Bradley Pico 1760	Schneider electric Zelio
GRAFICO			
VENTAJAS	Capacidad de incorporar HMI Logo TDE propio sin necesidad de comunicación compleja.	Diseño robusto ideal para condiciones extremas.	Posee un módulo modbus con capacidad de comunicarse con cualquier equipo
	Menor Costo.	Alta gama de accesorios disponibles.	Software de programación gratuito
	Pantalla incorpora graficas y datos.		Disponble versiones con mayor cantidad de E/S.
DESVENTAJAS	No hecho para condiciones extremas.	Software programación de más complejo	Mayor costo.
		No presenta graficas en pantalla	No muestra graficas en la pantalla Funciones básicas de programación

### G.4.3. Criterios a Evaluar.

Se consideraron parámetros en la matriz con el fin de calificar características relevantes para el **PLC** del sistema requeridas por el auspiciante, los cuales sumados deben dar 20 puntos, haciendo con esto que el valor más alto sea el que cumpla mejor con los requisitos. Los criterios a ser evaluados son:

**Tabla 43.**

#### Criterios a evaluar para selección del PLC.

Criterios a Evaluar			
		Símbolo	Valoración
1	Confiabilidad	C	3
2	Adquisición	A	2
3	Mantenimiento	M	2
4	Costo	CS	5
5	Interfaz Humano Máquina	I	5
6	Funcionamiento	F	3
			20

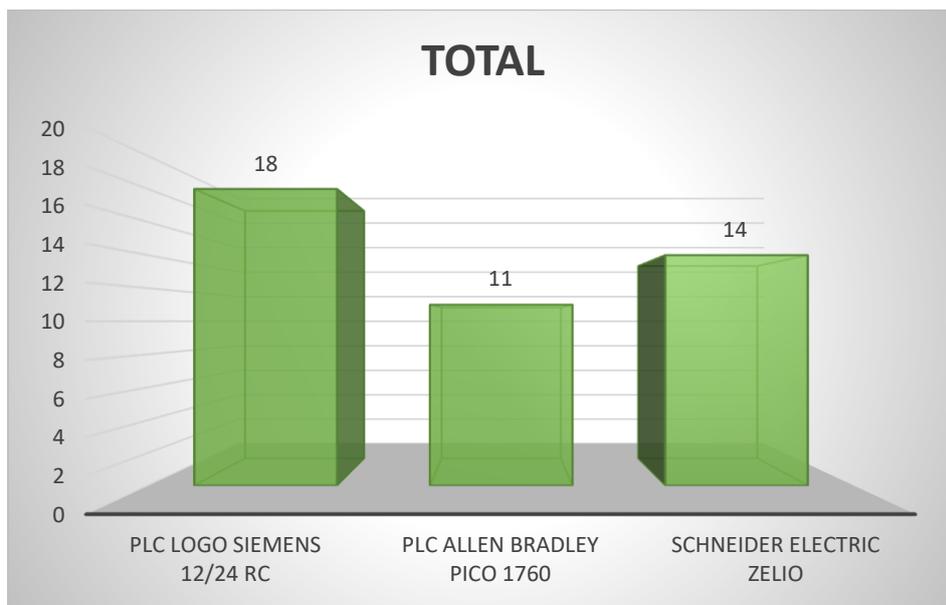
Se procederá a realizar la tabla 41, de evaluación de los controladores del sistema que tenga el mejor puntaje en la evaluación.

**Tabla 44.**

#### Criterios evaluados para la selección del PLC.

SISTEMA	ÍTEM	TIPOS	CRITERIOS						
			C	A	M	CS	I	F	TOTAL
Control	PLC	PLC logo Siemens 12/24 RC	2	2	2	5	5	2	18
		PLC Allen Bradley Pico 1760	1	1	1	4	2	2	11
		Schneider Electric Zelio	2	1	2	3	4	2	14

Como se puede observar en la figura 66, el controlador que más puntaje obtuvo de los criterios evaluados fue el **PLC**.



**Figura 65.** Resultados evaluación selección del **PLC** de la máquina.

### **G.5. Conclusión.**

Se puede concluir mediante el proceso de evaluación del PLC que el logo 8 de Siemens 12/24 **RCE** es el mejor calificado puesto que satisface de mejor manera los requerimientos que se plantearon por el diseñador para el controlador de la máquina. A pesar de que los **PLC'S** preseleccionados, poseen características comunes debido a que son hechos para satisfacer las mismas necesidades sus características particulares hacen que resalten a un equipo de otro. La pantalla externa del **PLC** Logo siemens, diseñada para el despliegue de información, con textos móviles, permitir gráficas y barras informativas, por lo que lo convierten en una herramienta perfecta para la aplicación planteada.

### **3.5.6. Requerimientos a considerar previa a la programación del PLC Logo de Siemens.**

Previo a la programación del **PLC** se deberán considerar aspectos establecidos en conjunto con el auspiciante con el fin de que sirvan como base del funcionamiento de la máquina y como punto de partida. Los requerimientos previos a tomar en cuenta serán:

- Debido a que el motor impulsor que se utiliza actualmente en la empresa auspiciante no posee la capacidad de variar su velocidad genera inconvenientes para el operario puesto que el mantenimiento que se les realiza a las distintas bombas electrosumergibles no poseen las mismas dimensiones.
- De acuerdo a los encargados del mantenimiento, la válvula a cargo del suministro de solvente resta tiempo en el proceso ya que es manual y se lo realiza por una sola persona y al tener este inconveniente se requiere necesariamente de otra persona adicional.
- Debido a que las bombas electrosumergibles se encuentran a diferente altura por presentar características heterogéneas con respecto a sus dimensiones se requiere que el motor impulsor deba ser regulado con respecto a la altura mediante el operario es decir manualmente sostenida por el mismo lo que genera riesgo para el operario e ineficiencia en el proceso.
- Existen varias actividades asignadas al operario y se requiere de un modo automático el cual pueda ser regulado por tiempos, para las bombas electrosumergibles que se den mantenimiento con mayor frecuencia y de esta manera no requieran de una continua vigilancia del proceso.

#### **A. Diagramas de causa-efecto de los controles asignados al PLC.**

Los diagramas de causa-efecto se construyen para ilustrar con claridad cuáles son las causas de un problema. Un eje se dirige al efecto, sobre él se disponen las posibles causas. Es una de las herramientas eficaces en acciones de mejoramiento y una solución de procesos ya que permite, de forma sencilla agrupar y visualizar las razones que dan el origen de un problema. (Sarv, 1997)

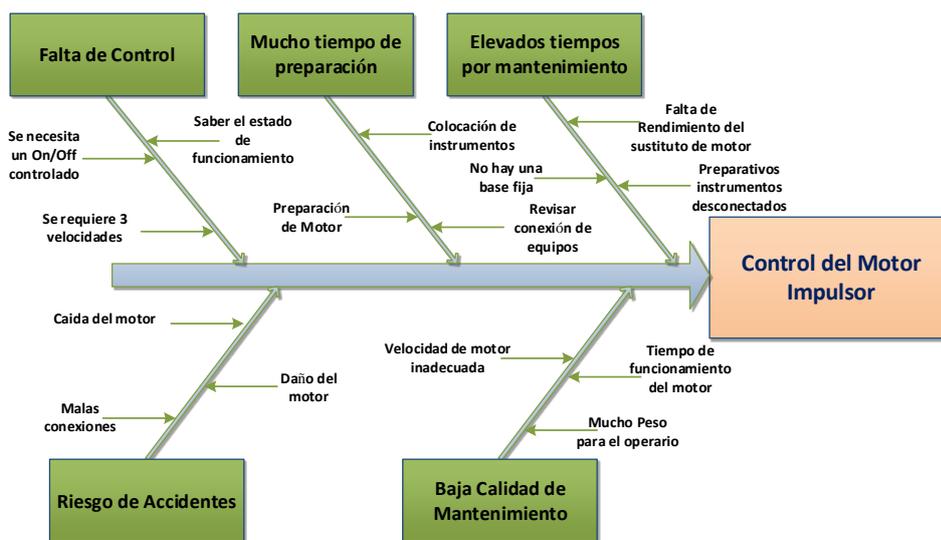
Con ayuda de los aspectos planteados y analizados en el literal anterior se podrán designar las partes más relevantes que el diseñador apreció y así definirlos como efectos los cuales serán:

- Control de velocidad del motor impulsor.
- Control del motoreductor elevador.
- Control de apertura y cierre de la electroválvula.

Con los 3 efectos requeridos se tendrá una máquina automatizada, eficiente, óptima y funcional, para los operarios del mantenimiento de bombas electrosumergibles, y se procederá así:

**A.1. Diagrama causa-efecto de control de velocidad del motor impulsor.**

A continuación se muestra en la figura 78 el diagrama causa-efecto de la necesidad de realizar un control de velocidad del motor impulsor.



**Figura 66.** Diagrama causa-efecto del control de velocidad del motor impulsor.

**A.2. Diagrama causa-efecto de control del motoreductor elevador.**

A continuación se muestra en la figura 79 el diagrama causa-efecto de la necesidad de realizar un control del motoreductor elevador.

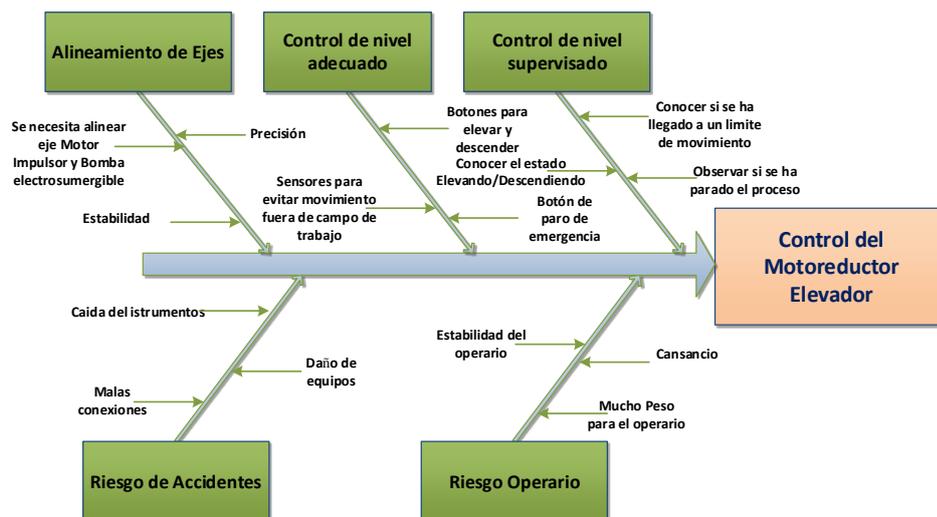


Figura 67. Diagrama causa-efecto del control del motoreductor elevador.

### A.3. Diagrama causa-efecto de control de apertura y cierre de la electroválvula.

A continuación se muestra en la figura 80 el diagrama causa-efecto de la necesidad de realizar un control de apertura y cierre de la electroválvula.

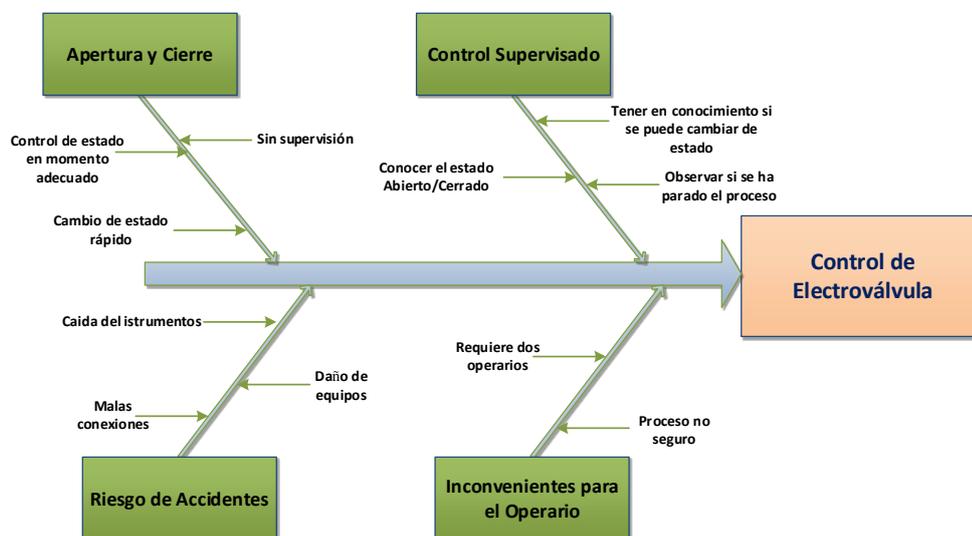
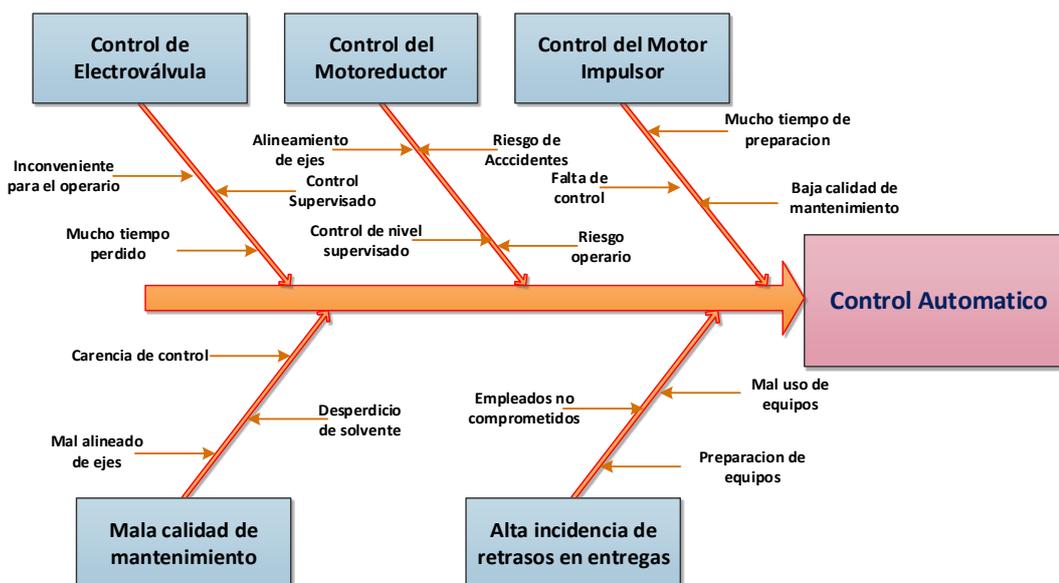


Figura 68. Diagrama causa-efecto del control de apertura y cierre de la electroválvula.

#### A.4. Diagrama causa-efecto total de los inconvenientes de la máquina.

En la figura 81, se presenta el diagrama causa-efecto de todos los problemas que tiene la máquina, y de esta forma poder identificar bien las áreas de control y saber cuáles serían los problemas que se pueden evitar realizando el control a cada área indicada.



**Figura 69.** Diagrama causa-efecto total de la máquina automática de BP.

Mediante el diagrama de causa y efecto total realizado, podemos observar las principales razones, de automatizar la máquina, y por consecuencia el desarrollo de la misma, además de tomar en consideración dentro de sí, los efectos principales reconocidos de los varios aspectos por parte del diseñador.

A partir de las matrices de causa y efecto, podemos observar los valores de entrada en los procesos y poder desarrollar una matriz de relaciones, o hacer un **QFD** (Quality function deployment) también conocido como “Casa de la calidad”. (Zaidi, 1993)

#### B. Matriz QDF para necesidades de control.

Un gran salto en el avance de la tecnología presentada en la actualidad está orientada al diseño de productos, y a partir de esta es que las personas pueden ingresar sus parámetros o necesidades para obtener diversos valores que dan a conocer cuáles son sus requerimientos para su diseño.

El diseño concurrente es una herramienta muy empleada que ha venido tomando gran impulso. Es en el cual los ingenieros tratan de hacer más eficiente la ingeniería, impulsándose en unir varios procedimientos que sirvan para restar tiempos que se utilizan en el desarrollo de proyectos, tomando en cuenta la calidad del producto, considerando desde un inicio las necesidades que van a requerir los solicitantes del servicio o las personas que elaboren el producto, pasando por su concepción inicial, la fabricación, control de la calidad, hasta su producto final, atravesando las etapas de fabricación, distribución y venta.

El diseño concurrente se hace valer del uso del **QFD** (Quality function deployment) o “Casa de la calidad”, la misma que admite ingresar valores para ser analizados y con esto identificar en que partes del diseño se van a poner más atención.

La matriz del **QFD** parte de “**QUE**”, que es donde se indica que lo que se desea para el diseño, ya ingresado el que, le sigue el “**COMO**”, que es donde se indica en base a que se va a desarrollar el diseño.

Procedemos posteriormente con “**QUE VS COMO**” que es donde se registran valores en una tabla, para permitir realizar la relación que hay en las necesidades del **QUE**, con las opciones del **COMO**.

Además se tiene un “**ANÁLISIS QUE**” para mostrar cuáles serán los valores que más se debería trabajar o tomar en cuenta en el diseño. Dentro de este cuadro también se permite realizar el “**BENCH MARKING**”, y con esto conocer a la competencia y compararla con el desarrollo del producto que se realiza.

Ya en conjunto con todo lo presentado se procede a la funcionalidad del producto, para que con los valores mejor puntuados que se obtenga en el sistema **QFD**, representarlos como las características en que se deberá centrar el diseño de control.

### **B.1. Desarrollo de la Matriz QFD**

Se partirá seleccionando los “**QUE**”, para así establecer las características o entradas del proceso, mismas que se obtendrán de los aspectos previos brindados por los operarios y encargados del proceso, además de las causas encontradas en los

diagramas de Ishikawa (causa-efecto) que se realizaron previamente. Las características son:

- Velocidad
- Estado Motor Impulsor
- Cambio de giro
- Exceso de movimiento
- Abrir/Cerrar
- Posición Base Motor Impulsor

Continuamos estableciendo los “**COMO**”, para lo cual se tomaron en cuenta los requerimientos funcionales requeridos implementar en la máquina, los mismos que se encontraran dentro de rangos definidos para cada tipo, y se presentan a continuación:

- Control Velocidad Motor Impulsor
- Control Encendido Motoreductor
- Control Cambio de Giro Motoreductor
- Control de Estado Electroválvula
- Control de Exceso de movimiento
- Control automático de la máquina
- Interfaz Humano-Máquina (HMI)
- Panel de control

Las relaciones mostradas a continuación servirán para relacionar los **QUE** vs **COMO**, y son:

- Fuerte (9)
- Moderada (3)
- Débil (1)

Las relaciones mostradas a continuación servirán para los **COMO** vs **COMO**, y son:

- Positiva
- Negativa
- No correlación

Y por último para observar la orientación de la dirección de la mejora del sistema, se utilizara las siguientes opciones:

- Maximizada
- Objetivo
- Minimizada

Además se procederá a establecer diferentes rangos de importancia. Estos se obtendrán con ayuda de los diagramas causa-efecto, para cada característica o entrada deseada, los valores mencionados irán en formato porcentual para así obtener un grado de importancia referente y lograr ingresarlos en el sistema **QFD**, permitiendo obtener los resultados para el diseño del proceso de control indicado a continuación en la figura 82.

Row Number	Entradas del Sistema (implícitos- explícitos) (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Weight / Importance	Relative Weight	Competitive Analysis (0=Worst, 5=Best)				
				Nuestro Producto				
1	Velocidad	4	20.00	4				
2	Estado Motor Impulsor	3	15.00	3				
3	Cambio de Giro	4	20.00	4				
4	Exceso de Movimiento	3	15.00	3				
5	Abrir/Cerrar	4	20.00	4				
6	Posicion Base Motor Impulsor	2	10.00	2				

**Figura 70.** Características "QUE" del QFD de la programación de la máquina.

Continuamos ingresando las relaciones entre los **QUE VS COMO**, mostrados en la figura 83, con el fin de observar cómo se relaciona cada característica deseada con cada requerimiento que se estableció para el proceso.

				Relationship Between Requirements: 9-Strong 3-Moderate 1-Weak								
				Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8
				Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	3	3
				Requirement Weight	310	310	290	260	260	610	240	220
				Relative Weight	12,40	12,40	11,60	10,40	10,40	24,40	9,60	8,80
				Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	9	7	9	7	5	8	8	7
				Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	▲	x	▲	▲	x	x	x	x
				Target or Limit Value	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Entradas del Sistema (implicitos-explicitos) (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Requerimientos Funcionales	Control Velocidad Motor Impulsor	Control Encendido Motoreductor	Control Cambio de Giro Motoreductor	Control de Estado Electroválvula	Control de Exceso de movimiento	Control automático de la maquina	Interfaz Humano-Maquina (HMI)	Panel de control
1	9	20,00	Velocidad		9	1	1	1	1	9	3	3
2	3	15,00	Estado Motor Impulsor		3	1	1	1	1	1	3	1
3	9	20,00	Cambio de Giro		1	9	9	1	3	9	1	3
4	9	15,00	Exceso de Movimiento		1	3	3	1	9	3	3	1
5	9	20,00	Abrir/Cerrar		1	1	1	9	1	9	3	3
6	3	10,00	Posicion Base Motor Impulsor		3	3	1	1	1	1	1	1

Figura 71. Relaciones "QUE vs COMO" de la matriz QFD para la programación.

Ahora proseguimos con las correlaciones del COMO, donde podemos observar que sistemas están más unidos unos con otros.

		Column Number							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Row Number	Requerimientos Funcionales	Control Velocidad Motor Impulsor	Control Encendido Motoreductor	Control Cambio de Giro Motoreductor	Control de Estado Electroválvula	Control de Exceso de movimiento	Control automático de la maquina	Interfaz Humano-Maquina (HMI)	Panel de control
	1	Control Velocidad Motor Impulsor							
	2	Control Encendido Motoreductor	-						
	3	Control Cambio de Giro Motoreductor	-	+					
	4	Control de Estado Electroválvula	-	-	-				
	5	Control de Exceso de movimiento	-	+	+	-			
	6	Control automático de la maquina	+	+	+	+	-		
	7	Interfaz Humano-Maquina (HMI)	+	+	+	+	-	+	
	8	Panel de control	+	+	+	+	-	+	+

**Figura 72.** Correlaciones del "COMO" de la matriz QFD de la programación de la máquina.

Existe la posibilidad de ingresar los valores técnicos de los competidores, y así poder hacer un análisis de Bech Marking figura 84, pero para la máquina no existen por lo que solo se podrá observar los pesos de cada requisito funcional en una escala.

Ya completado el ingreso de todos los valores en el QFD, se podrá obtener una herramienta completa que nos va a permitir observar las relaciones entre las características y los requerimientos, identificar qué características son más apreciadas, y de qué manera hacer que estas características sobresalgan variando las relaciones con los requerimientos.

A continuación se realizará las ponderaciones del sistema para así completar el diseño de la matriz QFD, especificando los siguientes parámetros:

**B.2. Objetivo.**

El objetivo se asignara por parte del diseñador los cuales variaran entre valores de 1 a 5, siendo 5 el valor máximo, con el fin de establecer la característica o entrada del proceso la importancia que lo represente.

### B.3. Relación de mejora.

La ecuación 21 presenta la ecuación para poder obtener la relación de mejora la cual es igual al objetivo, dividido para el valor de nuestro producto, y así mediante esta relación observar donde se tiene mayor valor agregado.

$$\text{Relacion de mejora} = \frac{\text{Objetivo}}{\text{Valor del Producto}} \quad (28)$$

### B.4. Argumento de venta.

El argumento de venta es asignado por el diseñador y se establecerá con el argumento de que parámetro se podría vender el producto, la característica insignia.

### B.5. Ponderación absoluta.

La ecuación 22 presenta el cálculo de la ponderación absoluta el cual se hará a partir de la importancia del cliente, el objetivo, y la relación de mejora.

$$P. Absoluta = Imp. cliente * objetivo * relacion de mejora \quad (29)$$

### B.6. Ponderación relativa.

El objetivo final es obtener la ponderación relativa como se muestra en la figura 85, para la cual se procederá a ocupar la ecuación 23.

$$\text{Ponderacion Relativa} = \frac{\text{Ponderacion Absoluta}}{\sum \text{Ponderacion Absoluta}} * 100 \quad (30)$$

ROW#	Objetivo	Relacion de Mejora	Argumento de venta	Ponderacion Absoluta	Ponderacion Relativa
1	5	1,25	5	31,25	17,0068
2	5	1	2	30	16,32653
3	5	1,25	5	31,25	17,0068
4	5	1	2	30	16,32653
5	3	1,25	5	31,25	17,0068
6	3	1	2	30	16,32653
				183,75	100

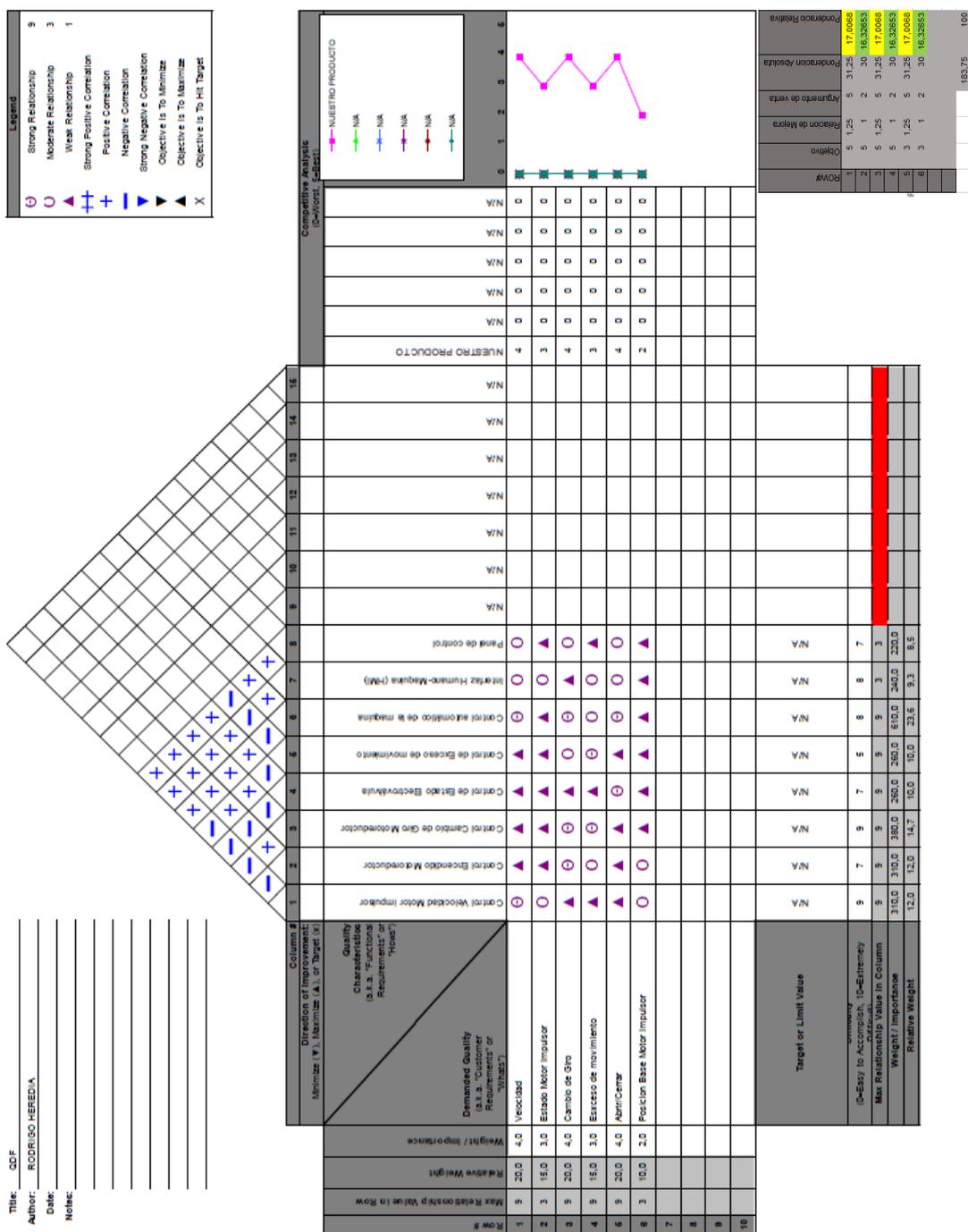
Figura 73. Ponderaciones Matriz QFD.

Finalmente obtenemos los valores mejor puntuados, y de esta forma marcan la pauta de cuáles son las partes del proceso más importantes donde el diseñador deberá centrarse para la programación de la máquina y su funcionamiento.

Concluimos con la tabla 44 del QFD, el cual se presenta a continuación:

Tabla 45.

Matriz QFD del control de la máquina.



## C. Parámetros de la programación.

Concluida la estructura y establecidas las ponderaciones del **QFD**, sobresalieron las siguientes entradas principales:

- Velocidad (17,0068)
- Cambio de Giro (17,0068)
- Abrir/Cerrar (17,0068)

Ya con las principales entradas o características del proceso para la automatización y programación de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles, se llevará a cabo los diagramas de procesos.

### C.1. Método Gráfico para modelación de procesos de control.

Gracias a los diagramas de causa-efecto y el **QFD** realizados pudimos obtener los controles necesarios para el funcionamiento de la máquina, para lo que se tendrá los procesos principales de la máquina, y que además guiaran en el diseño del programa que plantee la regulación del funcionamiento de la máquina. Los mismos que se presentan a continuación:

- Control de Velocidad del Motor Impulsor
- Control de Cambio de Giro del Motoreductor
- Control de Cambio de Estado de la Electroválvula

El esquema **IDEF0** será utilizado para esquematizar el proceso del sistema, y nos proporcionara las variables, los controladores, y los resultados del funcionamiento.

El **IDEF0** (Integration Definition for Function Modeling) es un método gráfico, creado bajo el diseño para modelar decisiones, acciones y actividades pertenecientes a una organización, a un sistema o proceso que se encuentran generalmente en el área de gestión de calidad y de control. A continuación se procederá a realizar cada diagrama de los procesos utilizados y se conformara la red de procesos final de la máquina haciendo uso de la simbología presentada en la siguiente tabla 45.

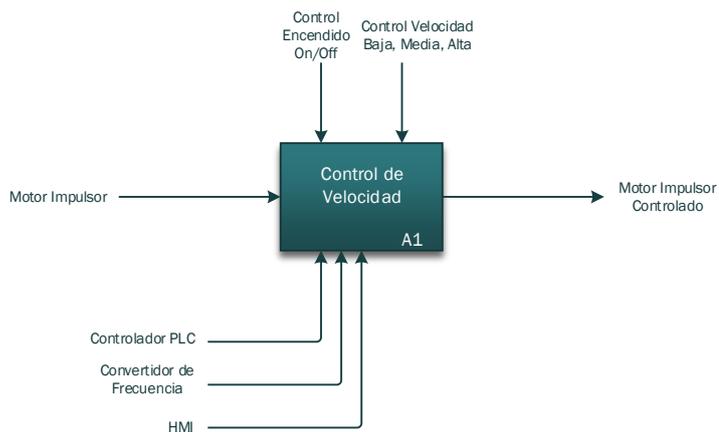
**Tabla 46.**

**Tabla de Símbolos para diagramas de proceso.**

Símbolo	Descripción
	Proceso n  n: identificación del proceso
<b>En</b> 	Entrada de Proceso n
<b>Sn</b> 	Salida de Proceso n
<b>Cn</b> 	Control de Proceso n
<b>Sn</b> 	Salida de Proceso n
	Interrelación entre todos los procesos

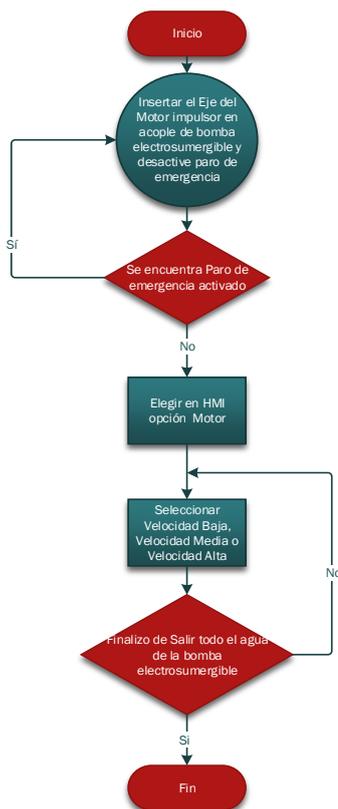
**C.2. Proceso de control de velocidad.**

El diagrama del proceso de control de velocidad se presenta en la figura 86 donde se presentan todas las partes involucradas.



**Figura 74.** Diagrama del proceso de control de velocidad.

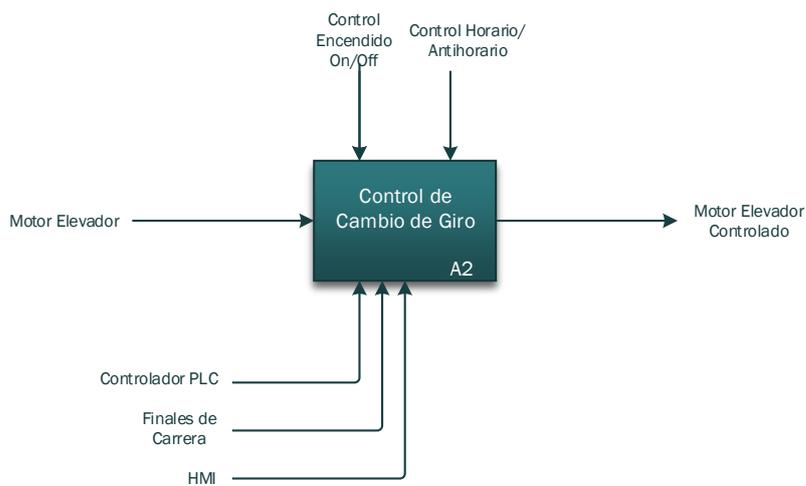
Realizado el diagrama del proceso de control de velocidad, se prosigue a realizar el diagrama de flujo, como se muestra en la figura 87.



**Figura 75.** Diagrama de flujo del proceso de control de velocidad.

**C.3. Control de cambio de giro.**

El diagrama del proceso de control de cambio de giro se presenta en la figura 88 donde se presentan todas las partes involucradas.



**Figura 76.** Diagrama del proceso de control de cambio de giro.

Realizado el diagrama del proceso de control de cambio de giro, se prosigue a realizar el diagrama de flujo, como se muestra en la figura 89.

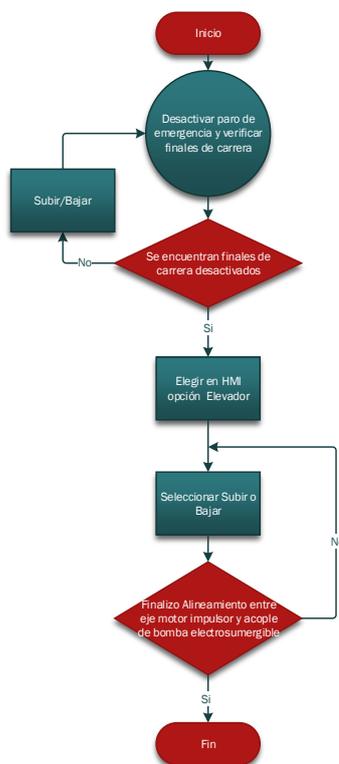


Figura 77. Diagrama de flujo del proceso de control de cambio de giro.

#### C.4. Control de cambio de estado

El diagrama del proceso de control de cambio de estado se presenta en la figura 90 donde se presentan todas las partes involucradas.

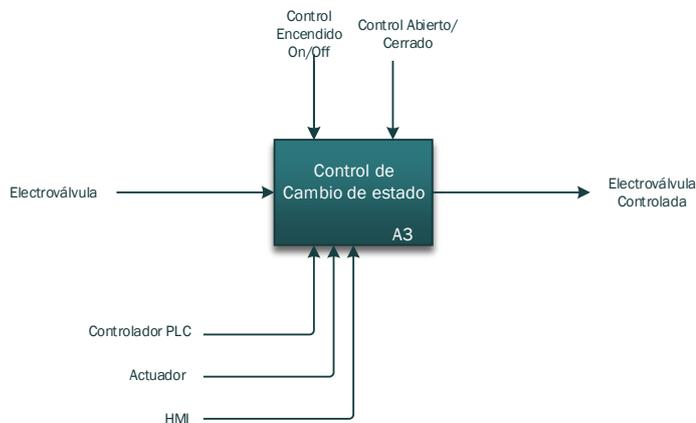
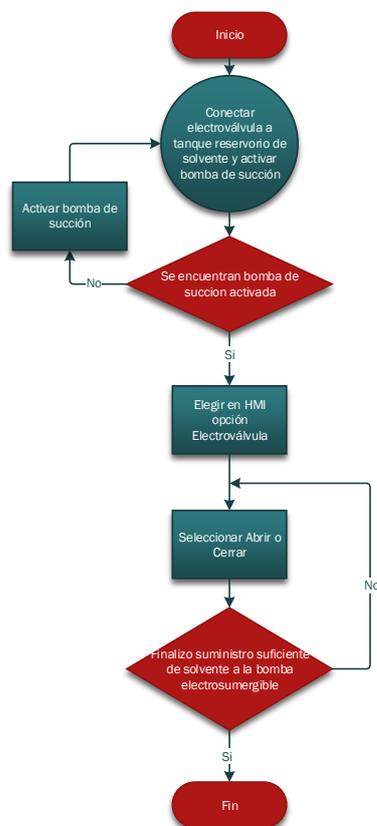


Figura 78. Diagrama del proceso de control de cambio de estado.

Realizado el diagrama del proceso de control de cambio de estado, se prosigue a realizar el diagrama de flujo, como se muestra en la figura 91.

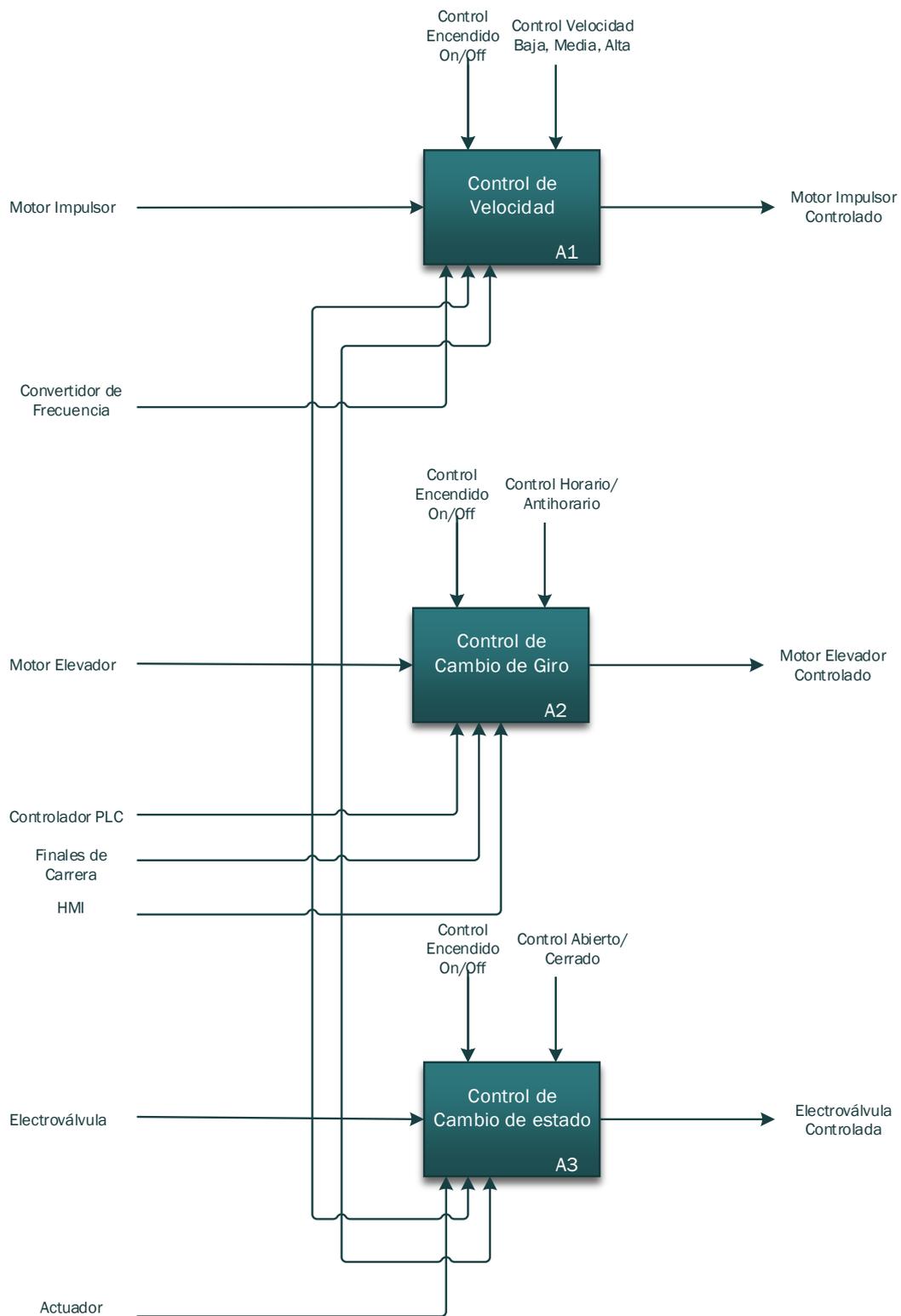


**Figura 79.** Diagrama de flujo del proceso de control de cambio de estado.

### C.5. IDEF0 total de control

Concluyendo con la realización del **IDEF0** total de la máquina, el cual se muestra en la figura 92, el mismo que integra los tres controles que estarán a cargo del controlador y así poder integrar y relacionar dichos procesos entre sí; se presentan también las entradas para los controles las cuales se interpretan como los dispositivos a controlar y las salidas que nos indican los resultados de los controles.

Esta herramienta resulta muy práctica ya que muestra con orden lo que se plantea desarrollar por parte del controlador, para de esta manera poder realizar una ordenada programación.



**Figura 80. IDEF0 total de control de la máquina.**

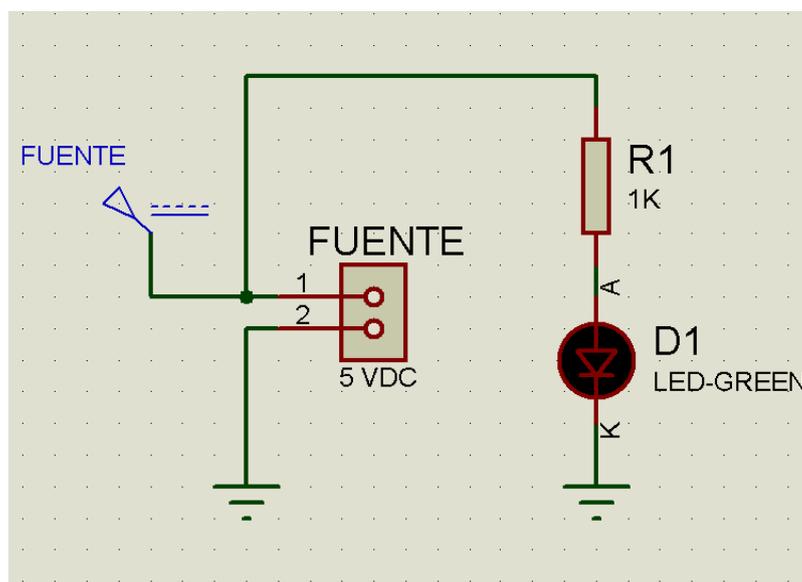
### 3.5.7. Diseño del circuito de potencia.

El circuito de potencia será diseñado con el fin de proteger los equipos que se utilizaron en el control, estableciéndose estos como un lazo entre el **PLC** y los actuadores como son el motor impulsor, el motor elevador y la electroválvula. Para el desempeño de la máquina se diseñó un circuito de potencia con ocho relés activados a **5VDC** con capacidad a 10A, con conocimiento previo adquirido que la corriente máxima que se va a trabajar es de 3,5A.

El proceso de diseño para la placa del circuito de potencia será realizado con ayuda del programa Isis Proteus de diseño electrónico, el mismo que nos brinda la selección de elementos, realizar simulaciones, verificar comportamientos, de los circuitos y ubicar los elementos utilizados en el diseñador de pcb para así trazar las pistas que requerirá la placa final para su funcionamiento.

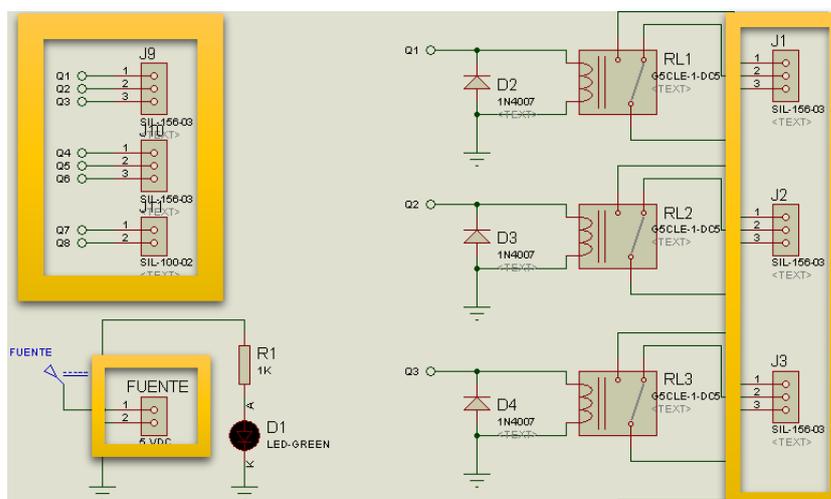
Se establecieron los siguientes pasos mostrados a continuación para el diseño, y construcción del circuito de potencia:

1. Se comienza por establecer la fuente de alimentación del circuito como se indica en la figura 67, la cual será de 5 Vdc, debido a que se va a utilizar relés de este voltaje, y será implementado un led para indicar el estado del circuito (encendido o apagado).



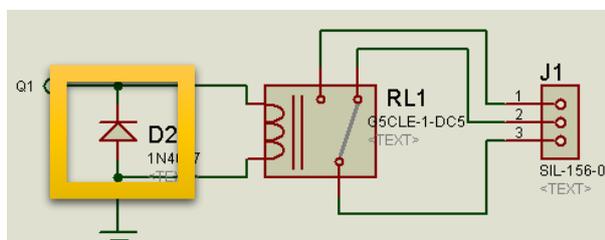
**Figura 81.** Diseño de la fuente del circuito de potencia con luz de estado.

2. Para las entradas del circuito de potencia se utilizara borneras como se puede observar en la figura 68 y los relés tendrán una entrada proveniente de las salidas **Q** del **PLC** los cuales darán la señal de activación en donde la tierra de la entrada ya estará puentada en todos los relés.



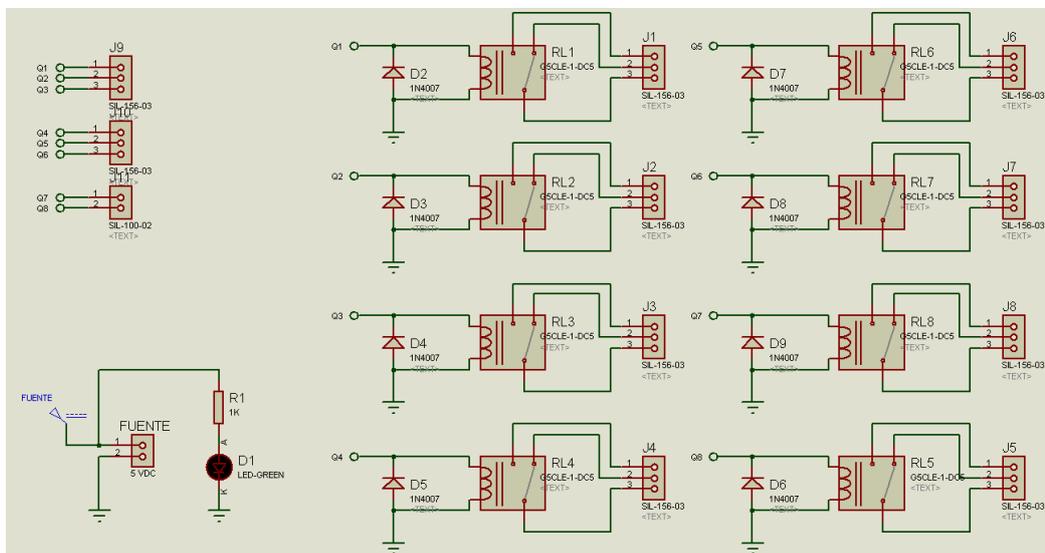
**Figura 82.** Entradas de activación de relés del circuito de potencia.

3. Como medio de protección se utilizará un diodo en cada relé, que permitirá cuando la bobina se des energice, la tensión inducida por este, se reconduzca de nuevo por la bobina, previniendo así el daño de los componentes externos tal como se ve en la figura 69.



**Figura 83.** Relé con diodo de protección en la bobina.

4. Utilizado todo lo anterior mencionado la estructura del circuito de potencia final se muestra en figura 70, se podrá conectar 8 señales de control, en donde solo se manejarán para nuestro sistema las señales de normalmente abierto de los relés.



**Figura 84.** Circuito de potencia final de 8 entradas de control.

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

#### 4.1. Construcción Mecánica.

Con respecto a la construcción mecánica de la máquina se procederá a plantear dos partes principales para conformación de la misma, donde se realizará sus respectivos diagramas de flujo para una mejor interpretación.

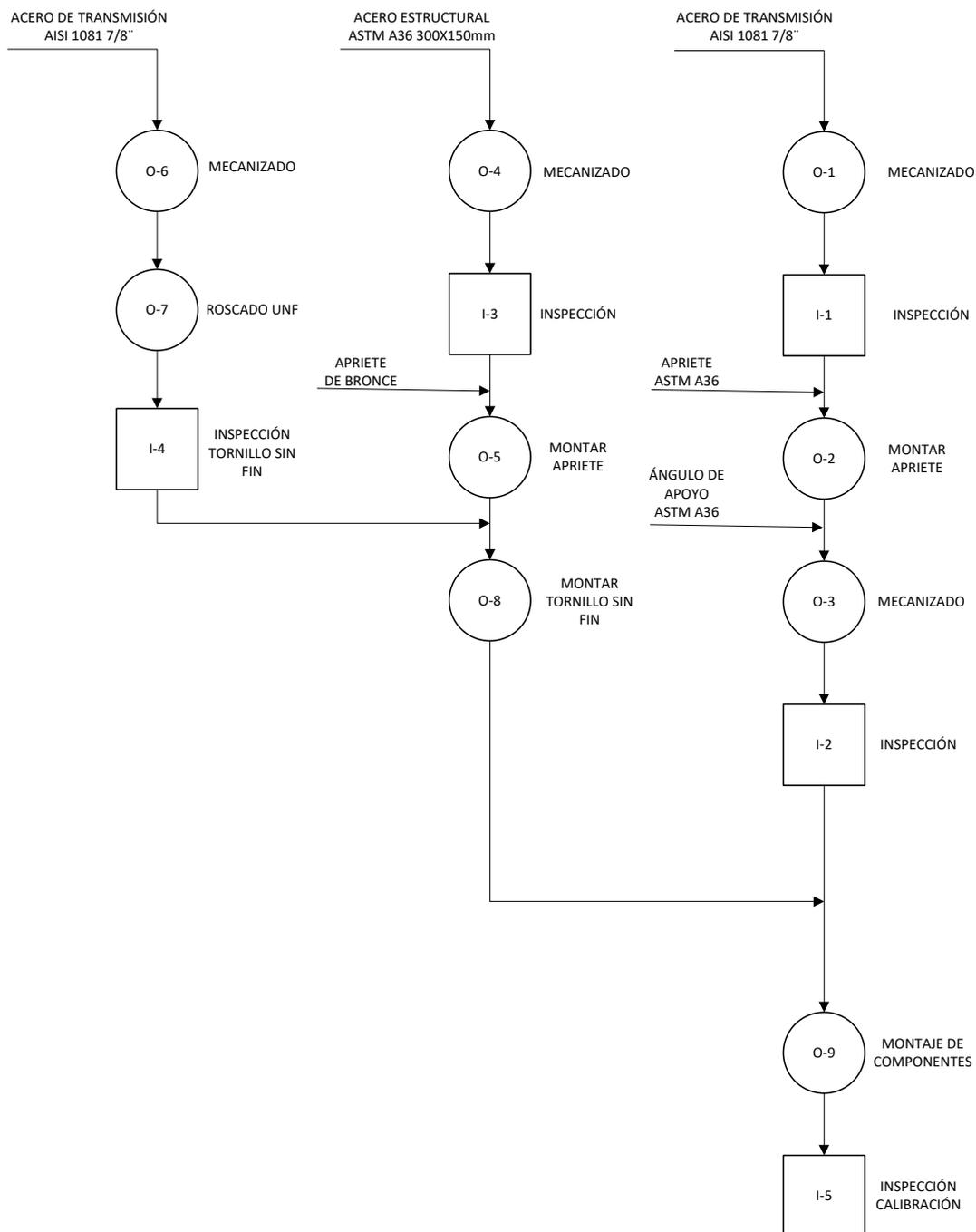
Las 2 partes más relevantes de la máquina son:

- Estructura del elevador
- Estructura de la base principal

Con respecto a la estructura de la base principal se tomarán en consideración todos los aspectos analizados en el capítulo anterior, como el material seleccionado, dimensiones de las diferentes partes constituyentes y los métodos apropiados para el ensamble; teniendo en cuenta la ubicación de cada elemento para que de esta manera se pueda obtener una construcción apropiada.

##### 4.1.1. Estructura del elevador

Para la construcción de la estructura del elevador se procederá a realizar el diagrama de flujo figura 71 en donde se especificará desde el inicio hasta el final las etapas secuenciales que se deben seguir para su correcta construcción:



**Figura 85.** Diagrama de flujo del proceso de construcción de la estructura del elevador.

En las figuras 72 y 73 se puede observar las distintas fases que requirió la construcción de la estructura del elevador, para así conformar la estructura completa.



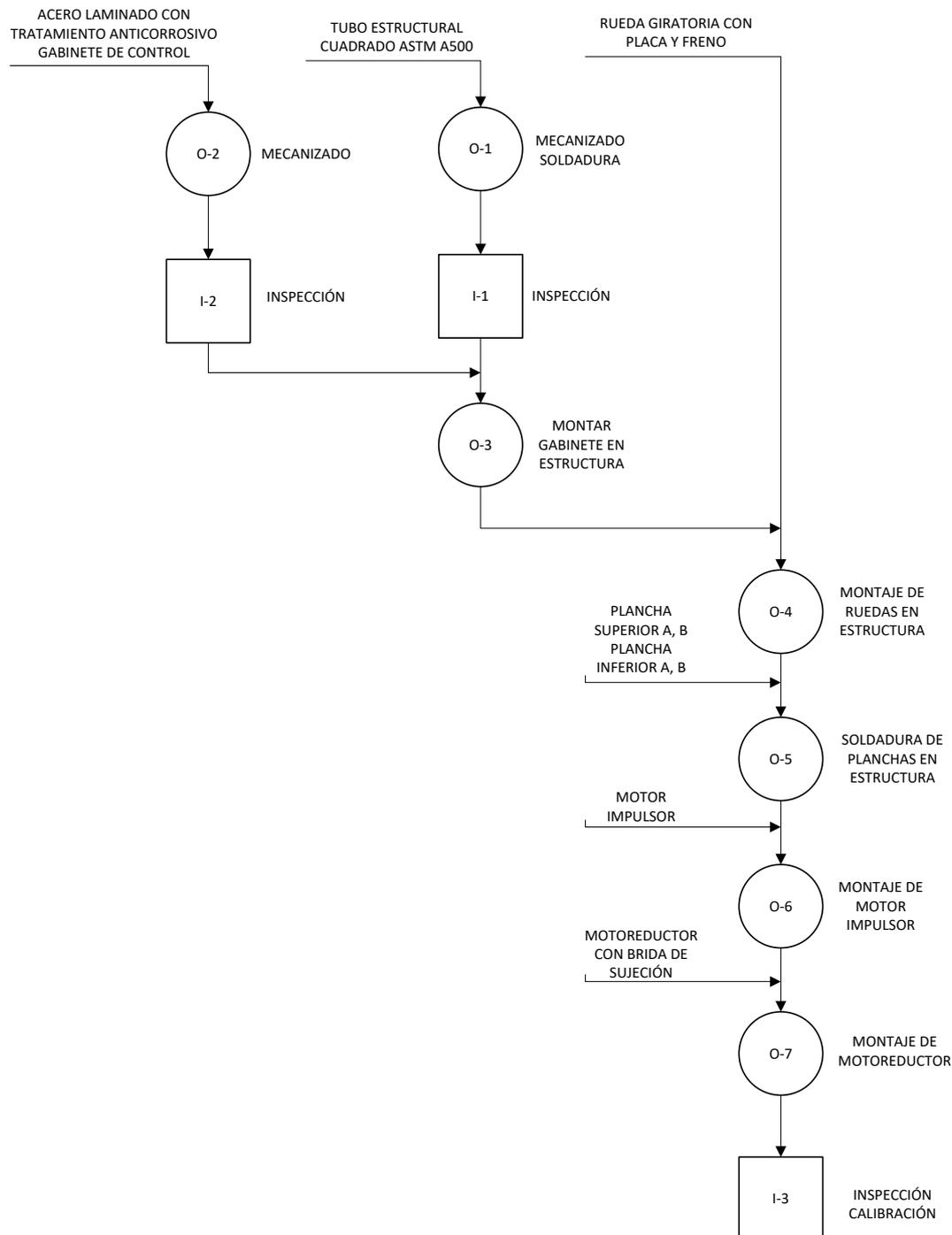
**Figura 86.** Fase 1 de la construcción de la estructura del elevador.



**Figura 87.** Fase 2 de la construcción de la estructura del elevador.

#### 4.1.2. Estructura de la base principal.

Para la construcción de la estructura de la base principal se procederá a realizar el diagrama de flujo figura 74 para obtener una mejor percepción de su construcción:



**Figura 88.** Diagrama de flujo del proceso de construcción de la estructura base principal.

En la figura 75 se puede observar las distintas fases que requirió la construcción de la estructura base principal, para así conformar la estructura completa.



**Figura 89.** Fases de la construcción de la estructura base principal.

## 4.2. Construcción eléctrica y electrónica.

### 4. Conexión del PLC Logo de Siemens.

Para montar y cablear el **PLC Logo** de Siemens, en el panel que va a ser designado de control de la máquina a automatizar, se debe de tomar en cuenta las siguientes directrices: (Siemens Corporation, 2014)

- Desconectar siempre la alimentación antes de cablear, montar o desmontar un módulo.
- Para el PLC, logo de siemens, utilizar siempre cables con una sección comprendida entre 1,5 y 2,5  $mm^2$ .
- Separar siempre: el cableado dc, el cableado **AC**, y el cableado de señal.
- Los cables deben tener una longitud que brinde un alivio de tracción en el caso de ser necesario.
- Módulos de ampliación y comunicación.

El **PLC** logo de siemens soporta como máximo (Siemens Corporation, 2014)

- 24 Entradas digitales
- 8 Entradas analógicas
- 16 salidas digitales
- 2 salidas analógicas

#### A. Montaje del PLC Logo de Siemens.

Para montar un módulo base Logo y un módulo digital en un perfil normalizado, proceda del siguiente modo:

1. Enganche el módulo base Logo en el perfil soporte.
2. Empuje la parte inferior del módulo hacia abajo hasta que encaje en el perfil. La corredera ubicada en la parte posterior del módulo debe quedar enclavada.
3. En el lado derecho del módulo base Logo o módulo de ampliación Logo, retire la tapa del conector.

4. Disponga el módulo digital en el perfil soporte a la derecha del módulo base Logo.
5. Deslice el módulo digital hacia la izquierda hasta que toque el módulo base Logo.
6. Utilizando un destornillador, empuje la corredera hacia la izquierda. Cuando alcance la posición final, la corredera se enclavará en el módulo base Logo.

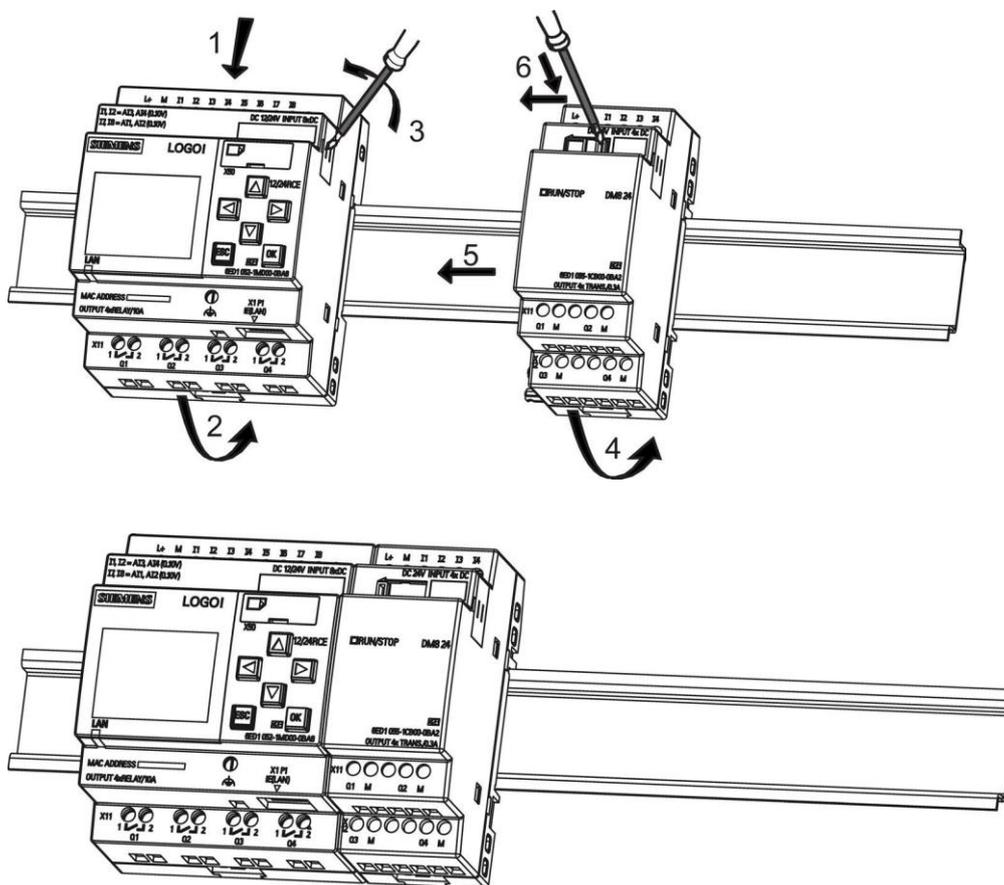


Figura 90. Pasos para montar un PLC Logo de Siemens.

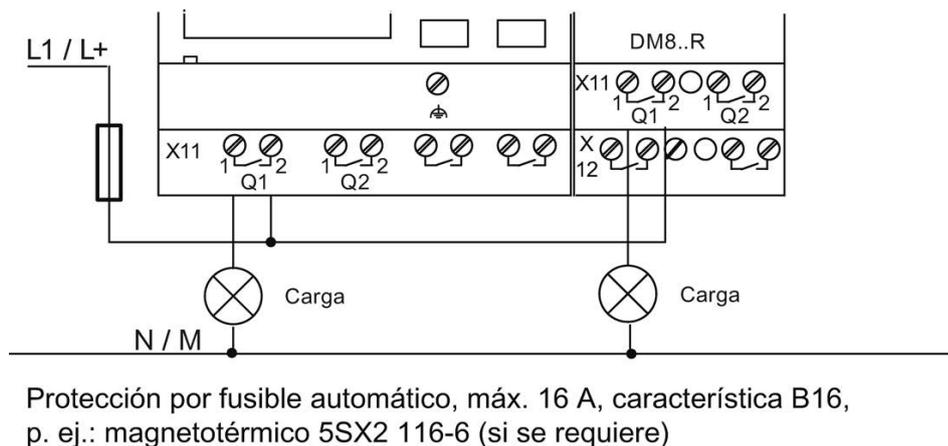
Fuente: (Siemens Corporation, 2014)

## B. Conexión de las entradas al PLC Logo de Siemens.

Las entradas de los módulos PLC Logo, no tienen aislamiento galvánico, por lo que requieren el mismo potencial de referencia (masa). Además los módulos PLC, Logo 12/24 RCE, tienen como entradas analógicas a I1, I2, I7 e I8. (Siemens Corporation, 2014)

### C. Conexión de las salidas del PLC Logo de Siemens.

El modelo **PLC Logo 0BA8** figura 77 está equipado con salidas de tipo relé en las que se puede conectar diferentes cargas a las salida; p. ej. Lámparas fluorescentes, motores, contactores auxiliares, etc; las salidas se encuentran aislados galvánicamente de la fuente de alimentación, así como de las entradas, por lo que se pueden manipular de manera independiente.



**Figura 91.** Pasos para montar un **PLC Logo** de Siemens.

**Fuente:** (Siemens Corporation, 2014)

### D. Distribución de las entradas y salidas del PLC Logo de Siemens.

La cantidad de entradas y salidas del proyecto que serán necesarias serán distribuidas con respecto a cada sistema y se describirá cuantas entradas y salidas se va a necesitar. Los sistemas que se tomaran en cuenta son:

- Sistema de control de tres velocidades del motor impulsor.
- Sistema de control para el motor elevador de la base del motor impulsor.
- Sistema de control de apertura y cierre de electroválvula del suministro de solvente.
- Sistema de luces indicadoras de estado **ON/OFF**.

De tal modo se tendrá la tabla 42.

Tabla 47.

## Distribución de entradas y salidas del PLC Logo de Siemens.

DELIMITACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS			
Sistema	Subsistema	N. Entradas	N. Salidas
Control de motor impulsor	Selección motor impulsor	1	
	Botón velocidad 1	1	
	Botón velocidad 2	1	
	Botón velocidad 3	1	
	Velocidad 1		1
	Velocidad 2		1
	Velocidad 3		1
	ON/OFF macro Cn003		
Control de motor elevador	Selección motor elevador	1	
	Botón subir	1	
	Botón bajar	1	
	Sensor elevación máxima	1	
	Sensor elevación mínima	1	
	Motor sentido horario		2
	Motor sentido anti horario		2
	Alimentación Motor elevador		1
Control abertura y cierre electroválvula	Selección electroválvula	1	
	Botón abrir	1	
	Botón cerrar	1	
	Abertura/Cierre		1
Sistema de luces indicadoras de estado ON/OFF	Luz Verde		1
	Luz Roja		1
Botones extras	Paro de emergencia	1	
	Modo Manual	1	
	Modo Automático	1	
	Regresar	1	
Total		16	12

De esta manera resulta que se requerirá un total de 16 entradas de las cuales son entradas digitales básicas, además de un total de 12 salidas tipo relé. Para lograr cubrir la necesidad de entradas y salidas, se realizará la adquisición de un módulo de expansión para el PLC Logo, llamado **DM16**, el cual consta con 8 entradas digitales y 8 salidas tipo relé, lo que nos resulta la tabla 43.

**Tabla 48.**

**Entradas y salidas totales del PLC Siemens junto con el módulo de expansión y la pantalla logo TDE.**

ENTRADAS Y SALIDAS TOTALES		
MODULO	Entradas	Salidas
Logos siemens	8	4
Módulo DM8 R	5	8
Logo TDE	3	0
TOTAL	16	12

## 5. Programación del PLC Logo de Siemens

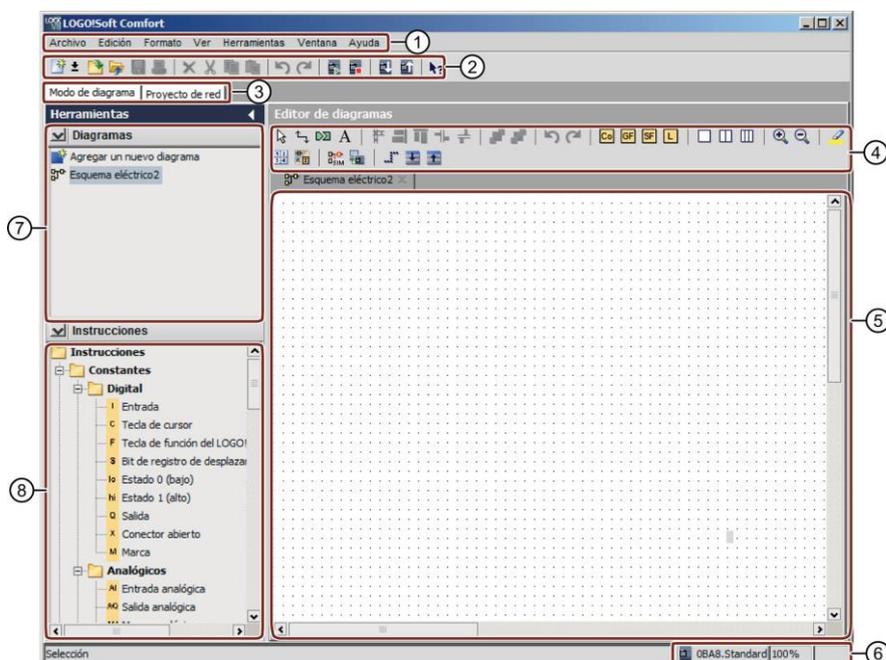
LOGO! Soft Confort es el programa propio del **PLC** Logo de siemens, que nos permite realizar la configuración deseada y de esta forma programar el **PLC** tanto en **FBD** (diagrama de bloques de función), o tipo ladder (programación tipo escalera); brindando al programador poder seleccionar el lenguaje que más se acople a sus habilidades.

Para el presente proyecto la programación por diagrama de bloques de función (**FBD**) será la seleccionada la más idónea, puesto que brinda tener una lógica de programación orientada hacia condiciones y control, además permite utilizar bloques de memorización de textos y una presentación de control.

### A. LOGO! Soft Confort.

La imagen que se presenta a continuación figura 93 es la pantalla de programación del programa LOGO! Soft Confort. Con el objetivo de no perder la vista en conjunto, especialmente en el caso de programas grandes, en los extremos inferior y derecho de la interfaz de programación se dispone de barras de desplazamiento que permiten mover el programa en sentido horizontal y vertical. Incorpora la posibilidad de adjuntar la vista de varias hojas de trabajo, lo cual resulta muy útil al momento de programar programas muy extensos. Las principales partes que encontramos en la interfaz de programación son:

- 1) Barra de Menús
- 2) Barra de Herramientas Estándar
- 3) Barra de Modo
- 4) Barra de Herramientas
- 5) Interfaz de Programación
- 6) Barra de Estado
- 7) Árbol de Esquemas
- 8) Árbol de Operaciones

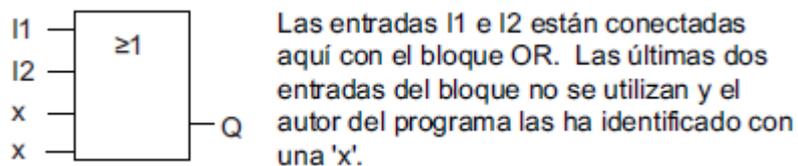


**Figura 92.** Pantalla de programación del programa LOGO! Soft Confort de Siemens.

**Fuente:** (Siemens Corporation, 2014)

### A.1. Bloques de función.

Dentro de la configuración de un **PLC** logo de Siemens se puede definir a un bloque de función como un elemento de programación, que permite adquirir la información de entrada, procesarla, y dar una información de salida, indicada en la figura 94.



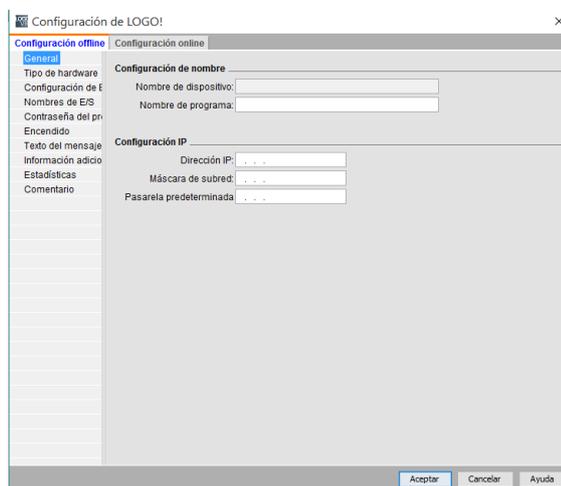
**Figura 93.** Bloque de función del programa LOGO! Soft Comfort.

**Fuente:** (PLC, Siemens, 2011)

En las entradas no utilizadas el programa adopta el estado que permita el funcionamiento del bloque sin ningún problema. Siendo normalmente identificadas estas entradas con una "x". (Siemens Corporation, 2014)

LOGO! Soft confort, en su versión V8 está diseñado para funcionar exclusivamente con el PLC Logo de Siemens, y brinda un entorno de programación muy simple, didáctico y amigable con el usuario.

Iniciando con la programación, el usuario deberá abrir el programa y seleccionar nuevo, donde el programa pedirá indicar los datos necesarios para crear el primer programa como se ve en la figura 95.



**Figura 94.** Inicio de la programación en LOGO! Soft Comfort.

Revisando en la figura 93, el programa LOGO! Soft Comfort está distribuido de la siguiente manera:

- Se ubica en la parte izquierda la barra de herramientas, que es donde se encuentran los bloques necesarios para la programación. Los bloques están distribuidos en grupos de acuerdo a su función, ayudando a facilitar el manejo al programador.
- Se ubica en la parte superior la barra de opciones, que es donde el programador tiene acceso a funciones básicas de manejo del equipo, como la de conectar el **PLC** con el **PC**, y la descarga de información la información del **PLC** entre otras.
- Se ubica en el lado derecho la ventana de configuración, que es donde se ubican todos los bloques de funciones y realizan la conexión, y se realiza la programación.
- Finalmente en la parte inferior se ubica la ventana de información, la que permite ingresar detalles, del programa y del equipo, de manera fácil de interpretar, indicando desde que bloque se encuentra sin conexión, hasta si no se puede realizar la carga o descarga de programas del **PLC**.

Todo lo referente a los diagramas de programación, el conexionado de bloques, junto con el diseño de la programación, para que la máquina logre controlar el motor impulsor, el motoreductor elevador y la electroválvula como se ha especificado en este documento, se los puede encontrar en el Anexo de programación.

## **6. Placa del circuito de potencia.**

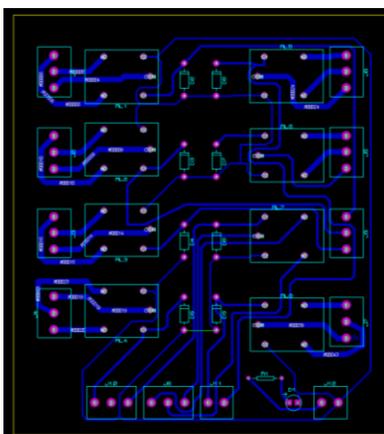
Haremos uso del programa Ares Proteus para el diseño de la placa del circuito de potencia, el cual permite el manejo de los elementos ocupados en el enunciado anterior en un entorno gráfico, y realizar el proceso de mapeado o ruteado de las pistas del circuito.

Se realizará un diseño lo más sencillo posible, los puntos de soldadura consistirán en círculos cuyo diámetro será, al menos, el doble del ancho de las pistas que en el termina y el ancho de las pistas dependerá de la intensidad que vaya a circular por ellas.

La placa del circuito de potencia se realizará con siguientes pasos:

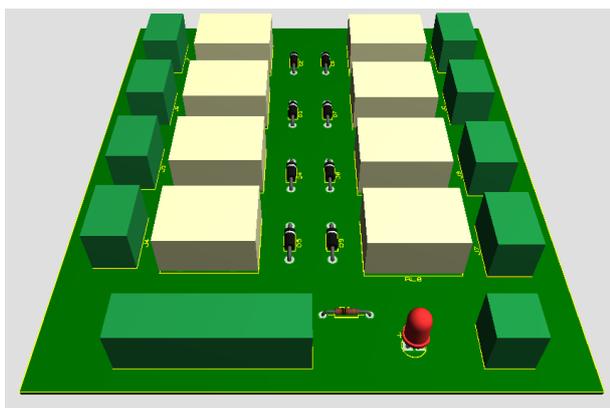
1. Comenzamos con la selección de cada elemento utilizado en la creación del circuito de potencia y se los ubicara en la posición deseada en el programa teniendo en cuenta que no hayan pistas o elementos montados. Seleccionamos el grosor de las

pistas y se hace el auto ruteado, teniendo como se ve en la figura 96, la placa del circuito.



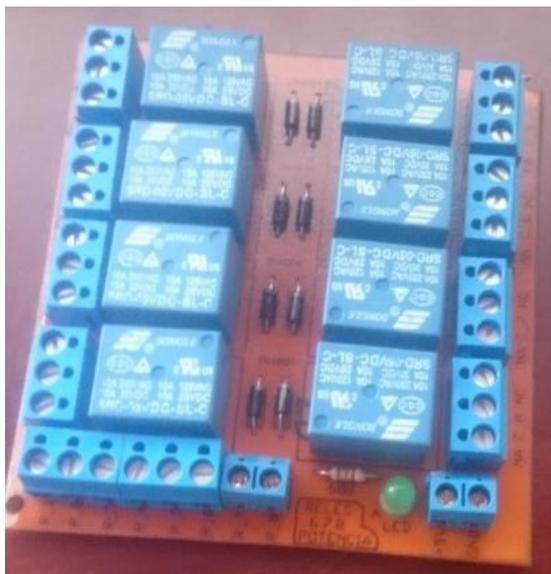
**Figura 95.** Diseño de la placa del circuito de potencia.

2. Ya con el ruteado de pistas terminado, se procede a realizar la revisión, de errores de conexión, y capas con el comando cheque de reglas de conectividad. Si no obtenemos ningún error podemos proseguir al siguiente paso.
3. Con ayuda del programa de diseño y edición de placas, se puede observar en la figura 97 a manera de 3D, como obtendríamos nuestro circuito de potencia.



**Figura 96.** Imagen simulada de la placa de potencia.

4. Por ultimo podemos proceder a quemar la plata y montar los elementos, para tener como resultado la placa de la figura 98.



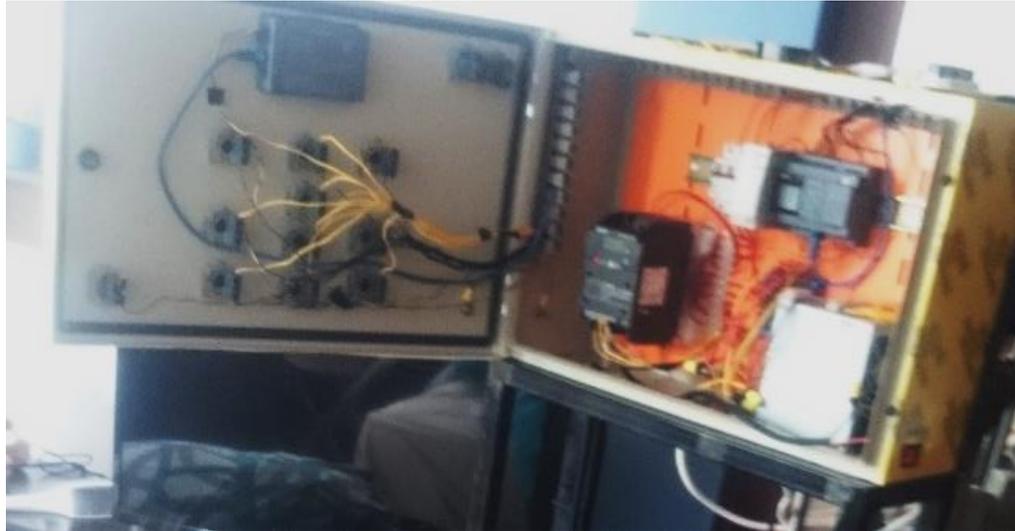
**Figura 97.** Placa de potencia terminada.

#### **4.3. Conexión de la máquina.**

Los planos eléctricos que se encuentran adjuntos en los anexos servirán como guía para realizar el conexionado de la máquina, los cuales muestran como está realizado y como se encuentran relacionados unos con otros elementos eléctricos utilizados.

En el interior de la máquina se encuentran adjuntos los códigos que se muestran en los planos eléctricos y electrónicos y etiquetas sobre cada cable para facilitar en el caso de tener algún problema, la fácil interpretación y reparación del sistema eléctrico de la máquina.

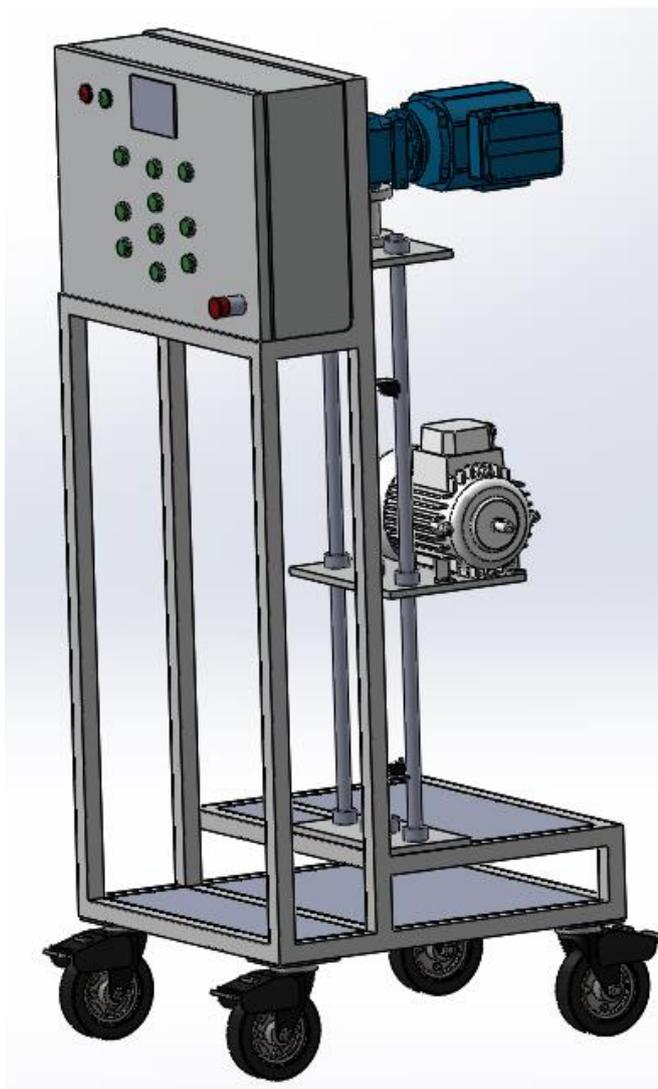
En la figura 99 se puede observar el panel de instrumentos con todos los componentes, se utilizó la pared de fondo superpuesta del gabinete de la máquina para ubicar todos los elementos utilizados para el funcionamiento de esta.



**Figura 98.** Panel de instrumentos eléctricos y electrónicos del sistema automatizado para el mantenimiento de bombas electrosumergibles.

#### **4.4. Presentación final de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles.**

En la figura 100 y 101 se indican la presentación final de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles, donde se produce por la unión de todos los sistemas asociados (sistema de elevación, sistema de movilidad, sistema de apoyo, sistema de control) que nos permitirán proceder a la construcción de la máquina.



**Figura 99.** Presentación final simulada de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles.



**Figura 100.** Presentación final de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles.

## 4.5. Estudio financiero.

### 4.5.1. Inversión inicial.

Mediante el uso de la tabla 46 se analizará la inversión inicial del presupuesto referente que se estima, presentado en el perfil de aprobación del proyecto. Se trató de abarcar los factores de mayor ponderación que afectan de manera directa el costo de la construcción del Sistema Automatizado para el Mantenimiento de Bombas Electrosumergibles.

**Tabla 49.**

#### Inversión Inicial.

PRESUPUESTO REFERENCIAL			
Nombre	cantidad	V. Unitario (USD)	V. total (USD)
SINAMICS V20 1AC200-240 V-10/+10%	1	\$ 181,89	\$ 181,89
LOGO 8 12/24 RCE	1	\$ 165,76	\$ 165,76
DISPLAY DE TEXTO LOGO TDE PARA LOGO 8	1	\$ 183,68	\$ 183,68
FUENTE UNO IN100-240V OUT 24VDC 2.5A/60	1	\$ 75,06	\$ 75,06
ALAMBRE DE TIMBRE	10	\$ 0,12	\$ 1,2
CABLE SÓLIDO	10	\$ 0,78	\$ 7,8
MOT/RED/MONF 1/4HP 30RP	1	\$ 400	\$ 400
MOTOR TRIF SIEMENS 1/2HP 1800RPM 220/440VAC	1	\$ 150,53	\$ 150,53
		TOTAL	\$ 1.166,01

### 4.5.2. Capital de trabajo.

En este enunciado se representa valores que brindan la mantención del trabajo, y por tanto la funcionalidad del proyecto para de tal forma poder alcanzar cumplir con el cronograma de actividades que se planteó. El capital de trabajo se lo obtuvo en base a todos los gastos que se previeron por parte del diseñador, como son los gastos por movilización, los gastos por alimentación, los gastos para comunicación, mano de obra directa y por último la mano de obra indirecta. Los valores son estimados y se los presenta en la tabla 47.

**Tabla 50.****Capital de trabajo.**

Capital de Trabajo	
Descripción	Valor(USD)
Gastos por movilización	\$ 70,00
Gastos por alimentación	\$ 30,00
Gastos comunicación	\$ 45,00
Mano de obra directa	\$ 180,00
Mano de obra indirecta	\$ 30,00
<b>Capital de Trabajo</b>	<b>\$ 355,00</b>

**4.5.3. Financiamiento**

La empresa auspiciante asumirá el financiamiento de la máquina, y por consiguiente la empresa será el dueño del proyecto para ser ocupada en las instalaciones que bien dispongan.

**4.5.4. Proyección de ingresos y egresos.****A. Ingresos.**

En la tabla 48 se presentan los ingresos pertenecientes a todos los valores que formen parte del total de la inversión para la elaboración del proyecto.

**Tabla 51.****Ingresos utilizados para la construcción del Sistema Automatizado para el Mantenimiento de Bombas Electrosumergibles.**

Ingresos	
Descripción	Valor(USD)
Inversión inicial	\$ 1.166,01
Primer abono-construcción	\$ 500,00
Segundo abono-construcción	\$ 500,00
Tercer abono-compra equipos	\$ 1.000,00
Cuarto abono-ensamble y pruebas	\$ 169,16
Quinto abono-imprevistos	\$ 100,00
Total	\$ 3.435,17

## B. Egresos.

### B.1. Costos.

En la tabla 49 se presentan los costos los cuales son los valores empleados para la adquisición de equipos, servicios o materiales que se necesitaran para la elaboración e implementación de la máquina.

**Tabla 52.**

#### Costos de los materiales.

Costos Materiales			
Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	V. Total (USD)
P. ALLEN 1/4 x 1	27	\$0,2	\$5,4
R. PRESIÓN ¼	27	\$0,05	\$1,35
METRO MALLA SARANDA/FINA 30/100 mts	1	\$3,4	\$3,4
ENCHUFE HEMBRA POLAR	1	\$4,448	\$4,448
ENCHUFE 3 PATAS Z557 EAGLE	1	\$2,142	\$2,142
CABLE SUCRE	15	\$1,12	\$16,74
CTLEO CABLE	5	\$0,13	\$0,67
B-681 BREAKER 3X6A LS	1	\$21	\$21
EXPANSOR LOGO 8 DM8 12/24 4DI/4DO	2	\$95,12	\$190,24
TEFLÓN ALEMÁN 1/2X10MTS AMARILLA	1	\$0,919	\$0,919
MASILLA RALLY 50G PEQUEÑA	1	\$1,67	\$1,67
BOMBA GASOLINA	1	\$48	\$48
PURIFICADOR DE COMBUSTIBLE AK-50	1	\$588	\$588
MANGUERA Y ACOPLA	3	\$3,083	\$9,25
AMARRA PLATI	1	\$0,5	\$0,5
DISPLAY DE TEXTO LOGO TDE PARA LOGO 8	1	\$183,68	\$183,68
LOGO 8 12/24 RCE	1	\$165,76	\$165,76
SINAMICS V20 1AC200-240 V-10/+10%	1	\$181,89	\$181,89
FUENTE UNO IN100-240V OUT 24VDC 2.5A/60	1	\$75,06	\$75,06
CINTA DOBLE FAZ	1	\$7	\$7
CONECTOR PARA CABLE	1	\$2,76	\$2,76
ALAMBRE DE TIMBRE	10	\$0,12	\$1,2
CANALETA 25X40	1	\$6,35	\$6,35
RIEL DIN	1	\$2,37	\$2,37
CABLE SÓLIDO	10	\$0,78	\$7,89
BORSO BORNERA 30 <sup>a</sup>	1	\$0,74	\$0,74
BORSO BORNERA 15 <sup>a</sup>	1	\$1,25	\$1,25
MALLO MANGUERA	5	\$0,4	\$2
ACERO 4´X15CENTÍMETROS	1	\$14	\$14
4T LM11749/10 RODAMIENTO	1	\$6,4	\$6,4
1,1 KL B.F.P(36-40X13-19)	1	\$21,89	\$21,89

CONTINÚA



330CM SAE 1018 7/8	1	\$19,96	\$19,96
18CM SAE1018 1,1/2	1	\$3,14	\$3,14
ALAMBRE DE TIMBRE	10	\$0,12	\$1,2
ENCH/BLIN/P.CHINA 48	1	\$2,95	\$2,95
CABLE CUENCA FLEXIBLE	2	\$0,85	\$1,7
ENCH/TICINO BLANCO 0	1	\$0,95	\$0,95
MWS.2010L ADAPTADOR 9V 850MA	1	\$9	\$9
GARRUCHA 3'' 100KG PU.PF.L	2	\$7,72	\$15,44
GARRUCHA 3'' 100KG PU.PG.B.L	2	\$13,27	\$26,54
FUENTE DE PODER 750W NIUTEK	1	\$18,3	\$18,3
MOT/RED/MONF 1/4HP 30RP	1	\$400	\$400
MOTOR TRIF SIEMENS 1/2HP 1800RPM 220/440VAC	1	\$150,53	\$150,53
MALLA SOLDADA 25X13 1,01 ALTO	1	\$7,45	\$7,45
GABINETE BEAUCOUP PESADO 66X40X20	1	\$61,78	\$61,78
PULSANTE VERDE 1NA SCHNEIDER ELECT	10	\$27,06	\$27,06
LUZ PILOTO ROJA LED 240V 22MM SCHNEIDER	1	\$27,06	\$27,06
LUZ PILOTO VERDE LED 240V 22MM SCHNEIDER	1	\$85,12	\$85,12
PULSADOR CAMSCO EMERG. C/RETENCIÓN	1	\$2,5	\$2,5
SWITCH C/NEON 4P AC 250V 15A O-I	1	\$0,52	\$0,52
Total			\$ 2.435,17

A continuación en la tabla 50, se podrá observar los costos empleados como mano de obra indirecta para la elaboración de la máquina.

**Tabla 53.**

**Costos de mano de obra indirecta.**

Costos Mano de Obra indirecta			
Descripción	Cantidad	V. Unitario (USD)	V. Total (USD)
Construcción estructura metálica equipos	1	\$ 175,00	\$ 175,00
Construcción estructura metálica purificado	1	\$ 85,00	\$ 85,00
Construcción elevador	1	\$ 265,00	\$ 260,00
Construcción Centro de Mando	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Placa acoplamiento señal 5vin-12vout(construcción)	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Total			\$ 640,00

**B.2. Gastos.**

Los gastos que se presentaron se muestran en la tabla 51 que hace referencia a todos aquellos valores adquiridos, ya sean de acuerdo a bienes o servicios, los mismos van a permitir el desarrollo y producción del Sistema Automatizado para el Mantenimiento de Bombas Electrosomergibles.

**Tabla 54.****Gastos.**

Gastos	
Descripción	Valor(USD)
Gastos de movilización	\$ 70,00
Gastos de Comunicación	\$ 30,00
Gastos de alimentación	\$ 45,00
Mano de obra directa	\$ 180,00
Gastos Administrativos	\$ 30,00
Total	\$ 355,00

**B.3. Egresos totales.**

A continuación se presentan en la tabla 52 los egresos totales pertenecientes a los valores de costos y a los gastos totales, que fueron empleados para la elaboración del Sistema Automatizado para el Mantenimiento de Bombas Electrosumergibles.

**Tabla 55.****Egresos Totales.**

Egresos Totales	
Descripción	Valor(USD)
Costos Materiales	\$ 2435,17
Costos Mano de Obra Indirecta	\$ 640,00
Gastos	\$ 355,00
Total	\$ 3.430,17

**4.5.5. Flujo neto de efectivo.**

El flujo neto de efectivo el cual se muestra en la tabla 53 hace referencia a los movimientos de ingresos y egresos, que tienen como finalidad cumplir con la elaboración del proyecto, y que además concederá saber si se cumplió y se sostuvo los valores dentro de los presupuestos iniciales que se estimaron.

**Tabla 56.****Flujo neto de efectivo.**

Flujo Neto de Efectivo	
Descripción	Valor(USD)
(+)Inversión inicial	\$ 1.166,01
(-)Gastos de movilización	\$ 70,00
(-)Gastos de comunicación	\$ 30,00
(-)Gastos de alimentación	\$ 45,00
(-)Mano de obra directa	\$ 180,00
(-)Gastos administrativos	\$ 30,00
(=)Utilizado hasta con la inversión inicial	\$ 811,01
(+)Primer abono construcción	\$ 500,00
(-)Construcción estructura metálica equipos	\$ 175,00
(-)Construcción estructura metálica purificado	\$ 85,00
(-)Construcción elevador	\$ 260,00
(-)Construcción Centro de Mando	\$ 80,00
(=)Utilizado hasta el primer abono	\$ 711,01
(+)Segundo Abono construcción	\$ 500,00
(-)Placa acoplamiento señal 5vin-12vout(construcción)	\$ 40,00
(=)Utilizado hasta el segundo abono	\$ 1.171,01
(+)Tercer abono Compra equipos	\$ 1.000,00
(-)Egresos (costos materiales)	\$ 2435,17
(=)Utilizado hasta el tercer abono	-\$ 264,16
(+)Cuarto Abono Ensamble y pruebas	\$ 169,16
(+)Quinto abono Imprevistos	\$ 100,00
(=) Flujo Neto de Efectivo	\$ 5,00

**4.5.6. Conclusión.**

Después de haber finalizado con el estudio financiero podemos concluir que, mediante el análisis se tiene un flujo neto efectivo positivo de \$5,00 dólares, lo que nos indica claramente que se cumplió el objetivo deseado de no sobrepasar el presupuesto que se asignó al diseñador, y también que se cumplió casi con exactitud, sin sobrepasar el valor designado como inversión inicial de la empresa auspiciante, ni haciendo que el valor empleado, resulte mucho más bajo que el estimado.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE PRUEBAS

#### 5.1. Introducción.

Con el fin de comprobar el funcionamiento que posee la máquina, y conocer si cumple con los parámetros necesarios que se establecieron, se procederá a desarrollar un análisis de pruebas en donde se conocerá si la máquina funciona de manera adecuada como se esperaba.

Ya que la máquina cuenta con diseño mecánico, eléctrico y electrónico se realizarán pruebas tomando en consideración estas 2 áreas de control, así como el funcionamiento en conjunto de toda la máquina. Y de esta forma nos permitirán observar el desempeño que posee la máquina.

#### 5.2. Pruebas Mecánicas.

Para poder realizar el análisis de las pruebas mecánicas se ha establecido verificar si la máquina posee las características deseadas con respecto a tres aspectos que son:

- Capacidad del Elevador.
- Correcto contacto de los finales de carrera con la base del motor impulsor.
- Estabilidad del ascensor sobre el esqueleto de la estructura.

##### 5.2.1. Prueba 1: Capacidad del Elevador.

Se realizó la prueba 1 y se pudo establecer que la máquina **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE**, en capacidad de elevación (tanto subir como bajar), tomando en cuenta que el peso seleccionado para la prueba era el doble de lo que se propone manejar y por lo tanto suficiente para mantener la base con el motor impulsor en elevación.

### **5.2.2. Prueba 2: Correcto contacto de los finales de carrera con la base del motor impulsor.**

Se realizó la prueba 2 y se pudo establecer que la estructura base hace un correcto contacto tanto con el límite superior como con el límite inferior, es decir la máquina **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE**, y brinda seguridad en los movimientos necesarios para el funcionamiento de la máquina.

### **5.2.3. Prueba 3: Estabilidad del ascensor sobre el esqueleto de la estructura.**

Se realizó la prueba 3 y se comprobó con los tres tipos de velocidad en el motor y subir/bajar con el ascensor obteniendo una estabilidad de toda la estructura satisfactoria por lo que la máquina **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE**, en cuanto al diseño de la estructura en conjunto.

## **5.3. Pruebas eléctricas y electrónicas.**

Para poder realizar el análisis de las pruebas eléctricas y electrónicas se ha establecido verificar si la máquina posee las características deseadas con respecto a tres aspectos que son:

- Señal de voltaje por parte de los finales de carrera.
- Funcionamiento de motor impulsor con programación Cn003 de convertidor de frecuencia.
- Correcta funcionalidad y polarización de electroválvula.
- Polarización y cambio de giro de motoreductor asociados correctamente.

### **5.3.1. Prueba 1: Señal de voltaje por parte de los finales de carrera.**

Se realizó la prueba 1 con respecto al funcionamiento de los finales de carrera utilizados en modo normalmente abierto adquiriendo **12VDC** para las entradas al controlador del sistema por lo que se comprobó que ambos funcionaron de manera correcta y por tal razón **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE** la prueba.

### **5.3.2. Prueba 2: Funcionamiento de motor impulsor con programación Cn003 de convertidor de frecuencia.**

Se realizó la prueba 2 con respecto al funcionamiento del motor impulsor con las configuraciones que brinda la programación del convertidor de frecuencia y se comprobó que las tres velocidades funcionan de manera correcta, y el eje gira sin ningún problema, con lo cual **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE** la máquina esta prueba.

### **5.3.3. Prueba 3: Correcta funcionalidad y polarización de electroválvula.**

Se realizó la prueba 3 con respecto al funcionamiento de la electroválvula, se procedió a verificar el voltaje de activación que iba a recibir previamente a su conexión para después probar su funcionamiento en vacío donde se escuchó su activación de manera correcta y finalmente ya conectado al depósito de suministro de solvente permitió adquirir solvente de manera controlada por tal **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE** la prueba la máquina.

### **5.3.4. Prueba 4: Polarización y cambio de giro de motoreductor asociados correctamente.**

Se realizó la prueba 4 con respecto al funcionamiento del motoreductor elevador procediendo en primera instancia a medir y verificar el voltaje de entrada para luego comprobar las configuraciones de cambio de giro que brinda el motoreductor resultando que en sentido anti horario sube el ascensor y en sentido horario baja, lo cual realizo de manera adecuada, con el eje girando sin ningún problema, con lo cual **CUMPLE SATISFACTORIAMENTE** la máquina esta prueba.

### **5.4. Pruebas de funcionamiento en conjunto con todos los sistemas de la máquina.**

Tomando en consideración todos los sistemas en conjunto para pruebas de funcionamiento de la máquina, se verificará si cumple con las necesidades que se establecieron, y se procederá a realizar todos los procesos para los cuales fue diseñada, dando análisis también a la programación y por tal la implementación que se realizó. Estas pruebas serán:

- Funcionamiento de motor impulsor acoplado a bomba electrosumergible.
- Funcionamiento de alineación de la base del motor impulsor para acople por parte del motoreductor elevador.
- Funcionamiento de prohibición de alineación fuera de límites permitidos por parte de finales de carrera.
- Funcionamiento de luces indicadoras de estado y paro de emergencia.

#### **5.4.1. Prueba 1: Funcionamiento de motor impulsor acoplado a bomba electrosumergible.**

El funcionamiento del motor impulsor fue capaz de impartir movimiento al eje de la bomba electrosumergible con las tres distintas velocidades planteadas pudiendo en esta prueba observar que la máquina tuvo la capacidad necesaria para cumplir la tarea para la cual fue diseñada, dando por consiguiente **APROBADA**.

#### **5.4.2. Prueba 2: Funcionamiento de alineación de la base del motor impulsor para acople por parte del motoreductor elevador.**

La prueba presentó que al alinear la base con el acople de la bomba electrosumergible se obtuvo una buena precisión y facilidad de manejo ya que la velocidad de movimiento ascendente o descendente es baja como se esperaba por las 30rpm que nos entrega el motoreductor siendo este aceptable y por tal dando **APROBADA** la prueba.

#### **5.4.3. Prueba 3: Funcionamiento de prohibición de alineación fuera de límites permitidos por parte de finales de carrera.**

En esta prueba se comprobó que en el proceso de alineación en los extremos superior e inferior actúan con normalidad los finales de carrera prohibiendo el movimiento descendente en el límite inferior dando al operador solo la opción de ascender y de la misma forma en el extremo superior de forma opuesta, lo cual se considera aceptable para seguridad de la integridad de la máquina, dando por tal como **APROBADA** la prueba.

#### **5.4.4. Prueba 4: Funcionamiento de luces indicadoras de estado y paro de emergencia.**

Finalizadas las pruebas se pudo observar lo siguiente:

- Las luces indicadoras de estado (Verde y Roja) se accionaron de forma adecuada en cada prueba al igual los pulsadores funcionaron sin ningún inconveniente y de acuerdo a lo programado.
- Se pudo desplegar las opciones así como observar los mensajes proporcionados por la pantalla sin ningún problema al igual que la información desplegada para el funcionamiento de la máquina.
- Con respecto al botón de paro de emergencia se aplicó su uso en situación estratégicas de mayor peligro con lo que se obtuvo de manera inmediata un paro de todas las funciones de la máquina y una asignación de espera en estado de emergencia por el tiempo programado.

Como resultado se obtiene la prueba como **APROBADA** de acuerdo a lo planteado.

#### **5.5. Conclusiones de las pruebas.**

Como conclusión final de las pruebas realizadas en la máquina se observó que cumplió de manera exitosa todas las pruebas realizadas, asegurando que el diseño, la construcción, la implementación de equipos, el planteamiento de problemas para la programación fueron realizados con acertado criterio por resultado se obtiene una máquina con funcionamiento idóneo, eficiente y óptimo para realizar el trabajo para lo cual fue desarrollada.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones.

Una vez finalizado el proyecto, tomando en consideración los objetivos planteados, que mediante el adecuado estudio y desarrollo se los ha tratado de elaborar de la mejor manera, obteniéndose como resultado, el correcto funcionamiento de la máquina para mantenimiento de bombas electrosumergibles, se pueden por tal enlistar las siguientes conclusiones:

- Se diseñó y construyó el sistema automatizado para el mantenimiento de bombas electrosumergibles, el cual permite transmitir movimiento mediante el motor impulsor así como suministrar en el momento adecuado el solvente para de esta manera cumplir con los requerimientos del auspiciante.
- Se tomó datos, delimitó y realizó un sistema de elevación para el motor impulsor, con lo cual permita alcanzar las diferentes alturas que se requiera, para de esta manera poder calibrar el eje del motor impulsor con el acople del eje de la bomba electrosumergible de una manera simple, y precisa.
- Se experimentó con las bases que se requirieron tanto como para el armario de control como para el elevador del motor impulsor, y así poder obtener una buena estabilidad para las dos partes constitutivas de la máquina.
- El control del motor impulsor permitió seleccionar tres velocidades (baja, media, alta) según sea su requerimiento, así como un adecuado encendido y apagado del mismo, para de esta manera cuidar la integridad del motor.
- Se implementó el control del motoreductor utilizado en el sistema de elevación, donde mediante la correcta unión de sus bobinas se obtuvo un correcto cambio de giro, que permitió obtener un movimiento ascendente y descendente, gracias al mecanismo considerado de husillo-tuerca.
- Se implementó con éxito el control de la electroválvula, que permite abrir y cerrar el paso de solvente de los tanques reservorios desde el panel de control de la máquina, obteniendo un mensaje que permita al operario saber el estado de la

electroválvula, es decir (abierto o cerrado), de la manera más rápida y segura posible, y con esto evitar pérdidas innecesarias de solvente.

- Se diseñó y construyó el armario de control donde se ubicó de la forma más ordenada y adecuada posible el **HMI**, los botones de mando, el botón de paro de emergencia, las luces indicadoras de estado y un interruptor de encendido y apagado de todo el sistema; permitiendo al usuario seleccionar entre dos tipos de mando (Manual y Automático), haciendo que el usuario de la máquina puede ocuparse en otras actividades mientras se realiza el mantenimiento.
- Se consideró implementar seguridad tanto a las salidas del **PLC**, mediante un circuito desacoplador, como al paso de corriente por las líneas de alimentación, mediante un breaker de tres líneas a 6A.

## 6.2. Recomendaciones.

En el transcurso de la elaboración del proyecto se presentaron inconvenientes, los mismos que fueron analizados y resueltos permitiendo conocer y brindar recomendaciones para los usuarios que manejen la máquina, y así se pueda obtener un gran tiempo de vida útil, haciendo de la máquina lo más automática e independiente posible y disminuyendo los mantenimientos. Por consiguiente las recomendaciones que se establecieron por parte del diseñador son las siguientes:

- Se podría implementar al proceso efectuado por la máquina, un sensor que permita detectar si el solvente que es expulsado de la bomba electrosumergible, ya no contenga residuos ajenos a dicho solvente; para así poder obtener una señal que de por concluido el proceso.
- Con respecto al solvente que ingresa a la bomba electrosumergible, y que posteriormente se expulsa con suciedad; se podría incorporar un sistema de tratado a dicho solvente para poder reutilizarlo.
- Se recomienda revisar la instalación de la electroválvula entre los conectores que suministran y distribuyen el solvente, antes de accionar la máquina, ya que muchas veces por un mal ajuste, se puede presentar fugas; también es recomendado aplicar teflón en el roscado de entrada y salida para asegurar un correcto funcionamiento del sistema de distribución de solvente.

- Se recomienda mantener la máquina en un lugar bajo techo, principalmente para evitar daños con los equipos que forman parte de la máquina, además de mantener la máquina en un sitio estable, para de esta manera realizar una correcta nivelación entre el eje del motor impulsor y el acople del eje de la bomba electrosumergible.
- En caso de tener problemas con el modo automático presionar el botón de paro de emergencia, para parar el proceso programado secuencialmente y retirar los elementos que estén interviniendo con el proceso normal de mantenimiento de las bombas electrosumergibles, se recomienda apagar el equipo y retomar el proceso desde el principio.
- Al momento de operar en modo manual tener en consideración que para pasar de un control a otro, no olvidarse de deshabilitar posteriormente el control que ya no se desee operar, puesto que podría ocasionar daños a la integridad de la máquina como también al equipo sometido a mantenimiento.
- Se recomienda el realizar revisiones constantes y de ser necesario ajustes periódicos a los finales de carrera, los cuales podrían llegar a perder el ajuste de sus componentes y provocar mal funcionamiento de esta, debido principalmente a que recibe el contacto de una parte móvil.
- En caso de tener problemas con el modo manual presionar el botón de paro de emergencia, para parar el proceso que se encuentre en operación y retirar los elementos que estén interviniendo con el proceso normal de mantenimiento de las bombas electrosumergibles, se recomienda apagar el equipo y retomar el proceso desde el principio.
- Finalmente se recomienda revisar el manual de operación adjunto para realizar un correcto funcionamiento de los equipos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB. (2014). *Catálogo Microconvertidores de frecuencia ABB ACS55*.
- Allen-Bradley. (2011). *Controlador Pico Boletín 1760*.
- Arduino. (2014). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/>
- BAKER HUGHES. (2011). *CTL\_ESP\_Handbook*. Quito.
- BAKER HUGHES. (2015). *Curso Básico de Bombeo Electrosomergible*. Quito.
- Bell laboratories. (2011). *Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Obtenido de Bell laboratories : [http://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/belllabs\\_transistor.html](http://www.beatriceco.com/bti/porticus/bell/belllabs_transistor.html)
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño de Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico: McgrawHill.
- Cengel, Y. A. (2012). *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones*. McGRAW HILL.
- DIPAC. (2015). *Catálogo de Productos*. Manta, Ecuador.
- Dorf, R., & Bishop, R. (2005). *Sistema de control Moderno*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- DUCASSE. (2015). *Catálogo General Ruedas*.
- Edminister, J. (1965). *Teoría y problemas de circuitos eléctricos*. Akron: Schaum.
- EGAMASTER. (2015). *Roscas. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Disponible en: <http://www.egamaster.com/es/conocimientos-comunes/tornillos-tuercas-y-roscas/roscas.html>
- La opinion de malaga. (2014). *Mundo Digital, Ciencia y tecnología. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Obtenido de Mundodigital.net: <http://www.mundodigital.net/la-historia-de-los-circuitos-integrados/>
- Micro Technology Inc. (2003). *Robotics and automation solution provider. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Obtenido de microtechnics.in: <http://microtechnics.in/>
- Microchip Technology Inc. (2003). *PIC16f87XA Datasheet*.
- PLC, Siemens. (2011). Manual de producto. En Siemens, *Manual del producto, PLC, logo siemens* (pág. 29).
- Revista Eléctrica. (2011). La guía del electricista. *Publicación gratuita eléctrica*, 17-18.
- Robert L. Mott, P. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Educación.

- Salazar, J. (2014). *ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LAS COMPLETACIONES CON BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE MEDIANTE EL SISTEMA ZEITECS EN POZOS DEL ORIENTE ECUATORIANO*. Quito.
- Savedra, E. (2013). *NUEVA TECNOLOGÍA: BOMBA RECIRCULADORA IMPLEMENTADA EN LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE EN EL POZO LOBO 003*. Quito.
- Schneider Electric. (2014). *Schneider-Electric*. Obtenido de <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/co/>
- Shigley, J. (2011). *Diseno en ingeniería macánica*. McGraw-Hill.
- Siemens. (2009). *Catálogo Siemens abreviado D8.1.1.A*.
- Siemens. (2013). *Catálogo Convertidor SINAMICS V20*.
- Siemens. (2014). *Siemens Ecuador. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de <http://www.siemens.com/answers/ec/es/>
- Siemens Corporation. (2014). Manual de Producto, logo siemens, PLC.
- Tecnoficio. (2014). *Oficios Técnicos. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Disponible en: [http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad\\_de\\_motores\\_electricos2.php](http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos2.php)
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (s.f.). *Datateca Universidad nacionaol abierta y a distancia. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Obtenido de [Datateca.unad.edu.co:](http://datateca.unad.edu.co/) [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/309696/ECBTI\\_MPyMC\\_V\\_02/leccin\\_36\\_introduccion\\_e\\_implementacion\\_de\\_circuitos.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/309696/ECBTI_MPyMC_V_02/leccin_36_introduccion_e_implementacion_de_circuitos.html)
- Urbina. (2010). *Microprocesadores y Microcontroladores*. Sangolqui, Ecuador: Microprocesadores Mecatronica.
- WEG. (2009). *Catálogo Convertidor de Frecuencia CFW-08*.
- Wikipedia.org. (2014). *Wikipedia. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje\\_Ladder](http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_Ladder)
- WorPress. (2014). *Aprendamos Tecnología. Recopilado el: 26 de Mayo 2015*. Obtenido de Disponible en: <https://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transformacion-del-movimiento/>
- Zaidi. (1993). *Q.F.D. Despliegue de la funcion de la calidad*. Madrid: Diaz de Santos.

## **ANEXOS**

## EJES ACERO DE TRANSMISIÓN



### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	AEI 1018
<b>Descripción</b>	Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.
<b>Aplicaciones</b>	Levas, uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3
<b>Longitud</b>	6 m

**EJES**

Composición Química				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 0,05

Propiedades Mecánicas			
Resistencia Mecánica (N/mm <sup>2</sup> )	Punto de fluencia (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación %Min.	Dureza ROKWELL B
410 - 520	235	20	143

Dimensiones
Díámetro
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1 1/4"
1 1/2"
1 3/4"
2"
2 1/4"
2 1/2"
2 3/4"
3"
4"
5"
6"



## 2.1 Componentes del sistema convertidor

SINAMICS V20 es una gama de convertidores diseñados para regular la velocidad de motores asíncronos trifásicos.

### Variantes de 400 V AC trifásicas

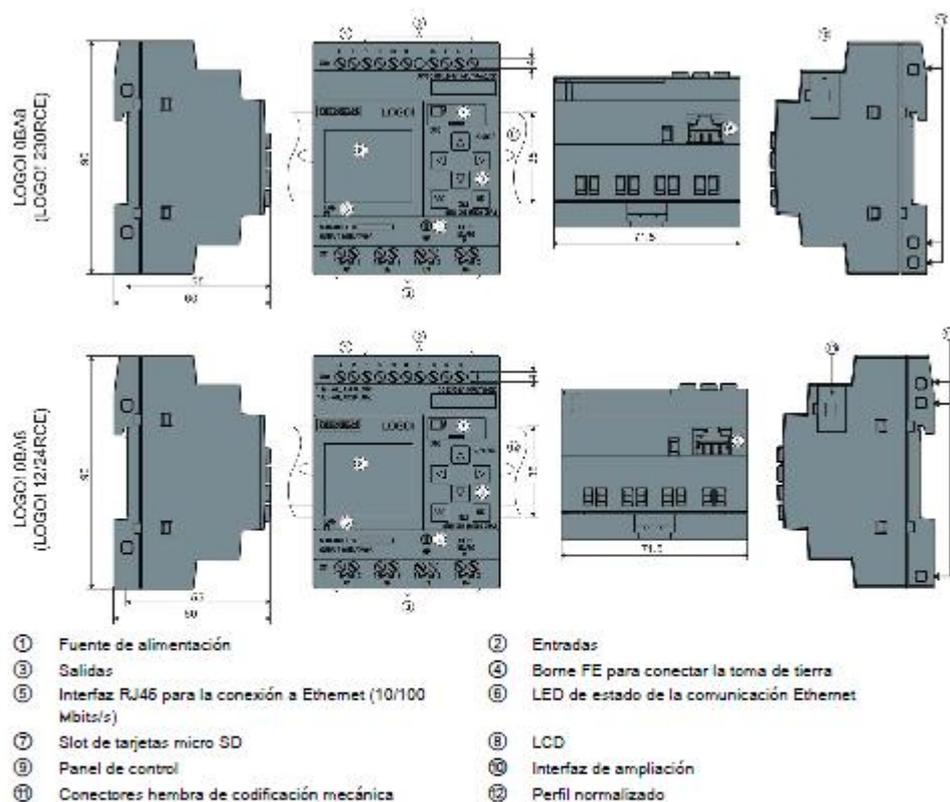
Los convertidores de 400 V AC trifásicos están disponibles en cuatro tamaños de bastidor.



Componente	Potencia nominal de salida	Corriente nominal de entrada	Corriente nominal de salida	Corriente de salida a 480 V a 4 kHz/40 °C	Referencia	
					No filtrado	Filtrado
Tamaño de bastidor A (sin ventilador)	0,37 kW	1,7 A	1,3 A	1,3 A	6SL3210-5BE13-7UV0	6SL3210-5BE13-7CV0
	0,65 kW	2,1 A	1,7 A	1,6 A	6SL3210-5BE16-6UV0	6SL3210-5BE16-6CV0
	0,75 kW	2,6 A	2,2 A	2,2 A	6SL3210-5BE17-6UV0	6SL3210-5BE17-6CV0
	0,75 kW <sup>1)</sup>	2,6 A	2,2 A	2,2 A	-	6SL3216-5BE17-6CV0
Tamaño de bastidor A (con un ventilador)	1,1 kW	4,0 A	3,1 A	3,1 A	6SL3210-5BE21-1UV0	6SL3210-5BE21-1CV0
	1,6 kW	5,0 A	4,1 A	4,1 A	6SL3210-5BE21-6UV0	6SL3210-5BE21-6CV0
	2,2 kW	6,4 A	5,6 A	4,8 A	6SL3210-5BE22-2UV0	6SL3210-5BE22-2CV0
Tamaño de bastidor B (con un ventilador)	3,0 kW	8,6 A	7,3 A	-	6SL3210-5BE23-0UV0	6SL3210-5BE23-0CV0
	4,0 kW	11,3 A	8,8 A	8,24 A	6SL3210-5BE24-0UV0	6SL3210-5BE24-0CV0
Tamaño de bastidor C (con un ventilador)	6,6 kW	16,2 A	12,5 A	11 A	6SL3210-5BE26-6UV0	6SL3210-5BE26-6CV0
Tamaño de bastidor D (con dos ventiladores)	7,5 kW	20,7 A	16,6 A	16,6 A	6SL3210-5BE27-6UV0	6SL3210-5BE27-6CV0
	11 kW	30,4 A	25 A	21 A	6SL3210-5BE31-1UV0	6SL3210-5BE31-1CV0
	16 kW	38,1 A	31 A	31 A	6SL3210-5BE31-6UV0	6SL3210-5BE31-6CV0

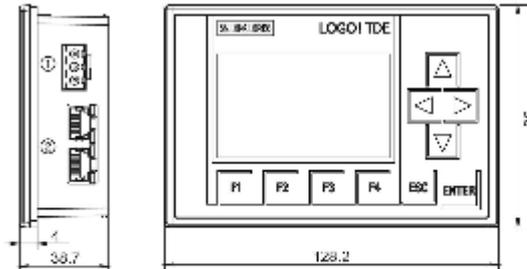
<sup>1)</sup> Esta variante se refiere al convertidor de placa plana con un dissipador de placa plana.

### La estructura de LOGOI



- |  |   |
|--|---|
| ① Fuente de alimentación                                     | ② Entradas                                  |
| ③ Salidas  | ④ Borne FE para conectar la toma de tierra  |
| ⑤ Interfaz RJ46 para la conexión a Ethernet (10/100 Mbits/s) | ⑥ LED de estado de la comunicación Ethernet |
| ⑦ Slot de tarjetas micro SD                                  | ⑧ LCD                                       |
| ⑨ Panel de control   | ⑩ Interfaz de ampliación                    |
| ⑪ Conectores hembra de codificación mecánica                 | ⑫ Perfil normalizado                        |

## LOGO! TDE



- ① Fuente de alimentación
- ② Interfaz Ethernet

El LOGO! TDE incorpora un área de visualización más ancha que el display integrado en el LOGO!. Dispone de cuatro teclas de cursor programables, cuatro teclas de función programables, una tecla ESC y una tecla ENTER. El cable Ethernet sirve para conectar la interfaz Ethernet en el lado derecho del LOGO! TDE con la interfaz Ethernet en el módulo base LOGO!.

## Reconocer LOGO!

El identificador del LOGO! proporciona información acerca de diversas propiedades:

- 12/24: versión de 12/24 V DC
- 230: versión de 115 V AC/DC a 240 V AC/DC
- R: salidas de relé (sin R: salidas de transistor)
- C: Reloj en tiempo real integrado
- E: interfaz Ethernet
- o: Versión sin display ("LOGO! Pure")
- DM: Módulo digital
- AM: Módulo analógico
- TDE: visualizador de textos con interfaces Ethernet

## Símbolos

	Versión con display, dispone de 8 entradas, 4 salidas y 1 interfaz Ethernet.
	Versión sin display, dispone de 8 entradas, 4 salidas y 1 interfaz Ethernet.

**ANEXO A**

**MANUAL DE USUARIO**

**ANEXO B**

**PLANOS MECÁNICOS**

**ANEXO C**

**PLANOS ELÉCTRICOS Y**

**ELECTRÓNICOS**

**ANEXO D**

**PLANOS PROGRAMACIÓN**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor **RODRIGO ANDRES HEREDIA GARCES**.

En la ciudad de Latacunga a los **15 días del mes de Abril del 2016**.

Ing. Oscar Arteaga

DIRECTOR DEL PROYECTO

**Aprobado por:**

Ing. Vicente Hallo

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO