



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

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y  
MECANICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

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

**AUTOR: AUCANCELA GUAMÁN, VERÓNICA JIMENA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CABEZAL  
PARA SOLDADURA ORBITAL AUTOMÁTICA EN PASE DE RAÍZ EN  
TUBERÍA DE OCHO PULGADAS STD CON EL PROCESO FCAW PARA  
ACESXILICON DESIGN TECHNOLOGY LTDA.**

**DIRECTOR: ING. NARANJO, CARLOS**

**CODIRECTOR: ING. SEGOVIA, XAVIER**

**SANGOLQUÍ, DICIEMBRE 2013**

## CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACION DEL PROYECTO

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CABEZAL PARA SOLDADURA ORBITAL AUTOMÁTICA EN PASE DE RAÍZ EN TUBERÍA DE OCHO PULGADAS STD CON EL PROCESO FCAW PARA ACESXILICON DESIGN TECHNOLOGY LTDA.**” ha sido desarrollado en su totalidad por la señorita Verónica Jimena Aucancela Guamán con C.I. 0603914326 bajo nuestra supervisión como requisito parcial para la obtención del título en Ingeniera Mecatrónica.

---

Ing. Carlos Naranjo

**DIRECTOR**

---

Ing. Xavier Segovia

**CODIRECTOR**

Sangolquí, 2013 Diciembre 14

## AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo Verónica Jimena Aucancela Guamán declaro que el proyecto de grado titulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CABEZAL PARA SOLDADURA ORBITAL AUTOMÁTICA EN PASE DE RAÍZ EN TUBERÍA DE OCHO PULGADAS STD CON EL PROCESO FCAW PARA ACESXILICON DESIGN TECHNOLOGY LTDA.", realizado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

Verónica Jimena

Aucancela Guamán

## **CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA**

### **AUTORIZACION**

Yo, Verónica Jimena Aucancela Guamán

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas 'ESPE' la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CABEZAL PARA SOLDADURA ORBITAL AUTOMÁTICA EN PASE DE RAÍZ EN TUBERÍA DE OCHO PULGADAS STD CON EL PROCESO FCAW PARA ACESXILICON DESIGN TECHNOLOGY LTDA.", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

---

Verónica Jimena

Aucancela Guamán

Sangolquí, 2013 Diciembre 14

## DEDICATORIA

Para mis padres Eduardo-Dorita por haber transformado todo su amor en algo real que soy yo, quien ahora puso todo el esfuerzo para cumplir un objetivo más de la vida, espero no haberles defraudado.

LOS AMO

Verónica J. Aucancela Guamán

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme cada segundo para vivir la vida, y haberme susurrado al oído “Nunca rendirse Jamás”.

A mis padres Eduardo, Dorita, hermanos Fernando-Marco-Margarita por brindarme siempre ese apoyo incondicional, que a pesar de mis errores nunca me dejaron sola. Sin ustedes esto no hubiese sido visible.

A Javier Lema por haberme acompañado durante todo este tiempo con su mano como soporte para no caer, gracias amor.

A Jaime Benalcázar mi amigo que a pesar de la distancia la amistad estuvo por delante.

Al Ing. Carlos Naranjo e Ing. Xavier Segovia quienes han compartido sus conocimientos, experiencias que han contribuido para mi formación profesional.

Al laboratorio de máquinas herramientas, a Don Velasco y Don Cárdenas, por brindarme la confianza, soporte durante el desarrollo.

A quienes conforman Acesilicon, Héctor, Walter, Patricia, gracias por haber confiado en el proyecto.

A toda mi familia y amigos que de una u otra forma me apoyaron.

**Verónica J. Aucancela Guamán**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. General .....	4
1.3.2. Específicos.....	4
1.4. Alcance del proyecto .....	5
CAPÍTULO 2 .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Soldadura FCAW .....	7
2.1.1. Fundamentos del proceso.....	7
2.1.2. Variables del proceso.....	7
2.1.3. Ventajas y desventajas .....	8
2.1.4. Equipamiento .....	9
2.1.5. Control de proceso.....	18
2.1.5.1. Corriente de soldadura .....	18
2.1.5.2. Voltaje de arco.....	20
2.1.5.3. Polaridad .....	21

2.1.5.4.	Extensión de electrodo .....	21
2.1.5.5.	Velocidad de Avance .....	23
2.1.5.6.	Ángulo de electrodo.....	23
2.1.5.7.	Posición de soldadura .....	25
2.2.	Soldadura Orbital .....	26
2.2.1.	Definición .....	26
2.2.2.	Datos técnicos.....	26
2.3.	Modelo de desplazamiento orbital.....	27
2.3.1.	Características .....	27
2.3.2.	Tipos de modelos.....	28
2.3.3.	Materiales.....	29
2.4.	Infraestructura de software de comunicación.....	30
2.4.1.	Descripción .....	31
2.4.2.	Arquitectura.....	32
2.4.2.1.	Fundamentos.....	32
2.4.2.2.	Estructura .....	33
2.4.2.3.	Requisitos.....	33
	CAPÍTULO 3 .....	35
	DISEÑO DEL CABEZAL.....	35
3.1.	Consideraciones de Diseño .....	35



3.1.1. Análisis de características de máquinas comerciales .....	36
3.1.2. Análisis de alternativas para la soldadura .....	40
3.1.2.1. Alternativa con soldadura de proceso FCAW-G con protección gaseosa .....	42
3.1.2.2. Alternativa con soldadura de proceso FCAW-S autoprotegido .....	43
3.1.3. Análisis de alternativas de mecanismos para Sistema motriz de desplazamiento orbital.....	45
3.2. Diseño del sistema motriz desplazamiento rotacional.....	49
3.1.1. Elección Motor DC .....	54
3.2.1.1. Análisis de movimiento .....	56
3.2.1.2. Cálculo de velocidad de avance orbital .....	61
3.3. Diseño del sistema de sujeción antorcha .....	62
3.4. Sistema guía riel-anillo .....	69
3.5. Sistema de sujeción del cabezal hacia riel-anillo .....	71
3.6. Selección de material para la construcción del mecanismo .....	76
3.7. Elección de sensores .....	79
3.8. Planos .....	83
CAPÍTULO 4 .....	85
PLAN DE CONSTRUCCIÓN .....	85

4.1. Matriz de construcción del cabezal .....	85
4.2. Requerimientos de montaje .....	86
4.3. Ensamble del mecanismo .....	89
4.4. Instalación de sensores y actuadores en el mecanismo .....	95
4.5. Realización de manual del prototipo .....	97
4.5.1. Manual de ensamble .....	98
4.5.2. Manual de Operación .....	98
CAPÍTULO 5 .....	99
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN .....	99
5.1. Entorno gráfico para Programación .....	99
5.2. Elección de elemento de adquisición de datos .....	101
5.2.1. Tipos de elementos para adquisición de datos .....	102
5.2.2. Suministro de tarjeta de adquisición de datos .....	106
5.3. Selección de drivers para el actuador seleccionado .....	107
5.3.1. Análisis de los tipos de drivers .....	107
5.3.2. Implementación de prototipos de drivers .....	112
5.3.3. Adquisición de drivers .....	116
5.3.4. Pruebas de funcionamiento de los drives .....	118
5.4. Programación virtual .....	120
5.4.1. Parámetros establecidos para la programación virtual .....	120

5.4.2. Algoritmo de Control .....	122
5.4.3. Implementación de la Interfaz .....	123
5.4.4. Calibración del sistema control .....	127
5.4.5. Filtraje de las señales de ruido.....	129
5.5. Sistema eléctrico del prototipo .....	130
5.5.1. Análisis de la fuente de poder apta para la aplicación .....	130
5.5.2. Selección de componentes, cables y conectores.....	132
CAPÍTULO 6 .....	135
PLAN DE PRUEBAS .....	135
6.1. Pruebas de Comunicación .....	135
6.1.1. Comunicación entre sensores y DAQ .....	135
6.1.2. Comunicación entre DAQ, Interfaz Gráfica .....	137
6.2. Preparación de los materiales a soldar .....	139
6.3. Pruebas Funcionales y Operativas.....	141
6.4. Pruebas de Soldadura Orbital Automática .....	147
6.4.1. Soldadura Orbital automática sobre tuberías.....	148
6.5. Verificación de Soldadura a través de Ensayos No destructivos ..	162
6.5.1. Inspección visual de la soldadura realizada.....	162
6.6. Velocidad de respuesta de sistema .....	163
CAPÍTULO 7 .....	164

ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	164
7.1. Codificación de resultados para el proceso semiautomático y automatizado, comparación de la velocidad de avance con el soldador y con el proceso automatizado.....	164
7.2. Cuadro de resumen de tiempos para el proceso semiautomático y mecanizado.....	170
7.3. Análisis Económico .....	171
7.3.1. Costos Directos.....	172
7.3.2. Costos Indirectos .....	173
CAPITULO 8 .....	175
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	175
8.1. Conclusiones.....	175
8.2. Recomendaciones.....	177
Bibliografía .....	178

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fisuración en el centro de la soldadura debido a relación ancho altura de la penetración de la soldadura en el pase de raíz.....	2
Figura 2. Soldadura de arco con núcleo fundente autoprotegido y con gas de protección. ....	8
Figura 3. Equipo Semiautomático para soldadura de arco con núcleo fundente.....	10
Figura 4. Pistola para proceso semiautomático en soldadura de arco con núcleo fundente. ....	12
Figura 5. Falta de penetración en el cordón de raíz.....	19
Figura 6. Excesivo Amperaje en el cordón de raíz.....	20
Figura 7. Boquilla con un electrodo autoprotegido.....	22
Figura 8. Posición y ángulo del electrodo para soldar. ....	24
Figura 9. Posición horizontal plano vertical.....	25
Figura 10. Posición Vertical. ....	26
Figura 11. Pinzas Orbitales.....	28
Figura 12. Bastidor de ruedas orbital. ....	29
Figura 13. Anillo de Sujeción. ....	29
Figura 14. Cabezal de Soldadura. ....	30
Figura 15. Diagrama de bloques del sistema de soldadura. ....	32
Figura 16. Control Remoto.....	37
Figura 17. Pantalla con Botón de Emergencia.....	37
Figura 18. Riel-Anillo de Bugo System .....	38

Figura 19. Distribución de la tubería. ....	51
Figura 20. Forma Prisma Rectangular. ....	53
Figura 21. Prototipo de Cabezal. ....	53
Figura 22. Sistema de Transmisión. ....	56
Figura 23. Estructura del eslabón de cadena. ....	57
Figura 24. Esquema de Sistema de Reducción.....	59
Figura 25. Cadena de rodillos paso 35. ....	59
Figura 26. Sistema de Sujeción de la Antorcha. ....	63
Figura 27. Sistema de Piñón - Cremallera. ....	67
Figura 28. Parámetros de Calculo cremallera.....	68
Figura 29. Sujeción Pistola de Soldar. ....	69
Figura 30. Riel-Anillo Prototipo. ....	70
Figura 31. Soporte Base de la Riel. ....	71
Figura 32. Vista Frontal Riel.....	71
Figura 33. Sección de Rodamiento.....	72
Figura 34. Vista Inferior Cabezal.....	73
Figura 35. Configuración del Opto acoplador. ....	80
Figura 36. Rango de frecuencia del sensor. ....	81
Figura 37. Diagrama de conexión del sensor. ....	82
Figura 38. Matriz de construcción del cabezal.....	86
Figura 39. Tipos de Sujetadores. ....	89
Figura 40. Tipos de Sujetadores de Anillos. ....	90
Figura 41. Riel-Anillo.....	91

Figura 42. Cabezal de Soldadura. ....	93
Figura 43. Sistema de sujeción anillo-cabezal .....	95
Figura 44. Posición de sensor en el motor.....	96
Figura 45. Configuración de Opto acoplador como sensor.....	96
Figura 46. Motor.....	97
Figura 47. Panel frontal y diagrama de bloques LABVIEW.....	100
Figura 48. Adquisición de datos.....	102
Figura 49. Tarjeta de adquisición de datos NI-My DAQ.....	106
Figura 50. Circuito con el L298. ....	109
Figura 51. Circuito con los relevadores utilizando relay de 30-40A. ....	110
Figura 52. Circuito con el L293D y Mosfet. ....	111
Figura 53. Etapa de Protección para la DAQ.....	113
Figura 54. Etapa de control de señales de mando.....	114
Figura 55. Circuito para control de la antorcha de soldadura. ....	115
Figura 56. Circuito de potencia del Motores. ....	116
Figura 57. Diseño del circuito en el Software Ares. ....	117
Figura 58. Implementación del circuito. ....	118
Figura 59. Lazo cerrado de Control. ....	120
Figura 60. Algoritmo de Control. ....	122
Figura 61. Interfaz Aplicación LABVIEW.....	124
Figura 62. Ventana de Interacción con el usuario.....	125
Figura 63. Diagrama de Bloques 1 Labview .....	126
Figura 64. Diagrama Salida del PWM.....	126

Figura 65. Programa de tiempo de espera. ....	127
Figura 66. Circuito filtro. ....	130
Figura 67. Relés. ....	132
Figura 68. Conductores Eléctricos. ....	133
Figura 69. Fusibles de vidrio y plásticos. ....	134
Figura 70. Conectores individuales y en grupo. Fuente: Conectores Recuperado de: <a href="http://www.deautogroup.com">www.deautogroup.com</a> .....	134
Figura 71. Configuración de la DAQ. ....	136
Figura 72. Verificación de la conexión entre la DAQ y la Interfaz Gráfica. .	138
Figura 73. Configuración, de los canales digitales. ....	138
Figura 74. Posición 5G .....	139
Figura 75. Esquema de tipo de junta a implementar. ....	140
Figura 76. Galga para medir ángulos. ....	141
Figura 77. Posición de Boquilla. ....	144
Figura 78. Extensión del electrodo. ....	144
Figura 79. Asignación de la Tubería. ....	145
Figura 80. Iniciación del programa. ....	146
Figura 81. Junta soldada sin respaldo Prueba de soldadura 1. ....	149
Figura 82. Junta soldada con respaldo derecha- Prueba de Soldadura 2. .	151
Figura 83. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 2.b. .....	152
Figura 84. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 3. .	153



Figura 85. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 3.b. .....	155
Figura 86. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 4.a. .....	156
Figura 87. Junta soldada con respaldo derecha-Prueba de Soldadura 4.b. .....	157
Figura 88. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 5.a. .....	158
Figura 89. Junta soldada con respaldo derecha -Prueba de Soldadura 5.b. .....	159
Figura 90. Junta soldada con respaldo derecha-Prueba de Soldadura 6.a. .....	160
Figura 91. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 6.b. .....	161
Figura 92. Esquema de cordón de soldadura aceptable.....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la Tubería .....	13
Tabla 2. Composición Química .....	13
Tabla 3. Propiedades Mecánicas.....	13
Tabla 4. Dimensiones y Peso Unitario .....	14
Tabla 5. Clasificación y soldabilidad de acero de carbono .....	16
Tabla 6 Datos Técnicos de Soldadora Orbital .....	27
Tabla 7. Requisitos de Hardware Instalación de Labview.....	34
Tabla 8. Características de Maquinas Comerciales.....	38
Tabla 9. Característica para el Prototipo.....	40
Tabla 10. Parámetros de Electrodo para Cálculo de energía.....	42
Tabla 11. Parámetros de elección Tipo de Proceso FCAW .....	44
Tabla 12. Parámetros de elección para Sistema Motriz.....	49
Tabla 13. Características Motor.....	55
Tabla 14. Características Cadena de Transmisión. ....	60
Tabla 15. Diámetro de Paso de Engranés .....	61
Tabla 16. Valores especificados para desplazamiento de la Antorcha .....	63
Tabla 17. Factor de Servicio .....	64
Tabla 18. Masa a Trasladar por el sistema de sujeción.....	65
Tabla 19. Módulos- Paso circulares para cremallera.....	66
Tabla 20. Valores para cada diente de la Cremallera .....	68
Tabla 21. Comparación de los tipos de rodamientos .....	73
Tabla 22. Duración de Diseño de acuerdo Aplicaciones.....	74

Tabla 23. Características de rodamiento 6000-2Z.....	75
Tabla 24. Tipos de propiedades de los materiales.....	77
Tabla 25 Propiedades Acero AISI-SAE 1018 .....	78
Tabla 26 Características Fototransistor. ....	81
Tabla 27 Rango de Temperatura.....	82
Tabla 28 Peso Aproximado.....	82
Tabla 29 Planos .....	83
Tabla 30. Proceso para ensamble de anillo-riel.....	91
Tabla 31. Proceso para ensamble Cabezal. ....	93
Tabla 32. Características de Tarjetas de Adquisición de Datos.....	105
Tabla 33. Tipos de driver para motor .....	112
Tabla 34. Tabla de calibración PWM .....	129
Tabla 35. Valores de Corriente Requerida.....	131
Tabla 36. Lógica para lectura de sensor .....	136
Tabla 37. Resultado prueba del sistema motriz de desplazamiento. ....	143
Tabla 38. Evaluación al Sistema de control .....	147
Tabla 39. Parámetros de Ensayo 1.....	149
Tabla 40. Parámetros de Ensayo 2.a.....	150
Tabla 41. Parámetros para Ensayo 2.b. ....	151
Tabla 42. Parámetros de Ensayo 3.a.....	152
Tabla 43. Parámetros de Ensayo 3.b.....	154
Tabla 44. Parámetros de Ensayo 4.a.....	155
Tabla 45. Parámetros de Ensayo 4.b.....	156

Tabla 46. Parámetros de Ensayo 5.a.....	157
Tabla 47. Parámetros de Ensayo 5.b.....	158
Tabla 48. Parámetros de Ensayo 6.a.....	159
Tabla 49. Parámetros de Ensayo 6.b.....	161
Tabla 50. Recopilación de Parámetros de soldadura ascendente.....	165
Tabla 51. Recopilación de Parámetros de soldadura descendente.....	165
Tabla 52. Defectos y Causas en las Pruebas de soldadura orbital.....	166
Tabla 53. Recopilación de Velocidades de Soldadura del Prototipo.....	168
Tabla 54 Esquematización de Probeta Ensayada.....	169
Tabla 55. Recopilación de velocidad de cada Proceso.....	170
Tabla 56. Resumen de tiempos en proceso semiautomático.....	170
Tabla 57. Resumen de tiempos en proceso mecanizado.....	170
Tabla 58. Materiales Directos.....	172
Tabla 59. Mano de obra directa.....	173
Tabla 60. Suministro y Servicios.....	173
Tabla 61. Gasto Administrativo.....	174

## **INDICE DE ANEXOS**

- 1 Especificaciones AWS 5.20
- 2 Datasheet Alambres E71T-1; E71T-11
- 3 Catalogo de Rodamiento de Bolas
- 4 Características de Plancha de Aluminio
- 5 Manual de Ensamble
- 6 Manual de Operación
- 7 Posiciones de Soldadura
- 8 Parámetros de calibración de Millermatic 300
- 9 Procedimiento de Especificaciones API1104 adaptado al proceso FCAW
- 10 Informe de Inspección Visual
- 11 Tabla de Detalle de Materiales Directos
- 12 Datasheet Diodos
- 13 Datasheet Optoacoplador

## RESUMEN

En la industria petrolera, para el montaje de tuberías de transporte de petróleo, se ha identificado la necesidad de desarrollar un sistema de soldadura de mayor rendimiento, menor costo y mayor confiabilidad. La empresa Acesxilicon ha tomado este reto como una oportunidad para desarrollar un prototipo de cabezal de soldadura orbital para el pase de raíz en tubería de 8 pulgadas con proceso FCAW, como parte de una primera etapa de desarrollo. El presente proyecto está enfocado al diseño y construcción del cabezal, el cual aborda, en un inicio el estudio y análisis de parámetros del proceso FCAW en el pase de raíz, consecutivamente con el diseño de detalle del cabezal, que tiene como objetivo el esquematizar el mecanismo que permita el movimiento orbital sobre la tubería, sistema guía anillo-riel, sistema motriz; sistema de sujeción de la antorcha que involucra el posicionamiento tanto vertical como horizontal, así como sistema de sujeción del cabezal. Posteriormente se procede a la construcción donde se considera los materiales a utilizar, requerimientos de montaje, manuales de ensamble como de operación. Un control de velocidad de avance de la soldadura se desarrolla mediante la implementación del algoritmo de control y procesamiento de señal en el programa Labview 2011 de National Instrument, visualizados en un HMI, donde se utiliza una MyDAQ para la adquisición de datos y entrega del PWM. Finalmente de los resultados del prototipo, se ha especificado parámetros de calibración de la máquina de soldar y uso del programa realizado, para su utilización en modo mecanizado, manual; así como los principales defectos comunes encontrados dentro de este proceso.

### **Palabras claves:**

- Cabezal de Soldadura Orbital,
- Control de velocidad,
- Proceso FCAW,
- Pase de raíz en tubería.

## ABSTRACT

In the petroleum industry, piping assembly for transporting petroleum and petroleum products has identified the need to develop a system for welding higher performance, lower cost and higher reliability.

Us Acesilicon has taken this challenge as an opportunity to develop a prototype orbital welding head for the root pass in pipe 8 inches with FCAW process, as part of an early stage of development.

This project is focused on the design and construction of the head, which addresses, in the beginning of the study and analysis of parameters of the FCAW process in root pass consecutively with the detailed design of the head, which aims to outline the mechanism to the orbital motion of the pipe, ring - rail guidance system, drive system, fastening system involving torch positioning it both vertically and horizontally, and the head restraint. Then proceed to the building where it is considered the materials to use, mounting requirements, with manuals assembly and operation. A control forward speed of welding is developed through the implementation of the control algorithm and signal processing in 2011 from National Instrument Labview program, displayed on an HMI (Human Machine Interface) , where a myDAQ is used to acquire PWM and data delivery .

Finally, as results of the tests of the prototype, it is specified calibration parameters and the welding machine made use of the program for use in machining, manual mode, as well as the main common defects found in this process

### Keywords:

- Head Orbital Welding,
- Speed control,
- FCAW process,
- Root pass in pipe

## **CAPÍTULO 1**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CABEZAL PARA SOLDADURA ORBITAL AUTOMÁTICA EN PASE DE RAÍZ EN TUBERÍA DE OCHO PULGADAS STD CON EL PROCESO FCAW PARA ACESXILICON DESIGN TECHNOLOGY LTDA.**

#### **1.1. Antecedentes**

La creciente expectativa en el Ecuador en cuanto a la capacidad acertada de servicios de ingeniería mecánica en el área de soldadura ha determinado que se empiece a ampliar el horizonte e iniciar estudios de factibilidad y desarrollo.

Acesxilicon Design Technology es una empresa que empieza en el 2005 a enfocar sus esfuerzos en un análisis minucioso al respecto, considerando al máximo las variables que garanticen el total funcionamiento, en el transcurso de los años se extiende a ofertar servicios, capacitación de ingeniería mecánica, soldadura e inspección no destructiva.

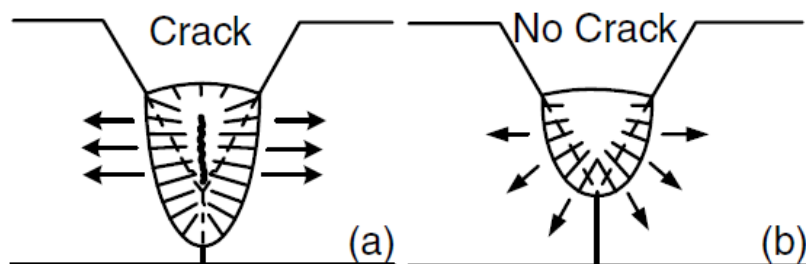
Dentro de los servicios que Acesxilicon Design Technology oferta al mercado, se encuentra inspección técnica con ensayos no destructivos y mantenimiento predictivo, entrenamiento y certificación de personal bajo estándar ASNT, asesoramiento, evaluación y montaje de equipos rotativos y estáticos, los mismos que han venido realizando en cada una de las empresas solicitantes.



Es así como Acesilicon Design Technology ha logrado proporcionar servicios garantizados con tecnologías y equipos certificados para satisfacer las necesidades de todos sus clientes, al mismo tiempo buscando innovar y mejorar sus actividades profesionales.

Viendo la necesidad de crecer en la industria ve la oportunidad de ofertar productos, comenzando por un prototipo de soldadura orbital automática que será dirigido especialmente hacia la industria petrolera.

Orientándose hacia el área de soldadura, se ha analizado que en el montaje de tuberías de transporte de petróleo y sus derivados exige un alto nivel de confiabilidad en la soldadura debido al proceso de corrosión a la cual está sometido el material sobre la zona afectada por la soldadura considerada como la más susceptible debido a la disminución de su resistencia mecánica.



**Figura 1. Fisuración en el centro de la soldadura debido a relación ancho altura de la penetración de la soldadura en el pase de raíz.**

Fuente: Manual de metalurgia de soldadura de Sinko Kou

La necesidad de disminuir la probabilidad de problemas en los pases de raíz en tuberías y el volumen de aplicación que se hace en el Ecuador día a

día permite desarrollar un prototipo de soldadura automática que sea de fácil aplicación y a la vez que sea altamente confiable.

Dicho proyecto comienza como un prototipo para pase de raíz, el cual puede llegar con el tiempo a ser una máquina que cumpla con todo lo especificado para que pueda completar de soldar la junta con varios pases.

Este proceso de soldadura se enfoca para trabajos en campo, de manera que el sistema de prueba sea móvil, debido a que la tubería a trabajar es fija utilizando así la posición de soldadura 5G.

Al aplicar nuevos procesos de soldadura como FCAW permite mejorar la producción como el aprovechamiento del material de aporte, disminuyendo pérdidas del mismo, tanto en costo, como tiempo de producción.

## **1.2. Justificación.**

Hoy en día existen varias empresas extranjeras que son fabricantes de soldadoras orbitales automáticas cuyos costos son elevados que están alrededor de los 60000 dólares. (Magnatech, 2012) Por este motivo, se puede notar la importancia de proporcionar un prototipo de cabezal para soldadura orbital automática, generando un ejemplar de soldadura localmente, como primera fase para pase de raíz de cordón aceptable, realizando la unión de dos tuberías de 8 pulgadas STD, el mismo que cubra costos menores a 20000 dólares.

El estado del volumen de líneas de transporte que existe en el Ecuador, en todas las empresas estatales y privadas dedicadas a la extracción, transporte y procesamiento de petróleo exige que se requiera de procesos automatizados que permitan disminuir el tiempo de montaje y disminuir la probabilidad de fallas en la soldadura especialmente para el pase raíz.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Diseñar y construir un prototipo de cabezal para soldadura orbital automatizada con el proceso FCAW para ejecutar un pase de raíz sano en tuberías de 8 pulgadas STD para la empresa Acesxilicon Design Technology Cía. Ltda.

#### **1.3.2. Específicos**

- Realizar el estudio y análisis de parámetros para el diseño del prototipo de soldadura orbital automático para tubería de 8 pulgadas STD con proceso FCAW, ya sean estos para la estructura como para el controlador de velocidad.
  
- Realizar el diseño estructural del prototipo de cabezal de la soldadura orbital para una tubería de 8 pulgadas STD que permita girar 360 grados.

- Realizar el diseño del controlador de velocidad que permita el movimiento cinético alrededor de la tubería de 8 pulgadas, para de esta forma realizar la soldadura orbital automática partiendo de un proceso semiautomático.
  
- Construir cada uno de los elementos del cabezal a tener, los mismos que serán ensamblados, en conjunto con el sistema eléctrico y electrónico los cuales serán conectados al software para realizar el control de la velocidad para el movimiento cinético invariable.
  
- Verificar el estado de la soldadura en el pase de raíz realizada por el prototipo, por medio de inspección visual como un método de Ensayo No Destructivo especificado según la norma API 1104.

#### **1.4. Alcance del proyecto**

Se enfoca en el diseño y construcción de un prototipo de soldadura orbital automatizada para pases de raíz de soldadura, partiendo de un proceso FCAW con una soldadora LINCOLN S350 o su equivalente en otra marca. Se orienta al desarrollo de un mecanismo que desplace la pistola de soldadura alrededor de la tubería de 8 pulgadas STD para el pase de raíz controlando la velocidad de avance, la activación de la antorcha de soldadura y la toma del tiempo de soldeo como parámetros principales. Se

comenzará con el análisis de alternativas para el desarrollo del proyecto, continuando con el diseño y construcción del cabezal definido, así también se efectuará el desarrollo del software de control para el cabezal, finalmente se realizará pruebas que comprueben la confiabilidad y desempeño del prototipo.

Se presentará además un estudio comparativo de resultados obtenidos aplicando un proceso automático y semiautomático. Así como también el análisis económico del costo de proyecto.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Soldadura FCAW

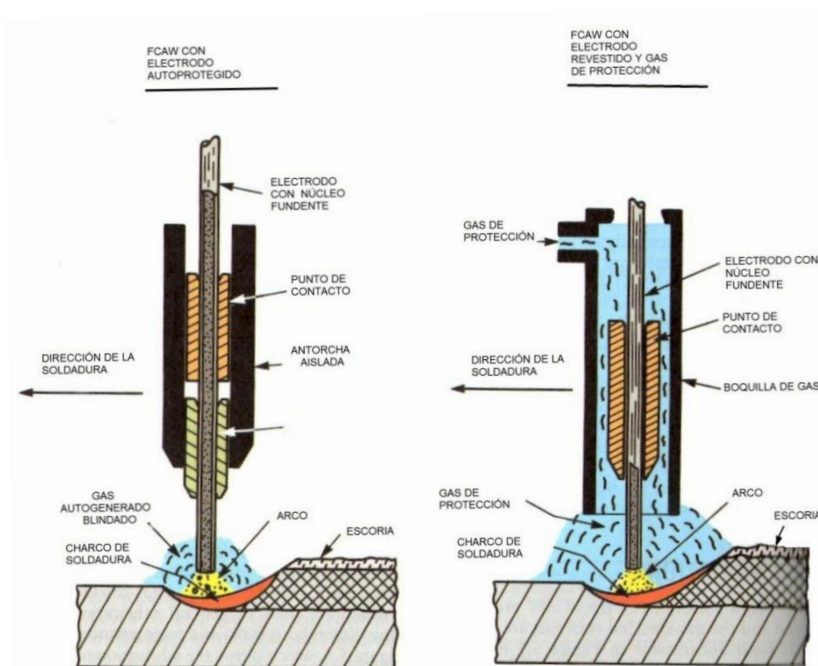
La soldadura de arco con núcleo fundente (Flux Cored Arc Welding, FCAW) es un proceso de soldadura que aprovecha el arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y el metal base. Este proceso emplea un fundente que va al interior del alambre conocido como tubular, sin embargo de igual forma puede ir con o sin ayuda de una protección externa gaseosa.

##### 2.1.1. Fundamentos del proceso

El aspecto que distingue al proceso FCAW de otros procesos de soldadura por arco es la inclusión de un fundente dentro de un electrodo tubular de alimentación continua el cual definirá la utilización o no de una protección externa con gases.

##### 2.1.2. Variables del proceso

El proceso FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y de la poza de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, es el tubular autoprotegido que resguarda al baño mediante la descomposición y vaporización del núcleo fundente en el calor del arco.



**Figura 2. Soldadura de arco con núcleo fundente autoprotegido y con gas de protección.**

Fuente: Welding Handbook, Welding Processes, Part 1 of American Welding Society

El otro tipo, es el tubular con protección externa gaseosa, este utiliza un flujo de gas que protege la zona de trabajo.

En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una capa de escoria que protege el metal de soldadura durante su solidificación.

### 2.1.3. Ventajas y desventajas

La soldadura por arco con núcleo fundente tiene muchas ventajas respecto al proceso GMAW.

Las ventajas del proceso de soldadura FCAW son las siguientes:

- Depósito de metal de soldadura de alta calidad.
- Excelente aspecto de la soldadura: lisa y uniforme.

- Excelente perfil de las soldaduras en filetes horizontales
- Factor operativo elevado - fácil de mecanizar.
- Tasa de deposición alta-densidad de corriente elevada
- Arco visible - fácil de usar.
- No requiere tanta limpieza previa como GMAW.
- Mayor tolerancia de contaminantes que podrían causar agrietamiento de la soldadura.
- Resistencia al agrietamiento de la franja de soldadura inferior.

Las desventajas del proceso de soldadura con electrodo tubular se pueden anotar las siguientes:

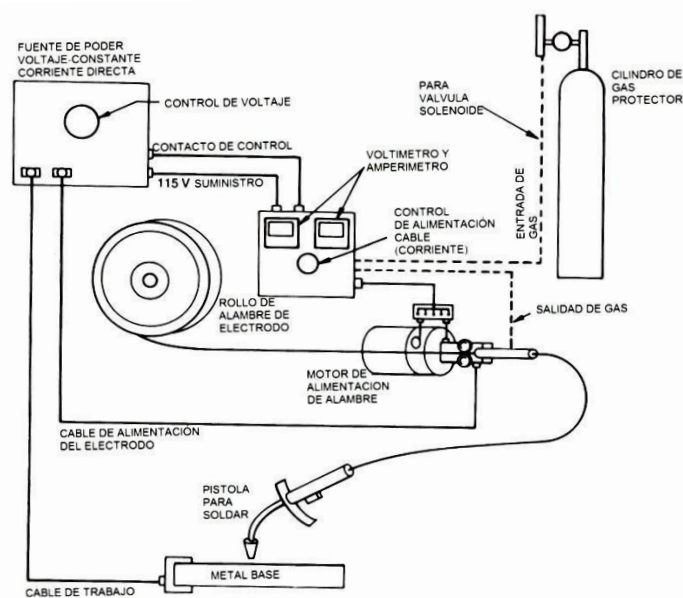
- El proceso FCAW actual está limitado a la soldadura de metales ferrosos y aleaciones con base de níquel.
- El proceso produce una cubierta de escoria que es preciso eliminar.
- El alambre de electrodo para FCAW cuesta más por unidad de peso que el alambre de electrodo sólido, excepto en el caso de algunos aceros de alta aleación.
- Se genera mayor cantidad de humo y vapores (en comparación con GMAW)

#### **2.1.4. Equipamiento**

El equipamiento que necesita este proceso de soldadura consta de los elementos como una fuente de poder, un alimentador de alambre, una pistola para soldar y los cables para soldar. Un sistema para el gas de



protección, se añade para la variante con protección externa. Debido a la cantidad de humo producido puede incluirse alrededor de la pistola una tobera para succión del humo, con la finalidad de reducir humo y gases.



**Figura 3. Equipo Semiautomático para soldadura de arco con núcleo fundente.**

Fuente: Welding Handbook, Welding Processes, Part 1 of American Welding Society

### Fuente de poder

La fuente de poder para la soldadura de arco con electrodo tubular continuo es normalmente una máquina de voltaje constante, la cual tiene una curva voltios-amperios relativamente plana. La fuente de poder debe ser capaz de operar a la máxima corriente requerida para la aplicación específica. La mayoría de aplicaciones semiautomáticas utiliza menos de 500 A. El control de voltaje debe ser capaz de ajustar el incremento de voltios.

## **Alimentador de Alambre**

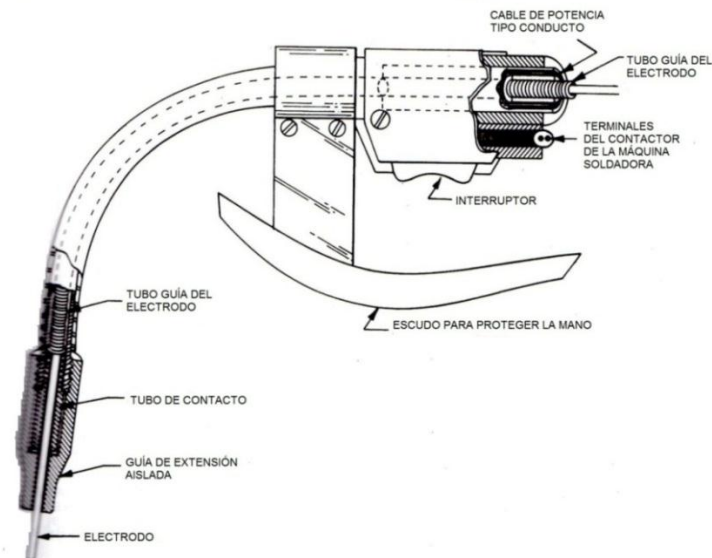
El alimentador lleva el alambre tubular automáticamente desde un carrete o bobina, vía ensamblaje de cable y pistola, al arco. El propósito del control de alimentación de alambre es suministrar el electrodo continuo al arco de soldadura con una velocidad constante previamente establecida. La rapidez de alimentación del electrodo determina el amperaje de soldadura suministrado por una fuente de poder de voltaje constante. Si se modifica esta rapidez, la máquina soldadora se ajustará automáticamente para mantener el voltaje de arco preestablecido. La velocidad de alimentación del alambre determina la cantidad de corriente de soldadura que se suministra al arco. De esta manera, el control de velocidad de alimentación es, esencialmente, el ajuste de la corriente de soldar.

## **Pistola para soldar**

Se usa una pistola para soldadura semiautomática para entregar el alambre o electrodo continuo (desde el alimentador del alambre) y la corriente para soldar el arco. Para la variante con protección externa esta también cumple la función de entregar el gas de protección al área del arco.

Las pistolas usadas para este proceso de soldadura son normalmente más grandes debido a los mayores amperajes usados en el proceso. También se emplea a menudo una tobera para succionar el humo (alrededor de la tobera de la pistola), con la finalidad de reducir la cantidad de humo y gases que se desprenden durante el proceso. Las pistolas con alambres

tubulares con auto-protección usan guías especiales para el alambre, las cuales incluyen la salida eléctrica del extremo del alambre ("stickout"). Esta precalienta el alambre antes de que llegue al extremo de la tobera, con la finalidad de mejorar la eficiencia de operación del alambre.



**Figura 4. Pistola para proceso semiautomático en soldadura de arco con núcleo fundente.**

Fuente: Welding Handbook, Welding Processes, Part 1 of American Welding Society

### **Material Base**

La mayor parte de los aceros que se pueden soldar con el proceso FCAW, pueden ser placas de hierro, tubos, piezas de fundición y las aleaciones de níquel. El material base que se utilizará es la tubería para alta presión, fabricados con acero al carbono de calidad estructural.

Los usos se dan de acuerdo a la siguiente tabla especificada

**Tabla 1. Características de la Tubería.**

<b>ASTM GRADO B</b>	<b>A-53</b>	<b>Tubos para la conducción de fluidos y gases de uso frecuente en petroquímica, pesca, minería e industria en general.</b>
<b>ASTM GRADO B</b>	<b>A-106</b>	<b>Tubos para servicios a altas temperaturas.</b>
<b>API 5L GRADO B</b>		<b>Tubos de línea para la industria petrolera.</b>

Fuente: Catalogo de Tuberías de Dipac Recuperado:  
[http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_tuberia.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_tuberia.pdf)

El tubo que se usara para las pruebas es el tubo de línea para la industria petrolera API 5L grado B, a continuación se indica tablas de propiedades químicas como físicas.

**Tabla 2. Composición Química.**

<b>PSL1 Composición Química</b>					
				<b>Fosforo</b>	<b>Sulfuro</b>
<b>Grado y Clase</b>	<b>Carbón</b>	<b>Manganeso</b>	<b>mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>máximo</b>
<b>B</b>	0,28	1,20		0,030	0,030

Fuente: Catalogo de Tuberías de Dipac Recuperado:  
[http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_tuberia.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_tuberia.pdf)

**Tabla 3. Propiedades Mecánicas.**

<b>Grado</b>	<b>B</b>	
<b>Límite Elástico, mínimo</b>	Psi	35,000
	Mpa	241
<b>Resistencia a la tracción mínimo</b>	Psi	60,000
	Mpa	414
<b>Elongación en 2 pulgadas(50,8mm), mínimo, porcentaje</b>		19 min

Fuente: Catalogo de tuberías Recuperado:  
[http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_tuberia.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_tuberia.pdf)

**Tabla 4. Dimensiones y Peso Unitario.**

Dimensiones, pesos y presiones de prueba estándares para Tubería			
<b>Tamaño</b>		8 5/8	8 5/8
<b>Diámetro exterior</b>	in	8,625	8,625
<b>D</b>	mm	219,1	219,1
<b>Espesor de pared</b>	in	0,277	0,322
<b>t</b>	mm	7,0	8,2
<b>Peso por unidad de longitud <math>w_{pe}</math></b>	Lb/ft	24,72	28,58
	Kg/m	36,61	42,65
<b>Roscas y acoplamiento <math>e_w</math></b>	lb	14,8	14,0
	Kg	6,7	6,36
<b>Diámetro interior calculado <math>d</math></b>	in.	8,071	7,981
	mm	205,1	202,7
<b>Grado B</b>	Psi	1350	1570
	100Kpa	92	108

Fuente: Catalogo de tuberías Recuperado:

[http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo\\_tuberia.pdf](http://www.dipacmanta.com/images/pdf/descargas/catalogo_tuberia.pdf)

### Consumibles

Los consumibles usados son: el gas de protección y el electrodo continuo (alambre).

*El Gas de protección* (variante con protección por gas externo). El gas para protección desplaza el aire al rededor del arco y evita la contaminación por efecto del oxígeno y del nitrógeno de la atmósfera. El gas que se usa normalmente en los aceros es el CO<sub>2</sub>. Las tasas de flujo del gas dependen del tipo de gas usado, del metal que está siendo soldado, de la posición de soldadura, de la corriente para soldar y de la configuración.

*Electrodo continuo* (alambre). El alambre para este tipo de soldadura, es tubular (lleno de fundente). El fundente facilita la protección, des-oxidación, estabilización del arco y formación de escoria. Los alambres con auto

protección son usualmente más sensitivos al voltaje requieren una salida eléctrica del extremo del alambre ("Stickout") para lograr una operación suave. Los alambres de la soldadura al arco con electrodo tubular continuo están disponibles en una diversidad de tamaños desde 0.035 in (0.9 mm) hasta 5/32 in (4 mm). El alambre es contenido en carretes bobinas y tambores. La American Welding Society (AWS) especifica los electrodos de núcleo de fundente para aceros al carbono con soldadura de arco en el apartado ASME II parte C AWS 5.20 Anexo 1, donde clasifica los mismos usando una serie de letras y números.

Una clasificación típica del electrodo es: E-71T -1.

1. La "E" indica que el alambre de aporte es un electrodo continuo.
2. El siguiente dígito indica la resistencia nominal a la tensión del alambre de aporte, en incrementos de 10,000 libras por pulgada cuadrada.
3. El siguiente dígito indica las posiciones en que puede usarse el alambre. 0 -posiciones plana y horizontal. 1-todas las posiciones.
4. La "T" indica que el alambre es tubular.
5. El último número indica la capacidad de uso y las características de operación del alambre.

Dentro de la especificación AWS 5.20 se encuentra el anexo A guía de especificaciones de los electrodos donde indica una descripción y uso de los

mismos, en cual la clasificación del EXXT-13 son autoprotegidos, y operan en DCEN, por lo general se sueldan con una transferencia de arco corto. El sistema de escoria está diseñado para que estos electrodos sean utilizados en todas las posiciones para el pase de raíz en soldaduras de tuberías circulares. Los electrodos se pueden utilizar en todos los espesores de pared de tubería, pero solo se recomienda para la primera pasada. Por lo general, no se recomienda para la soldadura de pases múltiples. Entonces los electrodos que se encuentran dentro de esta clasificación son E61T-13 y E71T-13 los cuales varían en su resistencia nominal a la tensión, los mismos serían útiles para esta aplicación debida que son especificados para pase de raíz pero hay que revisar sus propiedades químicas como mecánicas para ver si está de acuerdo con el material base. (ASMEIX-PART-C, 2010)

Hay que notar que estos electrodos constan dentro de esta clasificación, pero en los catálogos de algunas marcas comerciales no constan, por lo cual no están fabricados para la industria.

Por lo tanto se procede a realizar una selección del tipo de electrodo de acuerdo a las propiedades químicas como mecánicas, así como los electrodos que existan en el mercado. Para lo cual se utiliza la tabla de clasificación y soldabilidad de acero al carbono, en donde se podrá conocer qué tipo de electrodo debe ser el adecuado para el material base.

#### **Tabla 5. Clasificación y soldabilidad de acero de carbono**

### Clasificación y soldabilidad de acero de carbono

Nombre	Carbono%	Uso Típico	Soldabilidad
<b>Común</b>			
<b>Acero bajo de carbono</b>	0,06% a 0,25%	Formas estructurales, placas, hojas tiras	Bueno
<b>Acero medio carbono</b>	0,25% a 0,5%	Partes de maquinas	Precalentamiento y postcalentamiento normalmente
<b>Acero alto carbono</b>	0,5% a 1,6%	Resortes, riel de tren	Malo

Fuente: Resumen de Materiales y Procesos NDT tecnología de ASNT cap.5 pág. 50

Como el porcentaje de carbono de la tubería, material base es de 0,28 máx. Se puede notar que se encuentra dentro del rango de 0,25-0,5 % correspondiendo a un Acero de Medio Carbono, con este dato se puede seleccionar el electrodo comercial que se encuentre en el mercado.

En este caso se seleccionó el E71T-11 es un Acero Dulce (Mild Steel), que se puede utilizar para todas las posiciones de soldadura. Se encuentra dentro de la especificación AWS 5.20, en el Anexo 1, se muestra más características sobre el mismo.



## **2.1.5. Control de proceso**

### **2.1.5.1. Corriente de soldadura**

La corriente de soldadura es proporcional a la velocidad de alimentación del alambre, para un diámetro, una composición y una extensión específicos.

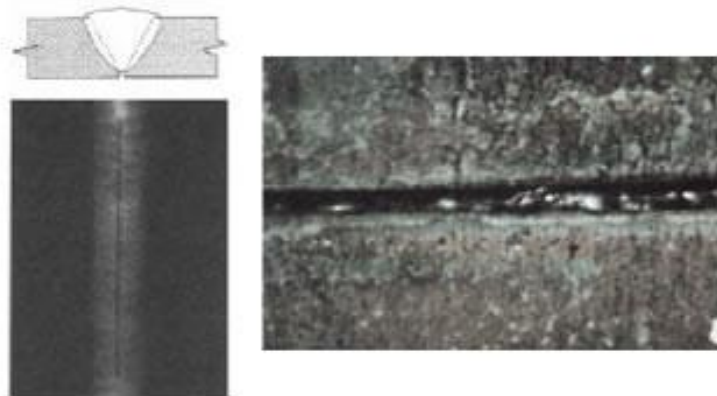
Una fuente de poder de voltaje constante, del tamaño apropiado se utiliza para fundir el alambre a una rapidez que mantiene constante el voltaje de salida (longitud de arco) preestablecido. Para una dada velocidad de alimentación del alambre, la corriente de soldadura medida varía con la longitud libre del electrodo. A medida que aumenta la longitud libre del electrodo, la corriente de soldadura disminuye.

Al variar la corriente de soldadura, si las demás variables del proceso se mantienen constantes para un electrodo de cierto diámetro, la modificación de la corriente de soldadura tendrá los siguientes efectos preponderantes:

- Al aumentar la corriente aumenta la velocidad de deposición del electrodo.
- Al aumentar la corriente aumenta la penetración. Al tener una buena penetración en la raíz se obtendrá una fusión uniforme a través del cordón de soldadura.
- Excesiva corriente produce cordones de soldadura convexos con aspecto deficiente. En el pase de raíz puede provocar

discontinuidades o chorreo del material al interior, reteniendo escoria o no en su interior, provocando que la raíz no se fusione.

- Una corriente insuficiente produce transferencia de grandes gotas y demasiadas salpicaduras. A menudo la soldadura no quedara adecuadamente rellena con metal dejando un vacío, dando como resultado que la raíz no se funda, para verificar esto se puede realizar radiografía y visualizar una línea negra que representara que no se encuentra fundida la raíz.
- Una corriente insuficiente puede causar una absorción excesiva de nitrógeno y también porosidad del metal de soldadura cuando se suelda con electrodos con núcleo fundente autoprotegido.
- Un rango de corriente para efectuar el trabajo del pase de raíz se encuentra entre 130 a 170 amperios.



**Figura 5. Falta de penetración en el cordón de raíz**

Fuente: Imperfecciones en soldadura tipos de discontinuidades. Ing. Samuel Rosario Francia (2009)



**Figura 6.Excesivo Amperaje en el cordón de raíz**

Fuente: Propia

#### **2.1.5.2. Voltaje de arco**

El voltaje y la longitud del arco están íntimamente relacionados. El voltaje que indica el medidor de la fuente de potencia es la suma de las caídas de voltaje en todo el circuito de soldadura. Esto incluye la caída a través del cable de soldadura, La extensión del electrodo, el arco, la pieza de trabajo y el cable conectado al trabajo. Por tanto, el voltaje del arco será proporcional a la lectura del medidor si los demás elementos del circuito (y sus temperaturas) se mantienen constantes.

El voltaje de arco influye si el voltaje aumenta, el ancho del cordón aumentara con irregularidades y excesivas salpicaduras, mientras que la penetración disminuye, por tanto no se podrá lograr una fusión en la raíz de la soldadura.

Un voltaje de arco demasiado baja puede resultar en excesivas salpicaduras y cordones angostos y convexos con baja penetración.

### **2.1.5.3. Polaridad**

La polaridad es una de las variables que deben ser considerados al seleccionar los electrodos FCAW. Algunos electrodos con núcleo fundente están diseñados para ser utilizados con DCEP (polaridad inversa) y otros para DCEN (polaridad directa).

Algunas clasificaciones de electrodos de núcleo fundente autoprotegido se especifican con polaridad DCEN. Esta polaridad resulta para una menor penetración del metal base. En consecuencia, para diámetros pequeños, tales como electrodos de 0,8 mm (0,030 in), 0,9 mm (0,035 in) y 1,2 mm (0,045 in) han demostrado ser un trabajo bastante exitoso en los materiales de calibre delgado.

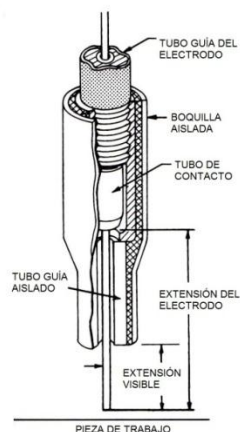
### **2.1.5.4. Extensión de electrodo**

Se define como extensión libre o salida del alambre a la distancia media entre el pico de contacto y el extremo donde se establece el arco eléctrico en el alambre. La temperatura del electrodo afecta la energía del arco, la tasa de deposición del electrodo y la penetración de la soldadura.

El efecto de la extensión del electrodo como factor operativo en FCAW introduce una nueva variable que debe mantenerse equilibrada con las condiciones de protección y las variables de soldadura relacionadas. Si todas las variables son igual, una extensión excesiva produce un arco

inestable con demasiadas salpicaduras, es decir una extensión de 40mm. Una extensión muy corta puede producir un arco demasiado largo a un nivel de voltaje determinado, en un valor de 5mm. En el caso de los electrodos con escudo de gas, puede causar una acumulación de salpicaduras en la boquilla que tal vez interfiera con el flujo de gas. Una cobertura de gas protector deficiente puede causar porosidad y oxidación excesiva del metal de soldadura.

El rango que se establece para el prototipo esta entre 0 a 60mm, un valor considerado según criterios de los fabricantes, debido que recomiendan una extensión de 19 a 38 mm (3/4 a 1.5 pulg) para los electrodos con escudo de gas y de 19 a 95 mm (3/4 a 3.75 pulg) para los tipos con autoprotección, dependiendo de la aplicación. La modificación de dicha distancia da un efecto en el cordón depositado como resultado se tiene que mientras se incrementa la extensión libre de alambre la penetración como el ancho del cordón aumentará.



**Figura 7. Boquilla con un electrodo autoprotegido.**

Fuente: Welding Handbook, Welding Processes, Part 1 of American Welding Society

#### **2.1.5.5. Velocidad de Avance**

La velocidad de avance que posea el prototipo influirá en la penetración y en el contorno de la franja de soldadura de raíz. Si los demás factores permanecen constantes, la penetración a velocidades de recorrido bajas es mayor que a velocidades altas.

Si la velocidad de desplazamiento es baja y la corriente es elevada, el metal de soldadura puede sobrecalentarse y producir una soldadura de aspecto áspero que tal vez atrape escoria mecánicamente, o atravesar de lado a lado el metal base, debido que la corriente tiene relación con la velocidad de alimentación del alambre, si esta es elevada la velocidad también lo será, entonces la velocidad del alambre será la que domine con respecto a la velocidad de avance haciendo que el alambre atraviese de lado a lado dando como consecuencia la no fusión de la raíz.

Si la velocidad de desplazamiento es excesiva, la franja de soldadura tiende a ser irregular y acordonada, en este caso habría discontinuidades en el cordón debido que la velocidad de avance dominara en el proceso, dando como resultado partes de la raíz fusionada y otras no.

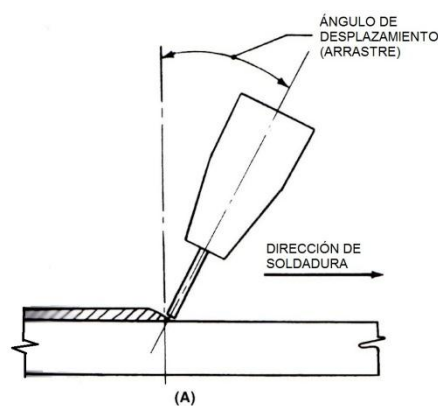
#### **2.1.5.6. Ángulo de electrodo**

El ángulo con que se sostiene el electrodo durante la soldadura determina la dirección en que la fuerza del arco se aplica al charco de metal fundido. Si las variables de soldadura se ajustan en los niveles correctos para la aplicación de que se trata, se puede usar la fuerza del arco para

contrarrestar los efectos de la gravedad. A fin de contrarrestar esto, el electrodo se sostiene angulado respecto a la vertical, con la punta apuntando hacia la soldadura, es decir, en dirección opuesta a la dirección de desplazamiento. Este ángulo de desplazamiento, definido como ángulo de arrastre. Se mide a partir de una línea vertical en el plano del eje de la soldadura.

El ángulo correcto depende del método de FCAW empleado, del espesor del metal base y de la posición de soldadura. Para FCAW con protección gaseosa el ángulo debe ser pequeño, usualmente entre  $2$  y  $15^\circ$ , no más de  $25^\circ$ . Si el ángulo es mayor la efectividad del gas de protección se pierde.

Al aumentar el espesor del material, el ángulo se reduce para incrementar la penetración. Cuando se suelda en vertical ascendente se puede utilizar un pequeño ángulo de avance del electrodo, que puede variar de  $5$  a  $10$  grados.



**Figura 8. Posición y ángulo del electrodo para soldar.**

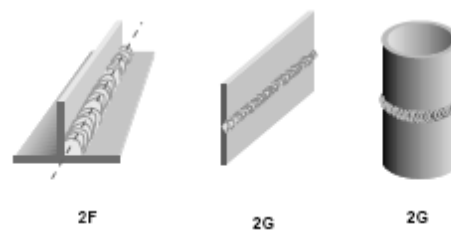
Fuente: Welding Handbook, Welding Processes, Part 1 of American Welding Society

### 2.1.5.7. Posición de soldadura

Antes de que los operarios puedan realizar cualquier trabajo normado por un código de soldar o especificaciones de soldadura, usando el proceso requerido, así como el metal base, espesor, diseño de junta y posición que se requiere para un depósito de calidad, para dicho efecto se cita las posiciones como siguen:

#### a. Horizontal plano vertical.

Según la designación ANSI / AWS A 3.0 – 85, este tipo de posición se identifica con el número 2 por el grado de dificultad al momento de soldar y se identifica con G las uniones con preparación de ranura y F a la unión en ángulo interior.



**Figura 9. Posición horizontal plano vertical.**

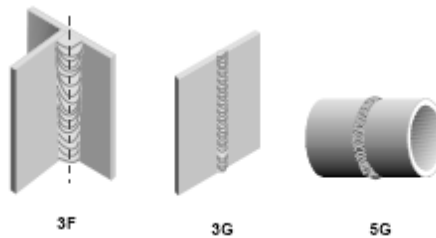
Fuente: Manual de soldadura Indura Recuperado:  
[http://www.indura.com.ec/\\_file/file\\_2182\\_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf](http://www.indura.com.ec/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf)

#### b. Vertical.

La posición vertical se identifica con el número 3 al momento de soldar planchas, y se aplica en tubería sin movimiento es decir tubería en posición fija, identificándose con el número 5 en donde se aplica algo más que



soldadura en posición vertical, según designación ANSI / AWS A 3.0 – 85, se presentan de la siguiente manera:



**Figura 10. Posición Vertical.**

Fuente: Manual de soldadura Indura. Recuperado:  
[http://www.indura.com.ec/\\_file/file\\_2182\\_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf](http://www.indura.com.ec/_file/file_2182_manual%20de%20soldadura%20indura%202007.pdf)

## **2.2. Soldadura Orbital**

### **2.2.1. Definición**

La soldadura orbital es el proceso de soldar circularmente una pieza cilíndrica fija o fijada en un soporte por ejemplo se tiene tuberías, conductos, etc.

Para este propósito, la antorcha se desplaza sobre una guía y recorre la pieza de manera circular. Esta es la razón por la cual recibe su nombre, pues la palabra “Orbit” viene del latín que se refiere al movimiento de la luna alrededor de la tierra.

### **2.2.2. Datos técnicos**

Los datos técnicos que se requiere para la soldadura orbital se detallan en el siguiente cuadro:

**Tabla 6 Datos Técnicos de Soldadora Orbital**

Datos Técnicos	
<b>Aplicaciones</b>	Tamaño de tubería - 203,2 mm (8") Espesor de tubería – 5 mm Soldadura en superficie curva
<b>Requisitos de energía</b>	120 /240 VAC
<b>Velocidad Lineal</b>	0 – 76.2 cm/min (30 ipm)
<b>Alambre</b>	Diámetro de alambre 0.8 – 1.6 mm Velocidad de alimentación del alambre 0.5 – 22cm/min (20-866 ipm) Tamaño del alambre de la bobina 5kg
<b>Capacidad de carga</b>	27 kg
<b>Rango de temperatura</b>	- 20 °C a 50 °C
<b>Potencia</b>	2,7 kW
<b>Capacidad de ajuste de la torcha</b>	Ajuste angular de la torcha ± 15° (Manual) Ajuste angular del soporte de la torcha ± 10° (Manual) Capacidad de ajuste de la torcha ± 45° (Manual)

Fuente: Recopilación de marcas de soldadoras comerciales

### 2.3. Modelo de desplazamiento orbital

#### 2.3.1. Características

- Diseño para soldaduras de tubo/tubo y de tubo/ pieza suelta o accesorio.
- Anillo de aluminio rígido, facilidad de montaje en la tubería.
- Pestillos de bloqueo para la posición del anillo.
- Anillo intercambiable montan al cabezal sobre el tubo, permitiendo soldar una amplia gama de diámetros según requiera.
- Barras espaciadoras para el ajuste y centrado del anillo hacia la tubería.
- Supervisor de límites establecidos de funcionamiento para todos los parámetros ajustables.
- Fuente de poder inversora de multi-procesos para la soldadura.

- Bucle de retroalimentación en la programación.
- Control de la velocidad al desplazarse

### 2.3.2. Tipos de modelos

Los tipos de modelos para soldadura orbital que hay en el mercado internacional, son los siguientes:

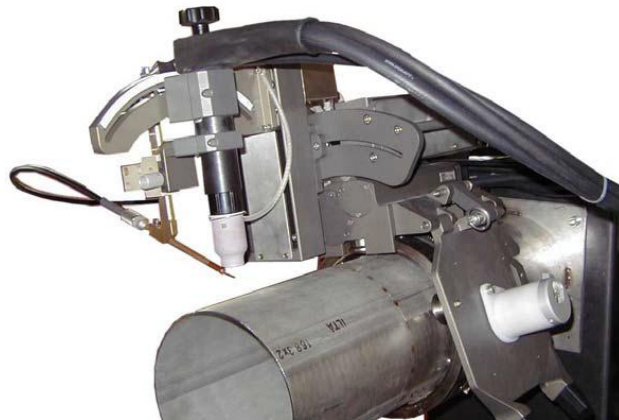
*Pinzas orbitales:* instrumento de metal compuesto de dos brazos móviles trabados por un eje, que se emplea para aplicaciones de soldadura de tubos como conexión tubo-tubo, tubo-brida, tubo-fondo de tubo.



**Figura 11. Pinzas Orbitales.**

Fuente: Maquinas de soldadura Fronius Recuperado:  
[http://www.dpiaca.com/Archivos%20PDF/Presentation\\_Orbital\\_Spa.pdf](http://www.dpiaca.com/Archivos%20PDF/Presentation_Orbital_Spa.pdf)

*Bastidor de ruedas orbital:* Estructura metálica que deja un hueco en el medio, el cual se monta sobre la tubería, y en el mismo se enlaza el cabezal de soldadura para su desplazamiento a través de ruedas orbitales.

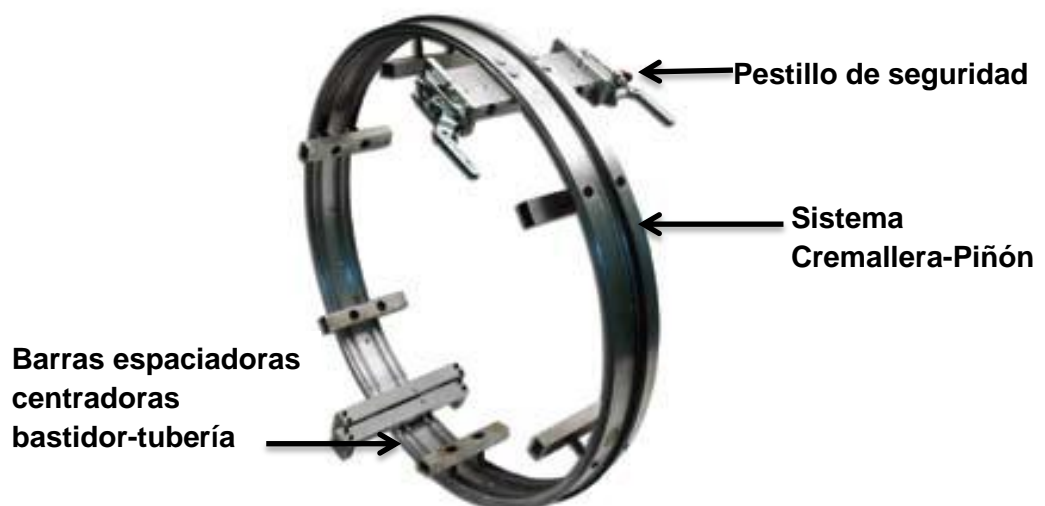


**Figura 12. Bastidor de ruedas orbital.**

Fuente: Maquinas de soldadura Fronius Recuperado:  
[http://www.dpiaca.com/Archivos%20PDF/Presentation\\_Orbital\\_Spa.pdf](http://www.dpiaca.com/Archivos%20PDF/Presentation_Orbital_Spa.pdf)

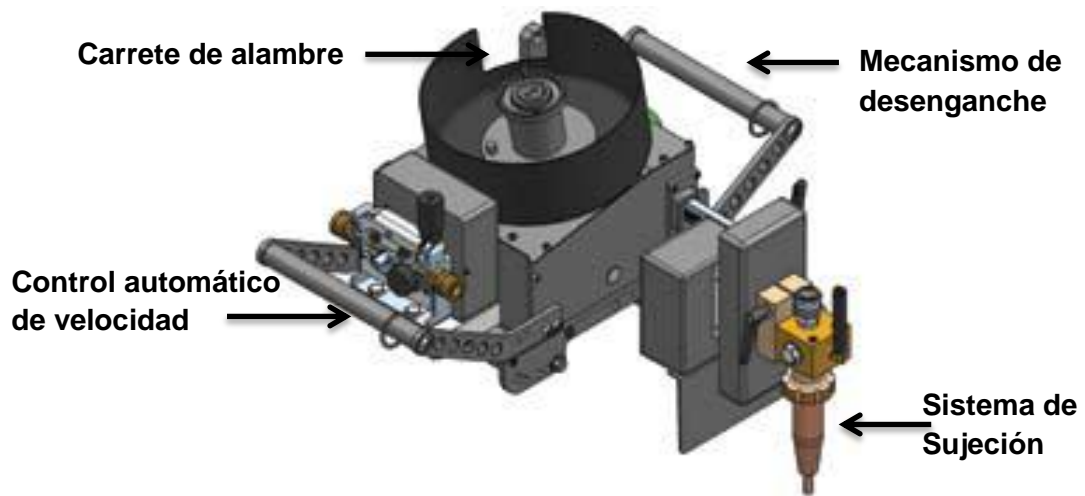
### 2.3.3. Materiales

El material que se utiliza en el diseño del mecanismo de desplazamiento orbital es aluminio rígido en el bastidor como en el cabezal, a continuación se describe las partes básicas de un modelo de desplazamiento orbital:



**Figura 13. Anillo de Sujeción.**

Fuente: Maquinas de Soldadura Bugo System Recuperado:  
[http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus\\_Bro\\_5\\_13\\_1367422655.pdf](http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus_Bro_5_13_1367422655.pdf)



**Figura 14. Cabezal de Soldadura.**

Fuente: Maquinas de Soldadura Bugo System Recuperado:  
[http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus\\_Bro\\_5\\_13\\_1367422655.pdf](http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus_Bro_5_13_1367422655.pdf)

#### **2.4. Infraestructura de software de comunicación**

En la actualidad existen una gran variedad de aplicaciones, que permiten a una computadora y por ende al usuario observar y monitorear diversas variables físicas, el programa de esta clase más famoso se trata de LabVIEW de la Corporación National Instrument.

Existen opciones para que la computadora pueda adquirir información del exterior de esta, consiste en utilizar alguno de los puertos de entrada y salida como lo son: el puerto serial y USB. La forma más común de realizar esto consiste en utilizar un lenguaje de alto nivel, tal como los son C, Java o Delphi.

LabVIEW, es una herramienta de programación gráfica, altamente productiva, para la construcción de sistemas de adquisición de datos,

instrumentación y control. LabVIEW tiene la capacidad de crear una interfaz de usuario que proporcione la interactividad con el sistema.

### 2.4.1. Descripción

LabVIEW se estructura de la siguiente manera:

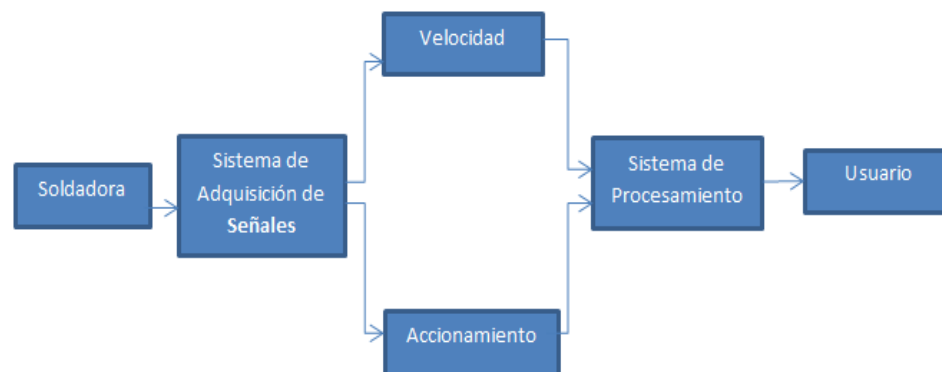
- La interfaz interactiva de usuario de un VI (Virtual Instrument) se llama **Panel Frontal**, debido a que simula el panel de un instrumento físico. El panel frontal puede contener botones, interruptores, pulsadores, gráficas y otros controles e indicadores. Los datos se introducen utilizando el ratón, el teclado, y los resultados se muestran en la pantalla del computador.
- El VI recibe instrucciones de un **diagrama de bloques** que se construye en código G. El diagrama de bloques es la solución gráfica a un determinado problema de programación. Además, el diagrama de bloques es el código fuente del programa
- Los VIs son **jerárquicos y modulares**. Pueden utilizarse como programas de alto nivel o como subprogramas de otros programas o subprogramas. Cuando un VI se usa dentro de otro VI, se denominan subVI. El icono y los conectores de un VI funcionan

como una lista de parámetros gráficos de forma que otros VIs puedan pasar datos a un determinado subVI

### 2.4.2. Arquitectura

Anteriormente se mencionan las tareas básicas que el software de comunicación deberá realizar sin embargo es necesario delimitar cada tarea para facilitar su programación.

De manera inicial el software de comunicación deberá funcionar como una interfaz entre la soldadora y el usuario.



**Figura 15. Diagrama de bloques del sistema de soldadura.**

Fuente: Propia

#### 2.4.2.1. Fundamentos

Con el entorno gráfico de programación de Labview se comienza a programar a partir del panel frontal.

En primer lugar se definirán y seleccionarán de la paleta de controles todos los controles (entradas que dará el usuario) e indicadores (salidas que

presentará en pantalla el VI) que se emplearán para introducir los datos por parte del usuario y presentar en pantalla los resultados.

En la ventana Diagrama (menú Windows > Show Diagram), es donde se realiza la programación propiamente dicha (diagrama de bloques). Se deben ir situando las funciones, estructuras, etc. que se requieran para el desarrollo del programa, las cuales se unen a los terminales mediante cables.

#### **2.4.2.2. Estructura**

Las estructuras se comportan como cualquier otro nodo en el diagrama de bloques, ejecutando automáticamente lo que está programada en su interior una vez tiene disponible los datos de entrada, y una vez ejecutadas las instrucciones requeridas, suministran los correspondientes valores a los cables unidos a sus salidas. Sin embargo, cada estructura ejecuta su sub-diagrama de acuerdo con las reglas específicas que rigen su comportamiento, y que se especifican.

#### **2.4.2.3. Requisitos**

Los requisitos de hardware y software que se utilizará serán de acuerdo a los especificados por National Instruments para la instalación de Labview.



**Tabla 7. Requisitos de Hardware Instalación de Labview.**

Windows		
	Run-Time Engine	Entorno de Desarrollo
<b>Procesador</b>	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4/M o equivalente
<b>RAM</b>	256 MB	1 GB
<b>Resolución de Pantalla</b>	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 7/Vista/XP SP2/Windows Server 2003 R2 (32 bits)/Windows Server 2008 R2 (64 bits)	Windows 7/Vista/XP SP2/Windows Server 2003 R2 (32 bits)/Windows Server 2008 R2 (64 bits)
<b>Espacio en Disco</b>	340 MB	3.3 GB (Incluye controladores predeterminados del DVD de Controladores de Dispositivos de NI)

Fuente: Datasheet de My Daq.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DEL CABEZAL

#### 3.1. Consideraciones de Diseño

En el diseño del prototipo de cabezal se debe tener varias consideraciones imprescindibles para que el diseño cumpla con su funcionalidad a continuación se detalla cada una de ellas:

- *Flexibilidad:* Debe ser adaptable a la tubería, de manera que tenga la facilidad de montaje al sistema, y que permita una estabilidad de posicionamiento en el proceso de soldadura, es decir que no exista desalineamiento durante la trayectoria
- *Grado de interacción:* Que se pretende llegar es básicamente una comunicación donde el usuario indica al computador lo que requiere en este caso tener una velocidad deseada y el computador comunica los resultados. De esta manera lo que se necesita tener es una interfaz humano máquina (HMI), que permita recibir eventos desde el mouse o teclado.
- *Grado de seguridad:* Permite realizar un análisis de seguridad de los elementos que se debería colocar en la máquina, para evitar daños susceptibles que genere la misma, los cuales puedan representar perjuicios a la integridad de los que operan.

- *Portabilidad:* Si bien es necesario movilizar el equipo, se debe tomar en cuenta características de tamaño, peso, material, en la construcción de los mismos, permitiendo de esta manera que los elementos del cabezal sean desmontables ayudando así para su manejo o transporte, dando como resultado ser portable.

Las funciones que debe desarrollar el cabezal de soldadura se detalla a continuación:

- Capacidad de rotación alrededor de los 360° con una velocidad requerida.
- Sistema de sujeción y posicionamiento de la antorcha
- Sistema de sujeción del cabezal hacia el anillo
- Sistema de desplazamiento del cabezal.

### **3.1.1. Análisis de características de máquinas comerciales**

Al realizar un análisis de características de máquinas comerciales se ha tomado tres tipos de máquinas, para lo cual se debe conocer cuáles serían las mejores para poder tener una buena referencia para el diseño del cabezal. Algunas características de estas se detallan a continuación:

- Manejo

El manejo de este tipo de máquinas es sencillo ya que poseen un control remoto llamado 'Pendant' que para un soldador es fácil de operarlo siempre cuando haya tenido una capacitación del equipo, logrando así desarrollar una soldadura de forma segura.



**Figura 16. Control Remoto.**

Fuente: Compañía Magnatech

- Seguridad

En cuanto a la seguridad que presenta las maquinas comerciales contienen una parada de emergencia como seguridad ante cualquier inconveniente presentado.



**Figura 17. Pantalla con Botón de Emergencia.**

Fuente: Compañía Bugo Systems Recuperado:

[http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus\\_Bro\\_5\\_13\\_1367422655.pdf](http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus_Bro_5_13_1367422655.pdf)

- Materiales

Las maquinas se encuentran construidas de varios tipos de materiales, para las rieles o anillo de sujeción utilizan aluminio, acero, y acero inoxidable, en cuanto a los cabezales están diseñados con acero, dichos materiales con sus acabados permiten soportar las condiciones de resistencia, humedad, salpicaduras de suelda.



**Figura 18. Riel-Anillo de Bugo System**

Fuente: Compañía Bugo Systems Recuperado:  
[http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus\\_Bro\\_5\\_13\\_1367422655.pdf](http://www.bugo.com/administrator/files/downloadables/Piper-Plus_Bro_5_13_1367422655.pdf)

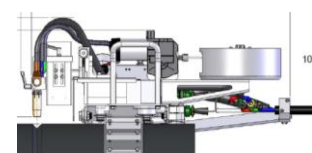
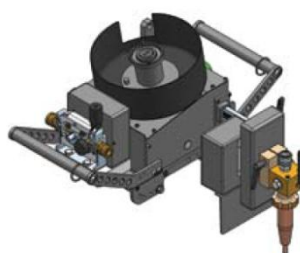
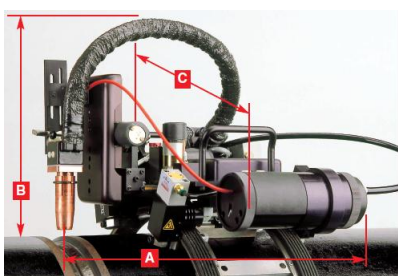
Para completar el análisis se ha realizado una recopilación de características entre varias marcas comerciales que se encuentran en el mercado, a continuación se describe:

**Tabla 8. Características de Maquinas Comerciales**

Características	Cabezal		
	Magnatech	Bug-o System	Gulco Pipe Kat
<b>Fuente de Alimentación</b>	120/240 VAC	120/240 VAC/50/60/1	115/230 VAC
<b>Carrete de Alambre</b>	No Incluye	5 Kg (10 lb.)	4,5 kg (10 lb.)
<b>Brazo para movimiento</b>	Opcional	Incluido	Incluido

### angular de torcha.

<b>Velocidad Lineal</b>	0 - 76,2cm/min. (30ipm)	0 - 2000mm/min (0-80 ipm <sup>1</sup> ), +/- 1%	5,6 – 1016mm/min (2,2 – 40 ipm)
<b>Velocidad de alimentación del alambre</b>	0.5 – 22cm/min (20-866 ipm)	125 – 1150 mm/min (50-450ipm), +/- 1%	88 – 1608 mm/min (36-633 IPM)
<b>Rango de tamaño de alambre</b>	0,8 – 1,6mm (0,03” – 0,62”	0,9 – 1,6 mm (0,035 – 1/16”)	0,8 – 1,6 mm Estándar 1,2 mm



	Riel o Anillo		
Características	Magnatech	Bug-o System	Gulco Pipe Kat
<b>Separadores riel -tubería</b>	Barras cuadradas de 50mm, 25mm Barra solida de 3-12mm	Barras cuadradas de 50mm.	Barras solidas de 25,4mm
<b>Tipos de sujeción riel/anillo</b>	Sujeción del riel por medios magnéticos o de vacío.	Abrazadera y separadores regulables	Bisagra
<b>Tipos de transmisión cabezal</b>	Neumático - Bandas	Piñón-cremallera	Piñón. Cremallera
<b>Material de la riel</b>	Aluminio	Aluminio Rígido Acero Inoxidable	Acero

Fuente: Recopilación de Datasheet de máquinas comerciales

Una vez que se conoce características de máquinas comerciales se definirá las mismas para este caso:

<sup>1</sup> Ipm: inches por minuto

**Tabla 9. Característica para el Prototipo**

<b>Prototipo de Cabezal</b>	
<b>Características</b>	
<b>Fuente de Alimentación</b>	120 VAC
<b>Carrete de Alambre</b>	No incluye
<b>Brazo para movimiento angular de torcha.</b>	90° Manual
<b>Velocidad Lineal</b>	7 – 53 cm/min. (3-20 ipm)
<b>Desplazamiento horizontal antorcha</b>	60 mm
<b>Desplazamiento vertical antorcha</b>	60 mm
<b>ANILLO</b>	
<b>Separadores riel -tubería</b>	Barras cuadradas
<b>Tipos de sujeción riel/anillo</b>	Pernos regulables
<b>Tipo de Transmisión cabezal</b>	Cadena
<b>Material de la riel</b>	Aluminio

Fuente: Propia

Para tener las características antes mencionadas se agrupara el diseño de los elementos que conformaran el prototipo de cabezal, así se tendrá los siguientes:

- Fuente de alimentación de 24V- 8A.
- Control de velocidad con realimentación
- Sistema motriz de desplazamiento rotacional
- Sistema de posicionamiento y sujeción de la antorcha
- Sistema de sujeción del cabezal hacia riel-anillo
- Sistema Guía para el cabezal

### **3.1.2. Análisis de alternativas para la soldadura**

Una vez conocidas las características se puede plantear las mejores alternativas de los diferentes tipos de soldadura para FCAW. Se realizará

un análisis de energía generada por los dos tipos de soldadura que tiene este proceso, esto permitirá seleccionar el mejor proceso de soldadura más idóneo para la tubería.

Para realizar el análisis se debe tomar en cuenta las características eléctricas que tiene el arco eléctrico, una de ellas es el aporte térmico que entregara.

El incremento del aporte térmico está dado por las siguientes ecuaciones (ASMEIX, 2010)

1. Aporte Térmico [J/in. (J/mm)]

$$\text{Aporte Térmico} = \frac{\text{Voltaje} * \text{Corriente} * 60}{\text{Velocidad de desplazamiento [in./min]}}$$

**Ecuación 3.1.**

2. Aporte térmico se puede determinar utilizando la energía o potencia instantánea para las mediciones de energía instantáneas en julios (J)

$$\text{Aporte Térmico} = \frac{\text{Energía (J)}}{\text{Longitud Cordón de Soldadura [in. (min)]}}$$

**Ecuación 3.2.**

Para obtener la energía desarrollada se iguala las dos ecuaciones, para despejar la misma, como resultado se obtiene la siguiente ecuación

$$\text{Energía} = \frac{\text{Voltaje} * \text{Corriente} * 60}{\text{Vel.Desplazamiento [in./min]}} * \text{Longitud Cordón de Soldadura[in. (min)]}$$

**Ecuación 3.3.**



Para conocer la variación del aporte térmico entre estos dos procesos se toma los valores del datasheet de los alambres que utilizan gas así como el autoprotegido de Lincoln.

Se notara que los alambres autoprotegido trabajan en un rango menor de voltaje con respecto a los alambres con protección gaseosa. (Anexo 2).

**Tabla 10. Parámetros de Electrodo para Cálculo de energía**

<b>Electrodo</b>	<b>E71T-11 ø 0,045 in</b>	<b>E71T-1 ø 0,045 in</b>
	Autoprotegido (FCAW-S)	Gas de Protección (FCAW-G)
<b>Voltaje</b>	16 V	23,5
<b>Amperaje</b>	120 A	125 A
<b>Velocidad de Desplazamiento</b>	5 in/min	5 in/min
<b>Longitud de cordón de soldadura</b>	12,5 in	12,5 in
<b>Energía</b>	288000 J	440625 J

Fuente: Características de Datasheet Alambres Anexo 2

Según los resultados obtenidos se puede dar un criterio sobre los mismos.

### **3.1.2.1. Alternativa con soldadura de proceso FCAW-G con protección gaseosa**

La energía radiante total producida por el proceso FCAW es alta debido a su alta energía de arco. En general, las mayores intensidades de energía radiante ultravioleta se producen cuando se utilizan mezclas de gas de protección argón. (Society, 2007)

Por otra parte el uso de un escudo de gas auxiliar permite al diseñador de alambre concentrarse en las características de rendimiento, la tolerancia,

la capacidad de proceso de posición y las propiedades mecánicas de los productos. En un alambre con núcleo de fundente, la funda de metal es generalmente más delgado que el de un alambre autoprotegido.

La tasa de deposición es mayor con protección gaseosa, se puede verificar comparando con los datasheet de los electrodos.

En cuanto a la energía desarrollada en el proceso, se puede verificar que este proceso con gas genera mayor energía con respecto al innershield, debido que se configura con más voltaje, el proceso.

#### **3.1.2.2. Alternativa con soldadura de proceso FCAW-S autoprotegido**

También llamado 'Innershield' este tipo de proceso utiliza electrodos que se puede utilizar en velocidades de hasta 30 mph sin perder las características mecánicas. (LINCOLN, 1995)

Para la utilización de este tipo de proceso no se necesita tanque de gas, tiendas de campaña para mantener el viento lejos permitiendo ahorrar costos laborales, en cuanto al alambre es rígido de alta resistencia al pando, en cuanto a la funda de metal es más delgado que el de protección gaseosa, la funda de fundente proporciona un flujo de gas suficiente para proteger el baño de fusión, suministrando de-oxidantes y formadores de nitruro que hacen frente a la contaminación atmosférica

La energía desarrollada en este caso es mucho menor que la energía que genera el proceso con protección gaseosa, debido que consume menos voltaje, y amperaje en el proceso.

Para la elección del proceso de soldadura se ha analizado las características de cada uno, de manera que contemple las expectativas del prototipo, se dará una valoración cuantificable que va desde 1 equivalente a una calificación de Totalmente en desacuerdo, hasta 5 equivalente a una calificación de Totalmente de Acuerdo. A continuación se presenta una tabla de elección que muestra los parámetros considerados para cada alternativa y la ponderación que se dio.

Valoración de parámetros para la elección del proceso más eficiente

1: No aplicable

3: se considera aceptable

5: Optimo

**Tabla 11. Parámetros de elección Tipo de Proceso FCAW**

Parámetros de elección	Alternativa	
	FCAW-G	FCAW-S
Aporte de material	5	3
Energía Generada	3	5
Trabajo de campo	1	5
Costo	3	5
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>18</b>

Fuente: Propia

La elección del tipo de proceso es FCAW- S debido que si se trabaja en campo es más factible trabajar con este tipo de proceso, en cuanto al FCAW-G quedaría para trabajos en taller debido que tiene tanque de gas.

### **3.1.3. Análisis de alternativas de mecanismos para Sistema motriz de desplazamiento orbital.**

Esencialmente hay dos mecanismos para el desplazamiento orbital, los cuales se nombra a continuación:

#### **Cadenas**

Los sistemas de transmisión por cadena se emplean para transmitir movimiento entre dos ejes paralelos que se encuentran alejados entre sí, aunque las diferentes configuraciones de los elementos que la componen, pueden hacer variar la función final del sistema, es decir, el sistema puede tener como finalidad transmitir movimiento entre dos ejes, servir como sistema de elevación o como sistema de transportadores.

Los dientes de las ruedas dentadas evitan que la cadena se resbale. Esta condición les da más capacidad de transmisión y las hace más confiables.

#### Ventajas

- El sistema de transmisión por cadena, tiene la capacidad de transmitir movimiento a una considerable distancia entre ejes, esta condición se logra dado que las cadenas pueden tener longitudes variables, es decir su longitud puede variar mediante la adición o eliminación de eslabones.
- Con los sistemas de transmisión por cadenas se pueden obtener rendimientos elevados del orden del 98%, dado que se excluyen problemas de deslizamiento entre los componentes del sistema.

- En este tipo de sistemas no existe tensión previa, por lo que la carga en los árboles es menor que en el caso de sistemas de transmisión por correas.
- Con el sistema de transmisión por cadenas se puede transmitir rotación a varios árboles o ejes con una misma cadena.

### Limitaciones

- Un elevado costos de sus componentes y más cuando se requieren materiales o tratamientos especiales para evitar el desgaste de los componentes o se emplean en ambientes especiales.
- Se requieren montajes precisos con el objetivo de evitar que alguna de las caras de la cadena se someta a cargas superiores y falle por fatiga anticipadamente, es decir se afecte la vida útil de los componentes.
- Se requieren prácticas de mantenimiento minuciosos y procesos de lubricación.
- Presentan pequeñas aceleraciones verticales debido a la variación de radio de la catalina hacia el centro del rodillo del eslabón.
- Mayor costo.
- Más ruidosas.

Por otra parte, existen las aceleraciones verticales porque en realidad la cadena brinca a causa de la variación de radio, para disminuir se debe aumentar el número de dientes, con lo que se reduce la acción de cuerda,

que llega a ser casi despreciable cuando hay 25 dientes o más. Con velocidades muy baja, el número recomendado de dientes en la rueda de cadena más pequeña es  $N_{min}=12$ ; para velocidades bajas,  $N_{min}=17$ ; para velocidades moderadas,  $N_{min}=21$ ; para velocidades altas,  $N_{min}=25$ ; para transmisiones de velocidad creciente,  $N_{min}=23$ . (Faires., 1987)

### **Piñón Corona**

Este sistema de transmisión de movimiento está constituido por el acoplamiento, diente a diente, de dos ruedas dentadas, una motriz y otra conducida. A la mayor se le llama corona y a la menor piñón.

#### Ventajas

- Los engranes proporcionan a las máquinas una graduación utilizable de relaciones de velocidad.
- Permiten grandes transmisiones de potencia como de movimiento desde el eje de una fuente de energía hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo sin pérdidas de energía.
- Es un sistema simple, lo que significa que hay menos piezas que fallan o necesitan reparación.
- Los principios utilizados en este tipo de sistemas son fáciles de modificar para el uso en un estante de la energía y el sistema de piñón.
- Resistencia al calor

### Limitaciones

- No pueden transmitir potencia entre distancias grandes entre centros para estos casos se utiliza poleas o cadenas.
- Costo elevado comparado con los otros tipos de transmisión por cadenas y las poleas.
- Presión sobre los cojinetes, que tiende a separar los dos elementos, rueda y piñón.
- La transmisión produce más ruido.

Para la elección del sistema motriz se ha buscado una solución óptima, que contemple las expectativas del prototipo, para lo cual se ha decidido evaluar cada una de las alternativas teniendo en cuenta ventajas y desventajas de las mismas, dando una valoración cuantificable que va desde 1 equivalente a una calificación de Totalmente en desacuerdo, hasta 5 equivalente una calificación de Totalmente de Acuerdo. A continuación se presenta una tabla de elección que muestra los parámetros considerados para cada alternativa y la ponderación que se dio.

Valoración de parámetros para la elección del sistema más eficiente

1: No aplicable

3: se considera aceptable

5: Optimo

Tabla 12. Parámetros de elección para Sistema Motriz

Parámetros de elección	Alternativa de Sistema Motriz	
	Cadena	Piñón –Corona
Flexibilidad longitudinal	5	1
Lubricación	3	3
Superficie de contacto	5	5
Temperatura	5	5
Alineación	3	3
Costo	5	1
Transmisión de Movimiento	5	5
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>23</b>

Fuente: Propia

Como se muestra los resultados el valor predominante es el sistema por cadena con 29 puntos, se debe a que los costos para la construcción son mucho menores con respecto al sistema por piñón-corona.

### 3.2. Diseño del sistema motriz desplazamiento rotacional.

Con las consideraciones anteriormente presentadas de los distintos mecanismos para el desplazamiento orbital, el sistema motriz del prototipo de cabezal será movilizadо alrededor de la tubería a través de un sistema de desplazamiento por cadena, que será impulsado por un actuador, el cual llevara consigo el soporte para la pistola y la base de ruedas guías.

Para diseñar el sistema se debe conocer rangos de velocidad angular aceptables para el movimiento, pares de torsión requeridos para mover el cabezal y velocidad lineal el control de velocidad propuesto. Para comenzar



con el diseño del mecanismo de desplazamiento se debe conocer el torque necesario para vencer la inercia total a imponerse en el movimiento y en la posición más crítica.

Primero se define el diámetro del eje para consecuentemente obtener su inercia correspondiente. Debido al espacio reducido que se tiene se seleccionó un diámetro de eje de 10mm, de longitud (L) 200mm el mismo tiene una masa (M) de 0,12Kg este valor se obtuvo a través de las propiedades del programa Solid Works aplicando en la propiedad material un acero al carbono. Entonces como el eje es una barra solida el momento de inercia para el mismo está dado por la ecuación:

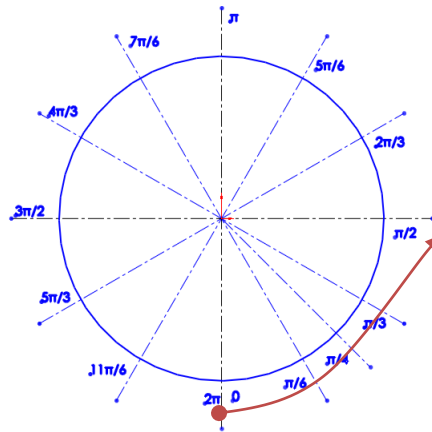
$$I_{eje} = \frac{1}{3} mL^2 [Kg mm^2]$$

**Ecuación 3.4.**

Aplicando los valores dados anteriormente se obtiene una inercia de:

$$I_{eje} = 1626 [Kg mm^2]$$

Como segundo paso se debe calcular la aceleración angular, para obtener posteriormente encontrar el primer par de torsión del eje ( $T_e$ ).Entonces la posición angular ( $\theta$ ) más crítica del cabezal es en  $\pi/2$  o  $90^\circ$  valor tomado desde la parte inferior como indica la figura 3.4.



**Figura 19. Distribución de la tubería.**

Fuente: Propia

La velocidad lineal ( $V$ ) que se debe tener es de 3IPM como se estableció en la tabla 3.2 (características del prototipo), para obtener la velocidad angular ( $\omega$ ) se plantea lo siguiente:

$$V = \frac{x}{t} \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

Donde  $x$  es el desplazamiento,  $t$  el tiempo,  $p$  paso/avance, si

$$x = p * \theta \quad \text{Ecuación 3.6.}$$

Entonces se reemplaza la ecuación 3.6. en la ecuación 3.5. , y como la velocidad angular es igual al desplazamiento angular dividido para el tiempo, se tiene la siguiente fórmula para obtener  $\omega$

$$\omega = \frac{V}{p} \quad \text{Ecuación 3.7.}$$

El paso/avance es de 12,7 mm la elección de este paso se explica en el numeral 3.2.1.1. Reemplazando valores se obtiene una velocidad angular

igual a 0,1rev/s, una vez que se tiene este valor, se plantea la siguiente ecuación para obtener la aceleración angular:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 * \alpha * \theta \quad \text{Ecuación 3.8.}$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular,  $\omega_0$  es la velocidad angular inicial en este caso es cero,  $\alpha$  es la aceleración angular, variable a encontrar, finalmente  $\theta$  es la posición angular, aplicando valores se obtiene

$$\alpha = 0,003 \text{ rev/s}^2$$

Como se tiene los valores requeridos para el cálculo del par de torsión, se aplica la ecuación

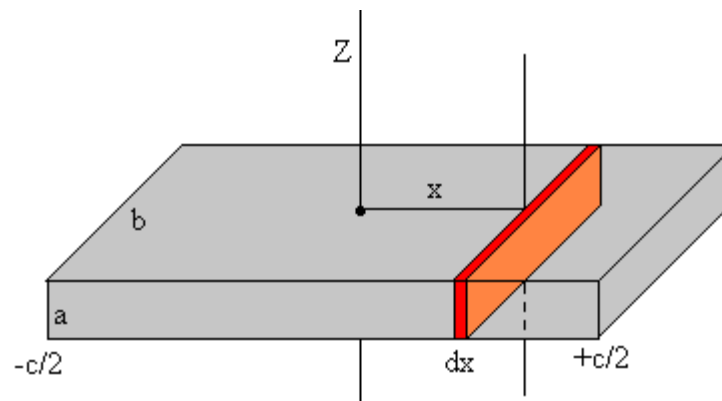
$$T = I * \alpha \quad \text{Ecuación 3.9.}$$

Se obtiene que el par de torsión del eje es  $T_e = 4,9 \text{ [N mm]}$

Como tercer pasó se debe calcular el momento de inercia del cabezal, el cual se le asimilara a una figura geométrica para obtener el mismo, la figura es un prisma rectangular.

La forma del prisma rectangular para obtener el momento de inercia viene dado por la ecuación 3.10. :

$$I_x = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2) \quad \text{Ecuación 3.10.}$$

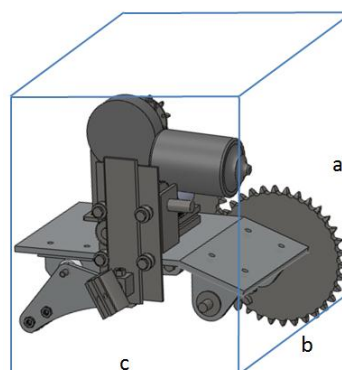


**Figura 20. Forma Prisma Rectangular.**

Fuente: Calculo de momento de inercia Recuperado:  
[http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din\\_rotacion/inercia/inercia.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/inercia/inercia.htm)

Entonces se tiene los valores de masa total que es igual a 7,0 Kg del cabezal, valor obtenido desde SolidWorks aplicando los materiales respectivos a cada componente, más 6 Kg de la antorcha dando un valor de 13,0 Kg total.

Los valores del cabezal están dados por la siguiente figura



**Figura 21. Prototipo de Cabezal.**

Fuente: Propia

B = ancho cabezal= 320 mm

C = largo cabezal= 280 mm

Se aplica la fórmula de inercia y se obtiene el siguiente valor

$$I_{cabezal} = 199166 [Kg mm^2]$$

El valor obtenido del momento de inercia servirá para calcular el par de torsión ( $T_c$ ) que consumirá el mecanismo, Aplicando valores a la ecuación 3.9. , se obtiene que  $T_c$  es igual a 1254 [N mm]. El par de torsión total ( $T_t$ ) es igual al par de torsión del eje más el par de torsión del cabezal.

$$T = T_e + T_c \quad \text{Ecuación 3.11.}$$

$$T_t = 1259 [N.mm]$$

Una vez obtenido el par de torsión total (torque) se procede a elegir el actuador que cumpla con el valor requerido.

### 3.1.1. Elección Motor DC

La elección del motor DC se encuentra hecho debido que se utilizara elementos disponibles en taller, lo que se realizara es la verificación de torque entregado por el mismo, de manera que satisfaga con el torque requerido.

Sin embargo se debe también tomar en cuenta la velocidad requerida, la corriente de arranque para concluir que el motor es el adecuado.

El motor disponible, para generar el movimiento del cabezal, es un motor de DC de imán permanente a continuación se muestra las características del mismo.

**Tabla 13. Características Motor.**

Corsa 1		
Características		Unidad
Alimentación motor	24 D.C.	Voltaje (V)
Absorción	0,6	Amperios (A)
Potencia (W)	70	Wattios (W)
Intermitencia funcionamiento (%)	Servicio intensivo	-----
Empuje max (Kg)	75	Kilogramos (Kg)
Temperatura de funcionamiento	-20 +55	Celsius (°C)
Velocidad de giro	190	rpm

Fuente: Etiqueta Motor

Entonces como se conoce que la *Potencia = Fuerza \* Velocidad*

Para un sistema rotacional que es el caso la Fuerza se reemplaza por el par de torsión T en [in-lb] o [N-mm] dividido para un radio r en [in] o [mm].

$$F = \frac{T}{r} \text{ Ecuación 3.12.}$$

Para una flecha o eje giratorio, la velocidad V en m/s está dada por

$$V = \frac{2 \pi r n}{60 \times 1000} \text{ Ecuación 3.13.}$$

Donde r radio en [mm] y n representa la velocidad en [rev/min]

$$P[kW] = \frac{1}{1000} \times \frac{T}{r} \times \frac{2\pi r n}{60 \times 1000} \quad \text{Ecuación 3.14.}$$

$$P[kW] = \frac{Tn}{9,550,000} \quad \text{Ecuación 3.15.}$$

Dada esta fórmula se reemplaza valores para obtener el par de torsión:

$$T_m = 3518 [Nmm]$$

Como se nota el  $T_m > T_t$ , se concluye que el motor DC es adecuado para la aplicación realizada.

### 3.2.1.1. Análisis de movimiento

Una vez que se conoce las características del motor se verifica que la velocidad requerida a la salida debe estar en un rango de 20 a 2 rpm, en cuanto el motor proporciona una velocidad de 190rpm, para obtener el máximo valor del rango, se deberá aplicar un sistema de reducción de velocidad.

La transmisión de cadena de rodillos, cuyas partes principales están designadas en la siguiente figura.

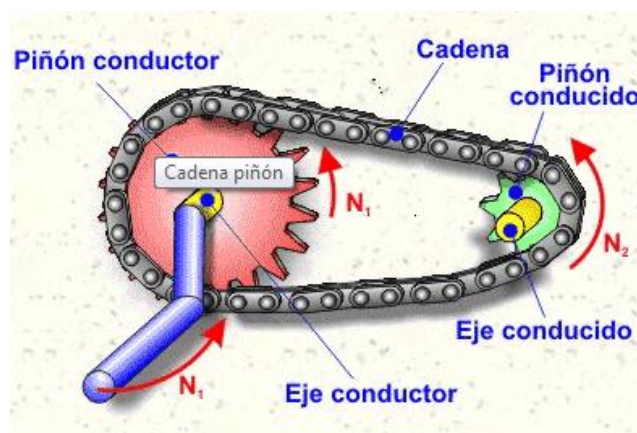
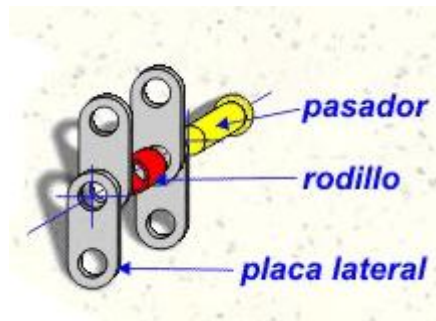


Figura 22. Sistema de Transmisión.

Fuente: Cadena- Piñón. Recuperado de:  
[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinion.htm)



**Figura 23. Estructura del eslabón de cadena.**

Fuente: Cadena- Piñón. Recuperado de:  
[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinion.htm)

Las fuerzas actuantes sobre la cadena son casi las mismas que en las otras transmisiones, fuerza de fricción, fuerzas centrífugas, tensión bajo la cual se encuentra la cadena, fuerza normal de contacto.

El objetivo del sistema engrane-cadena es transmitir una rotación entre dos ejes con una relación de velocidades que pueden dar como resultado un sistema reductor. Así, se habla de par de engranajes, formado por dos ruedas dentadas y una cadena de eslabones articulados. Los engranajes giran los dos en el mismo sentido. Se utiliza para transmitir el movimiento entre ejes paralelos lejanos. La relación viene dada por la siguiente ecuación:

$$R_v = \frac{(n^\circ \text{ dientes engrane motor})}{(n^\circ \text{ dientes engrane arrastrado})}$$

Si la relación de velocidades es menor que 1 ( $R_v < 1$ ) resultar lo más habitual, un mecanismo reductor, caso contrario será un mecanismo multiplicador.



Para la relación de velocidades valen todas las ecuaciones deducidas para las poleas o para las ruedas dentadas, sin más que sustituir el diámetro de las poleas por el número de dientes de los piñones, así se cumple:

$$N_1 \times D_1 = N_2 \times D_2 \text{ Ecuación 3.16.}$$

$D_1$ : *Nº dientes piñon conductor*

$D_2$ : *Nº dientes piñon conducido*

$N_1$ : *velocidad de giro piñon conductor*

$N_2$ : *velocidad de giro piñon conducido*

Entonces para tener la velocidad requerida en la salida se debe realizar doble reducción de velocidad, por lo tanto se aplica la relación mencionada anteriormente para la primera reducción, dando como resultado:

$$190 \text{ rpm} * 8 \text{ dientes} = N_2 * 19 \text{ dientes}$$

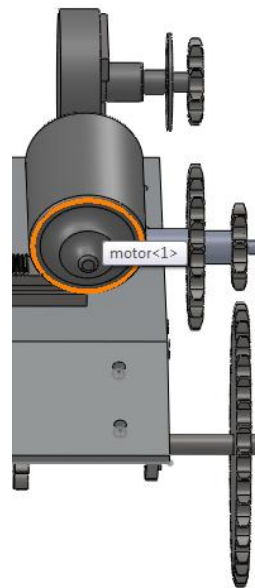
$$N_2 = 80 \text{ rpm}$$

La velocidad de salida viene dada al aplicar la segunda reducción con los respectivos valores de relación.

$$80 \text{ rpm} * 9 \text{ dientes} = N_4 * 34 \text{ dientes}$$

$$N_4 = 21 \text{ rpm}$$

El sistema de reducción quedaría como se muestra en el siguiente grafico



**Figura 24. Esquema de Sistema de Reducción**

Fuente: Propia

En cuanto a la cadena de rodillos se caracteriza por su paso, que es la distancia entre las partes correspondientes de eslabones adyacentes. Para ilustrarlo, se suele indicar el paso como distancia entre centros de pernos adyacentes.



cadena paso 35 --- 3/8"

**Figura 25. Cadena de rodillos paso 35.**

Fuente: Catalogo YUK 2012

La cadena de rodillos estándar tiene designación de tamaño del 25 al 240.

Se eligió el número de cadena 40 debido que es de menor paso  $\frac{1}{2}$  pulgada, que existe comercialmente en la industria nacional para la adquisición de componentes. Lo ideal para el desarrollo hubiese sido una cadena número 25 con paso de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, comercialmente no se tiene en el país, adicionalmente el presupuesto asignado no facilita para su importación, por tal motivo se descarta esta opción.

**Tabla 14. Características Cadena de Transmisión.**

Cadena 428 H	
<b>Paso (P)</b>	12,70 mm (1/2")
<b>Diámetro del rodillo</b>	8,51 mm
<b>Profundidad placa interior</b>	12,00 mm
<b>Resistencia a la tracción</b>	20,60 KN
<b>Promedio resistencia a la tracción</b>	21,50 KN
<b>Peso por metro</b>	0,79 Kg/m

Fuente: Datasheet Cadena

La longitud de la cadena debe ser un múltiple entero del paso, y se recomienda tener un número par de pasos. La distancia entre centros debe ser ajustable para adaptarse a la longitud de la cadena, y para adaptarse a las tolerancias y al desgaste. Debe evitarse un colgamiento excesivo del lado flojo, en especial en transmisiones que no sean horizontales. La distancia entre centros (C) es de 5 pasos la primera reducción, 8 pasos la segunda reducción, longitud de cadena (L) por calcular, cantidad de dientes de la catarina pequeña ( $N_1$ ), 8 y 9, número de dientes de la catarina grande ( $N_2$ ) 19 y 34, expresada en pasos de cadena, es

$$L = 2C + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C}$$

La distancia entre centros para determinada longitud de cadena, también en pasos, es

$$L_1 = 24 \text{ pasos} = 24(12,7\text{mm}) = 305\text{mm}$$

$$L_2 = 38 \text{ pasos} = 38(12,7\text{mm}) = 480\text{mm}$$

El diámetro de paso de una catarina con N dientes, para una cadena de paso  $p$ , es

$$D = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180}{N}\right)}$$

Entonces si se utiliza los siguientes engranes se tiene una tabla de diámetros de paso:

**Tabla 15. Diámetro de Paso de Engranes**

	Numero de dientes	Paso (mm)	Diámetro de Paso (mm)
1	8	12,7	33,186
2	19	12,7	77,159
3	9	12,7	37,132
4	34	12,7	137,642
5	16	12,7	65,098

Fuente: Propia

### 3.2.1.2. Cálculo de velocidad de avance orbital

Para el cálculo de la velocidad de avance orbital se debe conocer la velocidad de la cadena de la segunda reducción.

La velocidad de la cadena (Shigley-Mischke) en pies por minuto es

$$v_c = \frac{Np n}{12} \text{ (ipm)}$$

Dónde:

$N$  = número de dientes de la catalina

$n$  = velocidad angular catalina, rpm

$p$  = paso de la cadena, pulg

$$v_c = \frac{(34) * \left(\frac{1}{2}''\right) * (21 \text{ rpm})}{12}$$

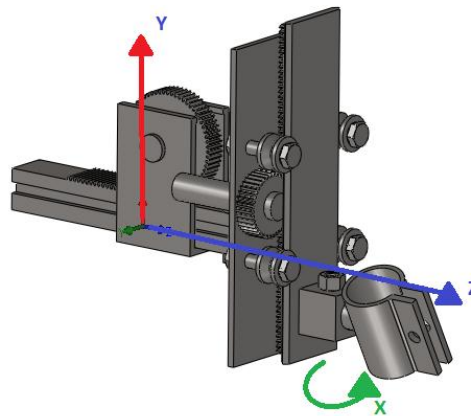
$$v_c = 29,75 \text{ ipm}$$

A partir de este valor se toma como referencia para realizar el control de velocidad.

### 3.3. Diseño del sistema de sujeción antorcha

Para el diseño del sistema de sujeción se necesita conocer los grados de libertad que va a tener el sistema, así como también el largo a desplazarse según la dirección que se necesite, como parámetro secundario se debe tener como referencia el tipo de pistola a utilizar, de manera que se adapte al sistema que se desarrollará.

Según lo planificado se diseñara un sistema de sujeción de tres grados de libertad, como vertical (eje y), horizontal (eje z), rotacional (eje x).



**Figura 26. Sistema de Sujeción de la Antorcha.**

Fuente: Propia

**Tabla 16. Valores especificados para desplazamiento de la Antorcha**

Eje	Distancia a desplazarse	Punto de referencia
Horizontal (Eje Z)	60,5 mm	Sujetador pistola
Vertical (Eje Y)	75,5 mm	Sujetador Pistola
Rotacional (Eje X )	90 °	Sujetador pistola

Fuente: Propia

En el horizontal, se colocara cremallera-piñón para tener mejor alineación al momento de soldar, en la parte vertical se colocara cremallera-piñón para variar la altura de la boquilla hacia la tubería, para darle un ángulo de rotación se colocara un eje con el sujetador de boquilla.

Como primer paso para el diseño se debe calcular la carga tangencial sobre el diente del piñón/cremallera y la velocidad de desplazamiento que en este caso es mínima.

Con estos datos se puede seleccionar el modulo apropiado para la transmisión, se tiene que tomar en cuenta que los datos calculados son

teóricos, valido para mecanismos que no tengan choques, rigidez, o alineamiento perfecto sin errores en el mecanizado. Para no dejar pasar esto en alto se debe aplicar un factor de servicio que oscila entre 1,5 a 3 de acuerdo al tiempo de utilización del mecanismo y el tipo de carga con que funciona la misma.

**Tabla 17. Factor de Servicio**

Tiempo de Trabajo	Tipo de carga		
	Uniforme	Moderada	Pesada
Ocasional (1/2 hora)	1,5	1,8	2,3
Intermitente (3 horas)	1,8	2	2,5
8-10 horas	2	2,25	2,8
24 horas	2	2,5	3

Fuente: Diseño de elementos Mott

Se calcula la carga total teórica con la siguiente formula (Mecánica)

$$F_{ct} = P * (9,81 + a)$$

Donde

$$P = \text{Masa a trasladar} [Kg]$$

$$a = \text{aceleración lineal} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

En cuanto a la carga total corregida está dada por

$$F_{cc} = F_{ct} * K$$

Donde

$$K = \text{factor de servicio}$$

Para comenzar se requiere el cálculo de las cargas para lo cual se debe conocer la masa a trasladar, a continuación se muestra la tabla:

**Tabla 18. Masa a Trasladar por el sistema de sujeción**

Masa a trasladar	
Soporte vertical	1,0 Kg
Soporte boquilla	0,50 Kg
Antorcha	9,00 Kg
<b>Masa Total (P)</b>	<b>10,50 Kg</b>

Fuente: Propia

La aceleración es mínima se tomara un valor referencial de  $0,25 \text{ m/s}^2$ .

Entonces la carga total es:

$$F_{ct} = 10,50 \text{ [Kg]} * (9,81 + 0,25)$$

$$F_{ct} = 105,63 \text{ N}$$

El factor de servicio que se aplica para el caso es de 1,8; debido que es una carga uniforme con tiempo de trabajo intermitente aplicable en un movimiento utilizado por motor eléctrico.

$$F_{cc} = 1,8 * 105,63$$

$$F_{cc} = 190,13 \text{ N}$$

La carga tangencial  $W_t$  está dada por:

$$W_t = F_{cc} * \cos \varnothing$$

Donde  $\varnothing$  es igual a  $20^\circ$  debido que el piñón posee este ángulo de presión

$$W_t = 178,66 \text{ N}$$



La carga tangencial calculada es la que soportara un diente; con referencia al material que se utilizara esta carga es pequeña con respecto a la resistencia que ofrece el material.

También se debe tomar en cuenta el avance que debe tener la antorcha para facilitar la alineación del alambre con respecto a la probeta diseñada.

Para obtener un avance mínimo se puede calcular el paso circular a través de

$$p = \pi * m$$

Siendo  $m = \text{modulo}$

Se realiza una tabla para calcular el paso mínimo con módulos existentes.

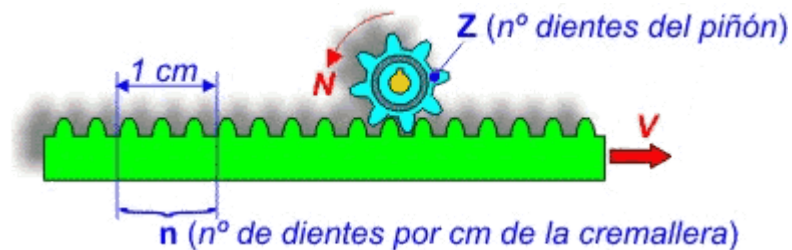
**Tabla 19. Módulos- Paso circulares para cremallera.**

Modulo	Paso circular	Unidades
0,75~0,8	2,35	mm.
1	3,16	mm.
1,25	3,93	mm.

Fuente: Propia

Entonces para obtener el avance mínimo que vendría a ser el paso circular, se selecciona el módulo 0,75 ya que se obtuvo el valor 2,35mm, a partir de este valor se diseña la cremallera para el desplazamiento horizontal.

Para conocer cuántos dientes se tiene en un centímetro se divide 10mm para el paso que el caso es de 2,35mm dando como resultado 4 dientes por centímetro



**Figura 27. Sistema de Piñón - Cremallera.**

Fuente: Cremallera-Piñón Recuperado de:

[http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cremallera-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinion.htm)

Por cada vuelta completa del piñón la cremallera se desplazará avanzando tantos dientes como tenga el piñón. Por tanto se desplazará una distancia:

$$d = z/n$$

Donde

$d$  = distancia desplazada por la cremallera

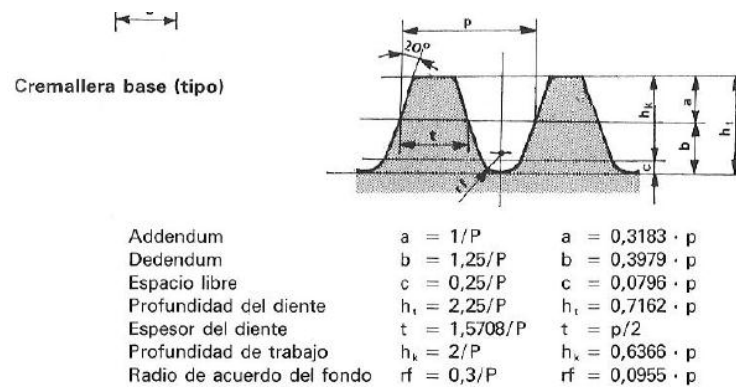
$z$  = numero de dientes del piñon

$n$  = nº de dientes por cm de la cremallera

Dando como resultado

$$d = \frac{39}{4} = 9,75\text{ cm}$$

Para la fabricación de la cremallera se debe conocer las formulas siguientes figura 3.13:



**Figura 28. Parámetros de Calculo cremallera.**

Fuente: Prontuario de máquinas. N. Larburu. Pág. 327

Los valores que se debe conocer para el diseño de las cremalleras se especifican en la siguiente tabla donde se aplicaron los valores respectivos a las formulas mencionadas anteriormente.

**Tabla 20. Valores para cada diente de la Cremallera**

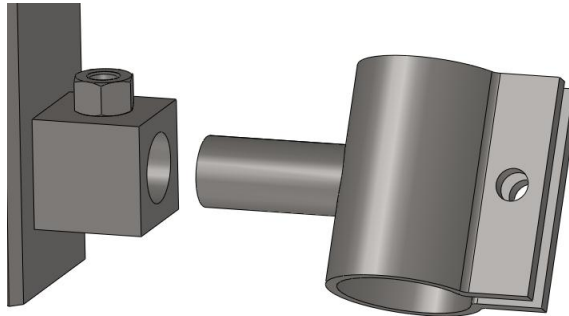
Variable	valor	unidad
Addendum	0,425	Mm
Dedendum	0,531	Mm
Espacio Libre	0,106	Mm
Profundidad del diente	0,957	mm
Espesor del diente	0,668	Mm
Profundidad de trabajo	0,851	Mm
Radio de acuerdo del fondo	0,127	Mm

Fuente: Propia

La distancia que se desplazará, se encuentra en un rango variable de 0-60,5 mm, en cuanto al piñón no da una vuelta completa.

Para el movimiento vertical se coloca una cremallera-piñón con paso de 2,35 mm de avance con un rango de variación en altura de 75,5mm.

En el movimiento para que gire la antorcha y tome un ángulo se coloca un eje con un bocín y prisionero para sujeción.



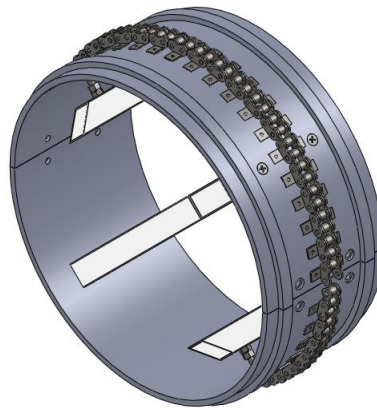
**Figura 29. Sujeción Pistola de Soldar.**

Fuente: Propia

En los planos está el diseño del sistema de sujeción, se indica los grados de libertad que tendrá el mismo.

### **3.4. Sistema guía riel-anillo**

Para diseñar el sistema de guía se debe conocer el diámetro externo de la tubería que en este caso es de 219 mm (8<sup>5/8</sup> in), el tamaño de los soportes base que servirán de separadores, así como también la distancia respectiva entre la tubería y la riel, se ha estimado que el diámetro externo del riel-anillo será de 337 mm (13,2 in), de ancho de 152 mm (5,98 in). Adicionalmente se coloca dos rieles de 12,7 mm (0,5 in) de ancho a una distancia de 17 mm (0,66 in) y 124,3 mm (4,8 in) como guía a través del recorrido a realizar el carro. En la figura 3.15 se muestra el riel-anillo

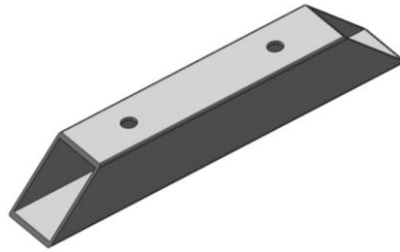


**Figura 30. Riel-Anillo Prototipo.**

Fuente: Propia

La cadena ensamblada permite la transmisión de movimiento, alrededor de la tubería.

Para conocer la distancia disponible entre el riel-anillo y la tubería se debe tener la diferencia entre el diámetro interno de la riel ( $d_e$ ) menos el diámetro externo de la tubería, se tiene que  $d_e$  es igual a 325 mm (12,7 in), la diferencia es de 53mm (2,08 in), una vez que se tiene este valor calculado se puede diseñar el soporte base, en donde se toma en cuenta la distancia disponible, la superficie de contacto que tendrá el soporte en la tubería y la rigidez, tomado estos puntos en cuenta se define que será un tubo cuadrado de 25, 4 mm (1in) con espesor de 1,5 mm (0,05 in), con cortes a 45° en los extremos para que no presente interferencia con el sistema de sujeción del cabezal hacia el anillo, la forma del diseño se muestra en la figura 3.16. , para conocer más a detalle dirigirse al plano 4-105.

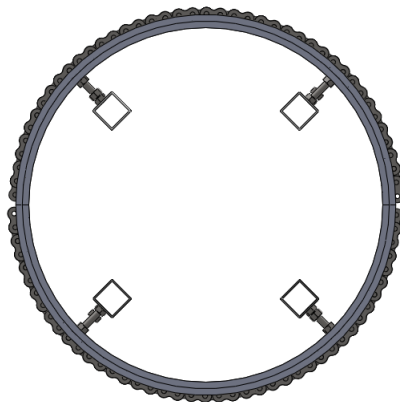


**Figura 31. Soporte Base de la Riel.**

Fuente: Propia

Para regular la distancia disponible entre el soporte base y el anillo se coloca tornillos Philips que permitan colocar el anillo sobre la riel de tal manera que se encuentren concéntricos.

Además los soporte base se colocará en cuatro puntos, cada  $90^\circ$  , esto permite estabilidad en el diseño.



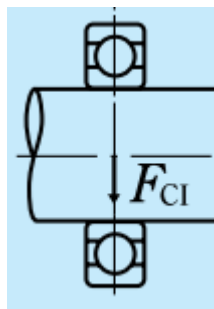
**Figura 32. Vista Frontal Riel.**

Fuente: Propia

### **3.5. Sistema de sujeción del cabezal hacia riel-anillo**

Para el sistema de sujeción se debe considerar que tipo de riel-anillo se tiene para de acuerdo a lo disponible en espacio, proponer una solución de sistema de sujeción

Una vez que se diseñó el riel-anillo que posee dos rieles guías para el movimiento, se debe diseñar unas ruedas que recorran a través de la misma (Plano 4-401), evitando tener holguras entre el anillo y el cabezal, para la sujeción del cabezal hacia el anillo se utiliza rodamiento, para lo cual se debe tener en cuenta el diámetro exterior necesario para que no choque contra los soportes bases, y a su vez soporte el peso del cabezal con la antorcha. Para seleccionar el tipo de rodamiento se debe conocer la carga equivalente (P). El método para determinar la carga equivalente cuando solo se aplica una carga radial R, considera si lo que gira es la pista interior o la exterior.



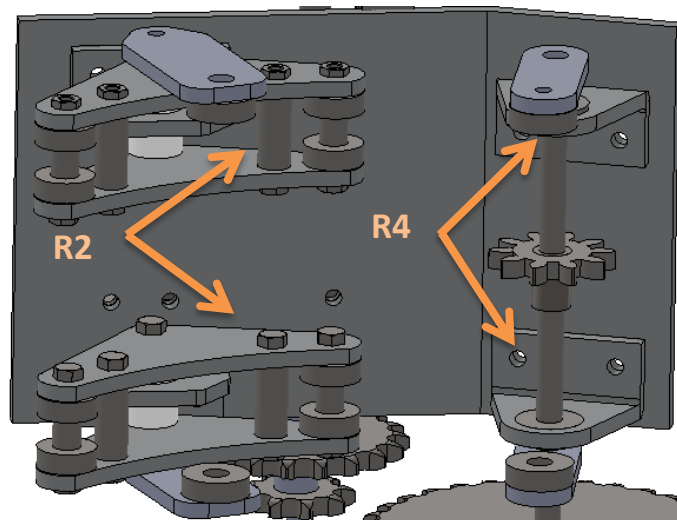
**Figura 33. Sección de Rodamiento**

Fuente: Catalogo SKF 2010

$$P = V * R$$

Factor (V) se le denomina factor de rotación y tiene el valor 1.0, si lo que gira es la pista interior del rodamiento, que es el caso normal. Use  $V=1.2$ , si lo que gira es la pista exterior.

La carga radial es el peso del cabezal dividido para dos, debido que los puntos inferiores deberán soportar la carga al momento de descender o viceversa.



**Figura 34. Vista Inferior Cabezal.**

Fuente: Propia

Entonces cada rodamiento posee una carga radial de 6,609 Kg respectivamente. En este caso gira la pista exterior, aplicando valores se obtiene que la carga equivalente sea de 7,9308 Kg. El diámetro del eje es de 10 mm, se selecciona el tipo de rodamiento con la ayuda de la tabla 3.15 como guía.

**Tabla 21. Comparación de los tipos de rodamientos**

<b>Comparación de los tipos de rodamientos</b>			
<b>Tipo de rodamiento</b>	Capacidad de carga radial	Capacidad de carga de empuje	Capacidad de desalineamiento
<b>Una hilera de bolas con ranura profunda</b>	Buena	Regular	Regular
<b>Doble hilera de</b>	Excelente	Buena	Regular



<b>bolas, ranura profunda</b>			
<b>Contacto angular</b>	Buena	Excelente	Mala
<b>Rodillos cilíndricos</b>	Excelente	Mala	Regular
<b>Agujas</b>	Excelente	Mala	Mala
<b>Rodillos esféricos</b>	Excelente	Regular a buena	Excelente
<b>Rodillos cónicos</b>	Excelente	Excelente	

Fuente: Diseño de elementos de Mott

Se elige rodamiento de hilera de bolas con ranura profunda, debido que tiene buena capacidad de carga axial

Complementariamente se especifica la duración del rodamiento, mediante la tabla 3.16.

**Tabla 22. Duración de Diseño de acuerdo Aplicaciones**

<b>Aplicaciones</b>	<b>Duración de diseño <math>L_{10}</math>, h</b>
<b>Electrodomésticos</b>	1000-2000
<b>Motores de aviación</b>	1000-4000
<b>Automotores</b>	1500-5000
<b>Equipo agrícola</b>	3000-6000
<b>Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples</b>	8000-15000
<b>Motores eléctricos, sopladores industriales, maquinas industriales en general</b>	20000-30000
<b>Bombas y compresores</b>	40000-60000
<b>Equipo critico en funcionamiento durante 24 h</b>	100000-200000

Fuente: Diseño de elementos de Mott

Se elige para duración de diseño  $L_D$  transmisiones de uso múltiples 8000-15000, además se conoce que el eje gira a 15rpm  $n_D$ , se procede a calcular la capacidad de carga dinámica a través de la siguiente ecuación

$$C_{10} = P_d \left( \frac{L_D n_D 60}{L_R n_R 60} \right)^{\frac{1}{a}}$$

Donde  $L_D$  duración de diseño es decir vida deseada en horas,  $n_D$  velocidad deseada en rpm,  $L_R$  vida nominal en horas,  $n_R$  velocidad nominal,  $a$  coeficiente de acuerdo al tipo de rodamiento en este caso es 3 ya que se eligió rodamiento de bolas.

Se pretende adquirir los rodamientos de la casa comercial SKF donde clasifican sus cojinetes para un millón de revoluciones, de manera que la vida  $L_R n_R 60 = 10^6$  revoluciones. Se obtiene un promedio de la duración de diseño  $L_D$  de 11500 horas. Reemplazando valores se obtiene que la capacidad de carga dinámica sea 78,698 N.

Se busca en el catálogo de SKF los rodamientos con diámetros internos de 10 mm por el eje a utilizar, el diámetro externo no debe exceder de 28mm, ya que esa es la distancia disponible para que no exista un choque de elementos. Además se verifica si cumple con la capacidad de carga dinámica requerida.

Dentro de los valores de rodamientos de bolas existentes en el catálogo (Anexo 3) se seleccionó el siguiente con las características representadas.

**Tabla 23. Características de rodamiento 6000-2Z**

Rodamiento 6000-2Z		
	Valor	Unidad
<b>Diámetro eje (d)</b>	10	Mm
<b>Diámetro externo (D)</b>	26	Mm

<b>Ancho (B)</b>	8	Mm
<b>Capacidad carga Estática (C)</b>	4,75	kN
<b>Capacidad carga dinámica (Co)</b>	1,96	kN
<b>Carga límite de fatiga (P)</b>	0,083	kN
<b>Velocidad de referencia</b>	67000	Rpm
<b>Velocidad Limite</b>	34000	Rpm
<b>Masa</b>	0,019	Kg

Fuente: Datasheet de rodamientos SKF

Se verifica que cumple con los parámetros necesarios. Se colocara cuatro puntos de sujeción en el cabezal, permitiendo de esta manera mantener estabilidad durante el recorrido del mismo.

### 3.6. Selección de material para la construcción del mecanismo

En ingeniería, los materiales se utilizan para optimizar el rendimiento y vida útil mediante la correcta selección de acuerdo a sus características y los esfuerzos a los que serán sometidos durante su funcionamiento.

El material elegido debe responder a las exigencias de la función de la pieza o componente.

Elegir un determinado tipo de material de acuerdo con la función que debe cumplir el cabezal, se debe seleccionar en relación a los siguientes factores:

- a) Según las dimensiones del cabezal
- b) Según el peso y resistencia del material
- c) Según el tipo de material a manejar

Según las características físicas (densidad, propiedades ópticas, térmicas y eléctricas) y mecánicas (resistencia mecánica, rigidez, propiedades deslizantes) las cuales pueden repercutir favorablemente en el peso y dimensiones del conjunto.

Se listan estas propiedades de los materiales junto con otras que debe considerar en el diseño.

**Tabla 24. Tipos de propiedades de los materiales**

Tipos de Propiedades	
<b>Económicas</b>	Precio y Disponibilidad
<b>Físicas</b>	Densidad Propiedades Ópticas Eléctricas
<b>Mecánicas</b>	Dureza Resistencia Propiedades Deslizantes

Fuente:

Debido que las cargas que deberá soportar el material en los elementos diseñados, son pequeñas las cuales están alrededor de 109 N a 120 N, se ha visto que no se requerirá realizar un diseño de resistencia, ya que estos valores son pequeños de acuerdo a la resistencia que ofrecen los materiales a utilizar.

Para la elaboración del prototipo se tuvo que seleccionar dos tipos de materiales, aluminio, acero de transmisión, en el Anexo 4 se muestra las características del aluminio utilizado en la construcción.

En cuanto al aluminio se seleccionó A1050 la cual es una aleación con pureza 99,5% que tiene como aplicaciones en pastillas para extrucción por impacto, reflectores, en cuanto al temple H14 indica que es un material templado mediante trabajo mecánico en frío, con grado medio duro, el espesor que se selecciono es de 6mm, que tiene una alta resistencia a la tracción de 115 Mpa. El aluminio se utilizara en el cabezal como en el anillo de sujeción.

En cuanto al acero de transmisión se utilizara en engranes, ruedas guías, el acero AISI-SAE 1018 se utilizará para placas y tubos de sujeción del anillo.

El acero AISI-SAE 1018 es acero de bajo-medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria

**Tabla 25 Propiedades Acero AISI-SAE 1018**

<i>Propiedades Mecánicas</i>	
<b>Dureza</b>	126 HB (71HRb)
<b>Esfuerzo de fluencia</b>	370Mpa (53700PSI)
<b>Esfuerzo Máximo</b>	440Mpa (63800PSI )
<b>Elongación máxima</b>	15% (en 50 mm)

<b>Módulo de elasticidad</b>	205GPa(29700PSI)
<b>Maquinabilidad</b>	76% (AISI 1212=100%)
<i>Propiedades físicas</i>	
<b>densidad</b>	7,87 g/cm <sup>3</sup>
<i>Propiedades químicas</i>	
<b>Carbono</b>	0,15-0,20%
<b>Manganeso</b>	0,60-0,90%
<b>P</b>	0,04% máx.
<b>S</b>	0,05% máx.

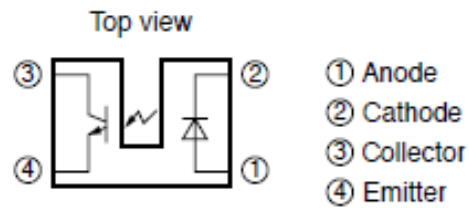
Fuente: Propiedades –Físicas, Químicas de Acero AISI-SAE 1018. Recuperado de:  
www.Sumiteccr.com

### 3.7. Elección de sensores

Entre las consideraciones que deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar el sensor más adecuado para medir velocidad están.

- Rango de frecuencia
- Rango de sensibilidad
- Rango de temperatura
- Instalación

Una vez que se conoce los parámetros para seleccionar el sensor, se opta por el fotointerruptor GS3P62, que tiene como salida del fototransistor, el cual está compuesto por un fotointerruptor transmisivo con opuestos emisor y el detector en el caso, proporcionando detección sin contacto. Para esta familia de dispositivos, el emisor y el detector son insertados en un encapsulado, lo que resulta con un diseño de agujero pasante.



**Figura 35. Configuración del Opto acoplador.**

Fuente: Datasheet opto acoplador

Las características que presenta este fotointerruptor que se utilizara como sensor de velocidad llamado normalmente tacómetro digital son las siguientes:

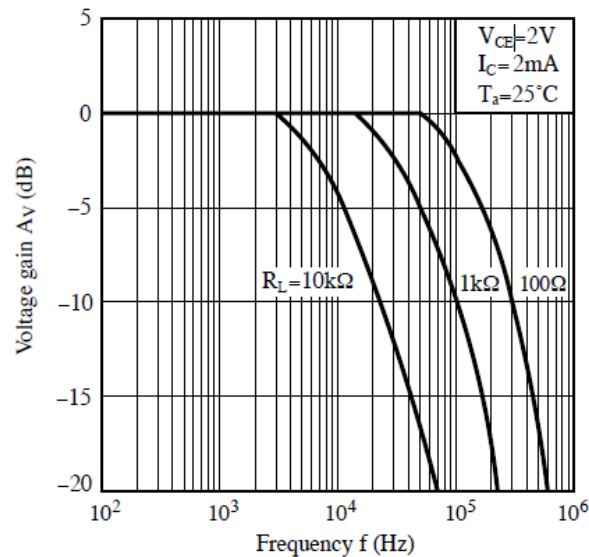
1. Transmisivo con salida del fototransistor.
2. Aspectos destacados:
  - Ranura vertical para la detección de movimiento alternativo
3. Los parámetros esenciales:
  - Ancho rendija: 5 mm
  - Ancho ranura (lado detector): 0,5 mm
  - Paquete: 13,7 x 10 x 5,2 mm

Entre los parámetros de consideración de porque se seleccionó este tipo de sensor se tiene detallado a continuación:

Rango de frecuencia

Establece el intervalo donde el sensor posee capacidad de lectura de tal forma que cada instrumento tiene su propio rango. El valor mínimo, es

controlado por la sensibilidad del sensor y el máximo por la frecuencia natural del mismo.



**Figura 36. Rango de frecuencia del sensor.**

Fuente: Datasheet opto acoplador Gp3s62

Rango de sensibilidad

Es la capacidad del sensor de determinar la amplitud de vibración ya sea desplazamiento, velocidad o aceleración a partir de la señal de voltaje.

**Foto detector**

**Tabla 26 Características Fototransistor.**

Categoría	Fototransistor
Material	Silicón (Si)
Máxima sensibilidad en longitud de onda (nm)	800
Sensibilidad en la longitud de onda (nm)	400 a 1200
Tiempo de respuesta ( $\mu$ s)	3

Fuente: datasheet opto acoplador Gp3s62



## Rango de temperatura

Determina la máxima y mínima temperatura a la cual el sensor puede trabajar sin afectar la capacidad de respuesta con datos verídicos.

**Tabla 27 Rango de Temperatura.**

Rango de temperatura de operación	<b>-25 a +85 °C</b>
-----------------------------------	---------------------

Fuente: Datasheet opto acoplador Gp3s62

## Peso

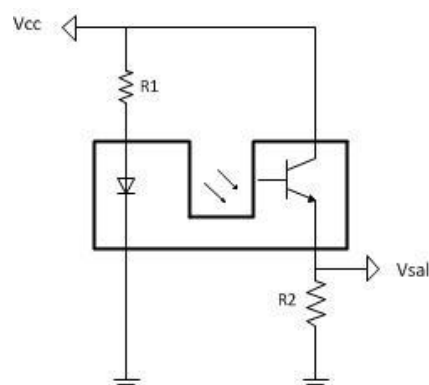
El peso del sensor es importante, por dos razones, primero debe ser ligero para transportarse con facilidad, y segundo tiene que significar una pequeña fracción de peso con relación al componente de la máquina donde se instala.

**Tabla 28 Peso Aproximado**

Peso aproximado	<b>0,5g</b>
-----------------	-------------

Fuente: Datasheet opto acoplador Gp3s62

Para utilizar el sensor se necesita conocer el diagrama de conexión, que viene dado en la hoja de datos, el diagrama se encuentra a continuación



**Figura 37. Diagrama de conexión del sensor.**

Fuente: Datasheet opto acoplador Gp3s62

La alimentación para su funcionamiento es de 5V DC, los valores de las resistencias vienen dados por R1 de 330  $\Omega$ , R2 de 1.5K  $\Omega$  lo cual me da un rango de salida del voltaje que esta entre 0 a 5V.

### 3.8. Planos

Para la construcción de los elementos que conforman el cabezal se ha requerido la elaboración de los siguientes planos:

**Tabla 29 Planos**

<b>DENOMINACION</b>	<b>NUMERO PLANO</b>
<b>PLANO DE CONJUNTO</b>	4-001
<b>SUBENSAMBLE RUEDA</b>	4-002
<b>SUB_ENSAMBLE MOTOR-REDUCCION</b>	4-003
<b>SUBENSAMBLE ANILLO RIEL MITAD</b>	4-004
<b>SUB_ENSAMBLE SUJECION ANTORCHA</b>	4-005
<b>CONECTOR CABEZAL-ANILLO</b>	4-101
<b>SOPORTE EJE RUEDA GUIA</b>	4-102
<b>BASE CABEZAL</b>	4-103
<b>CHUMACERA EJE TRANSMISION</b>	4-104
<b>TUBO SEPARADOR</b>	4-105
<b>BOCIN SEPARADOR RUEDAS</b>	4-201
<b>SOPORTE SEPARADOR RUEDAS</b>	4-202
<b>RUEDA GUIA</b>	4-203
<b>BOCIN SEPARADOR EJE RUEDAS</b>	4-204
<b>RUEDA ENCODER</b>	4-301
<b>ANILLO-RIEL</b>	4-401
<b>SOPORTE ANTORCHA</b>	4-501
<b>PROTECTOR CREMALLERA VERTICAL</b>	4-502

<b>SOPORTE EJE ANTORCHA</b>	4-503
<b>SOPORTE CREMALLERA VERTICAL</b>	4-504
<b>CREMALLERA VERTICAL</b>	4-505
<b>SOPORTE PIÑON VERTICAL</b>	4-506
<b>MINI RUEDA</b>	4-507
<b>CREMALLERA HORIZONTAL</b>	4-508
<b>SOPORTE PIÑON HORIZONTAL</b>	4-509

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 4

### PLAN DE CONSTRUCCIÓN

#### 4.1. Matriz de construcción del cabezal

La construcción del cabezal se realizó secuencialmente comenzando con la construcción del anillo como soporte guía del cabezal, seguidamente con el diseño del cabezal, de tal manera que se obtuvo piezas de forma determinada, cumpliendo con especificaciones técnicas lo que permitió alcanzar el objetivo.

Se procedió a:

- Verificación de dimensionamiento del plano de los elementos del anillo como del cabezal.
- Se definió los materiales de los elementos con la finalidad de garantizar un buen funcionamiento.
- Para la construcción del cabezal como del anillo se empleó maquinas herramientas como: torno, roladora, taladro de banco y otros.
- Montaje del cabezal que garantice un buen acople, linealidad entre piezas y ajustes de pernos.



**Figura 38. Matriz de construcción del cabezal.**

Fuente: Propia

#### 4.2. Requerimientos de montaje

Los requerimientos que se ha visto que se necesita para el montaje de la maquina son los que se nombran a continuación:

- Se requiere un entorno de trabajo claro y limpio durante el montaje del anillo como del cabezal para evitar accidentes.
- Se debe conocer el tamaño y peso del cabezal para determinar el tipo de soporte de carga a utilizar.
- Todas las instalaciones eléctricas deben estar verificadas y seguras antes de la instalación y funcionamiento de las máquinas.
- Determinar si la base de apoyo del anillo tiene suficiente masa y rigidez para permitir que el cabezal opere en o cerca de su estado de equilibrio.

- Al montar el anillo (soporte-guía) sobre la tubería se debe comprobar que se encuentre en el centro del mismo, el anillo debe estar nivelado y concéntrico con la tubería.
- Se debe utilizar un nivelador de burbuja para alinear soporte del anillo en el sentido de la longitud y ancho de la máquina.
- Se alinea la cadena de transmisión con un alineador laser de poleas o una escuadra.
- El anillo como el cabezal se debe nivelar tomando mediciones de distancias con el calibrador permitiendo así el ajuste de los pernos Philips en la posición deseada.

#### Herramientas necesarias:

- Llave #11-13 hexagonal
- Destornillador estrella
- Escuadra
- Calibrador
- Pinza para retenedores
- Pinza para saca binchas de cadena.

#### Equipo para ensamble

- Alineador laser de poleas SEMAPI pocket BTA
- Amoladora
- Taladro de mesa
- Inversora ELEKTRO 220Arc

- Roto tool DREMEL

El detalle de requerimientos para ciertas partes de la construcción del mecanismo son importantes por eso se describe algunos consejos para el montaje:

Para el montaje de piñones se debe cumplir:

- Que mantengan un paralelismo entre piñón conductor y piñón conducido, para su comprobación es frecuente recurrir a dos reglas que situadas a ambos lados de los piñones indican de forma muy clara el paralelismo de montaje.
- Los piñones además de paralelos se mantengan en un plano perfecto.
- Que el eje o el árbol sobre el que se monten los piñones no tengan holgura ni estén descentrados lo que hace que aparezcan brincos y tensiones anómalas.

Para el montaje de la cadena se debe cumplir:

- Que no ofrezca ni exceso, ni defecto de tensión. En caso de exceso se acorta su vida útil, en el caso de defecto tiende a salirse.

En general para el montaje de una transmisión por cadena se tendrá en cuenta:

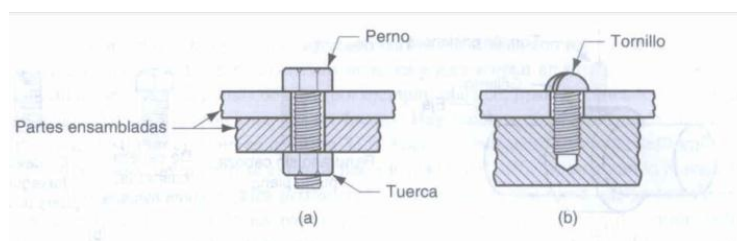
1. Haber efectuado un montaje con las debidas condiciones de alineamiento.

2. Que la totalidad de la transmisión disponga de un sistema eficaz de engrase.
3. Que se puedan verificar los eslabones de unión por ser éstos la zona más débil de las cadenas.

### 4.3. Ensamble del mecanismo

Para el ensamble mecánico del anillo como del cabezal de soldadura se debe conocer que tipos de sujetadores se va utilizar para el mismo.

Entre los sujetadores se tiene tornillos y pernos como sujetadores con roscas externas, hay que tomar en cuenta una diferencia técnica entre un tornillo y un perno, que con frecuencia se confunde en el su uso común. Un tornillo es un sujetador con rosca externa que, por lo general, se ensambla en un orificio roscado ciego mientras un perno es un sujetador con rosca externa que se inserta a través de orificios en las partes y se asegura con una tuerca en el lado opuesto.

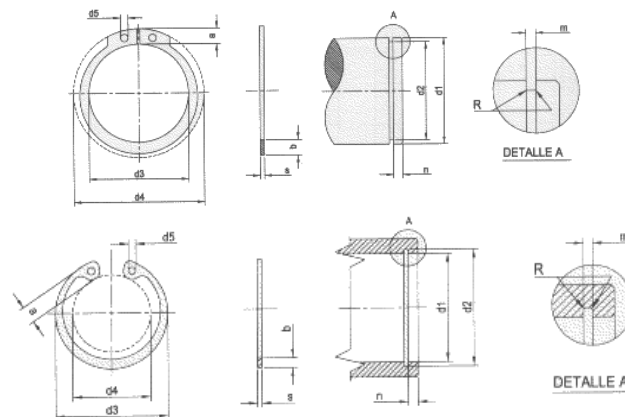


**Figura 39. Tipos de Sujetadores.**

Fuente: Ensamble Mecánico Recuperado de: <http://sifunpro.tripod.com/ensamble.htm>



Otro tipo de sujetadores son los anillos de seguridad externos para ejes tipo A- DIN 471, los anillos de seguridad internos para ejes tipo I - DIN 472, en este caso se utilizará los anillos de seguridad externos par ejes tipo A- DIN 471



**Figura 40. Tipos de Sujetadores de Anillos.**

Fuente: Ensamble Mecánico Recuperado de: <http://sifunpro.tripod.com/ensamble.htm>

Una vez que se conoce los sujetadores para el mecanismo se procede a conocer el diseño de ensambles para hacer un considerable estudio, debido a que sus operaciones tienen un enorme costo de mano de obra, así para que el diseño sea exitoso, se proyectan dos puntos de vista sencillos:

1. Diseñar el mecanismo con la menor cantidad de partes posibles.
2. Diseñar las partes remanentes para que se ensamblen con facilidad.

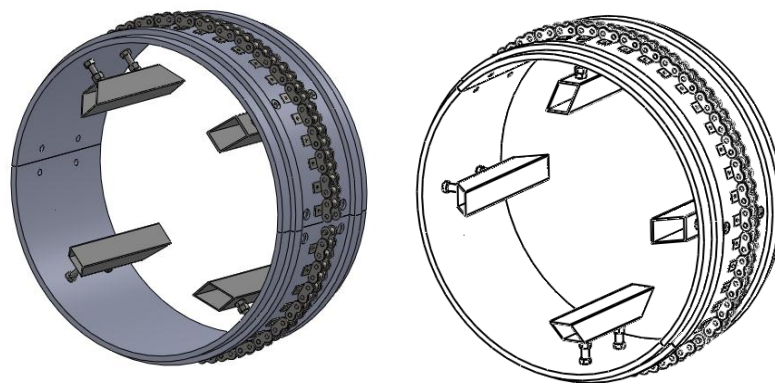
Una vez obtenido el diseño de ensamble se procede al acople parte por parte. Tomando en cuenta en usar la menor cantidad de partes posible para reducir la cantidad de ensambles requeridos, así como también estandarizar los sujetadores.

El ensamble se realiza manualmente, con ajuste de pernos, en la mesa de trabajo debe ser uniforme para evitar algún riesgo de la máquina que se caiga o desnivele.

La falta de unión y exactitud causan fuerzas normales de funcionamiento generando niveles de vibraciones anormales que reducen la vida útil y aumentan la frecuencia de mantenimiento.

A continuación se describe el ensamble realizado:


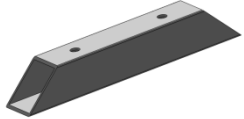
## ANILLO



**Figura 41. Riel-Anillo**

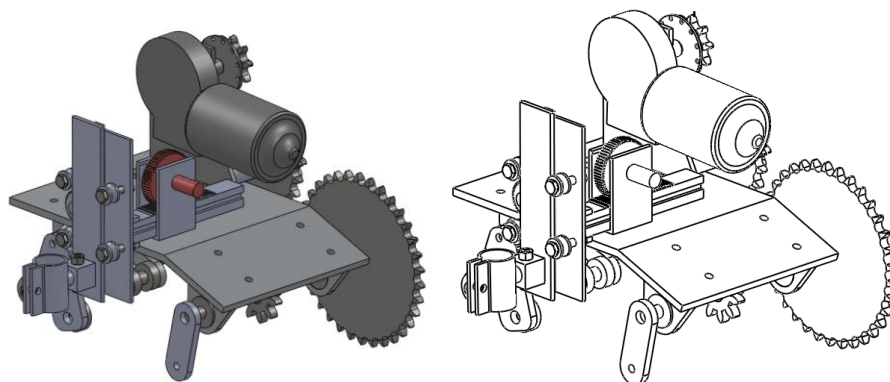
Fuente: Propia

**Tabla 30. Proceso para ensamble de anillo-riel**

ELEMENTO	CARACTERISTICA	OPERACIÓN DE ENSAMBLE
<p><b>Rueda Guía</b></p> 	<p>Roladora Taladrado Remachadora Soldadura</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rolar un rectángulo de aluminio con las medidas establecidas como resultado se tendrá el soporte del anillo ver plano 4-401.</li> <li>▪ Taladrar en los puntos especificados del soporte del anillo con broca de 1/4".</li> <li>▪ Colocar pernos de 1/4"x2" con cabeza Philips, para acoplar a tubos soporte.</li> <li>▪ Remachar las guías de las ruedas con remaches de 1/8"x1/2", a una distancia de 10mm de la parte refrentada.</li> <li>▪ Soldar aletas a la cadena para fijar al anillo por medio de remaches 1/8"x1/2" permitiendo que la cadena quede fija al anillo.</li> </ul>
<p><b>Tubos soporte</b></p> 	<p>Taladrado</p>	<p>Cortar los tubos de acuerdo al diseño plano 4-105 Taladrar los agujeros para los tornillos. Ensamblar en el anillo rolado.</p>

Fuente: Propia

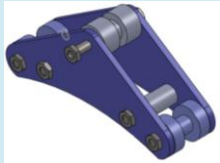
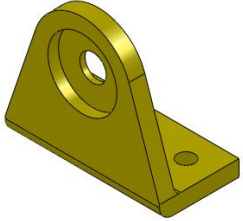

## CABEZAL


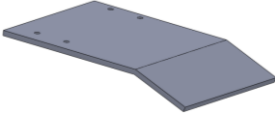
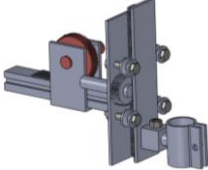



**Figura 42. Cabezal de Soldadura.**

Fuente: Propia

**Tabla 31. Proceso para ensamble Cabezal.**

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	OPERACIÓN DE ENSAMBLE
<b>Sistema Guía</b> 	Torneado Corte Desbaste	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torneado de ruedas guía, bocines</li> <li>• Corte de soporte de ruedas.</li> <li>• Desbaste para obtener la forma triangular.</li> </ul>
<b>Chumacera</b> 	Doblado Torneado Taladrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Placa a doblar de acuerdo al 4-104.</li> <li>• Torneado para la posición del rodamiento para el eje.</li> <li>• Taladrado para tuercas de sujeción.</li> </ul>
<b>Eje</b> 	Torneado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torneado del eje de 10mm debido a que los rodamientos vienen dado solo diámetros internos de forma milimétrica.</li> </ul>
<b>Engrane</b>	Elección catalogo	Como se tiene un par de torsión bajos para el montaje de engranes se utilizara prisioneros para la sujeción

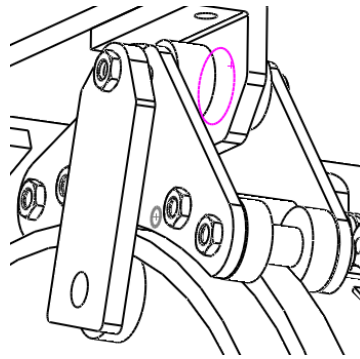
	
<p><b>Base cabezal</b></p> 	<p>Corte Taladrado Doblado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte de la placa de aluminio de acuerdo a medidas requeridas.</li> <li>• Taladrado de agujeros para pernos de sujeción.</li> <li>• Doblado para darle el ángulo deseado de 20° de acuerdo al plano 4-103</li> </ul>
<p><b>Soporte pistola de soldar</b></p> 	<p>Corte Fresado Taladrado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corte de placas de acero.</li> <li>• Fresado para realizar las cremalleras.</li> <li>• Taladrado para bloques de sujeción</li> </ul>
<p><b>Soporte del motor</b></p> 	<p>Taladrado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Taladrado de agujeros para soporte del motor.</li> <li>• Adherencia hacia la placa base del cabezal.</li> </ul>

Fuente: Propia

Para verificar alineaciones se utiliza equipos como el alineador de poleas, así como también la escuadra para el caso ya que el cabezal es pequeño para utilizar otro sistema. El calibrador es indispensable para la verificación de distancia entre elementos dado que es una forma confiable de confirmar medidas del diseño.

Después de que se realice verificaciones, hay que sujetar el cabezal sobre el anillo.

Se tiene el sistema de ruedas de sujeción las que permite sujetar el cabezal sobre el anillo. Se muestra a continuación



**Figura 43. Sistema de sujeción anillo-cabezal**

Fuente: Propia

Una vez que las máquinas estén instaladas en su posición de acuerdo al plano se debe hacer una inspección visual del interior y exterior de las mismas para ver si la máquina está como se detalla en las especificaciones.

Se debe tomar en cuenta que una instalación incorrecta es una fuente permanente de tiempo de inactividad, problemas con la calidad de soldadura, disminución de la capacidad y altos costos de operación.

#### **4.4. Instalación de sensores y actuadores en el mecanismo**

##### Instalación de Sensor

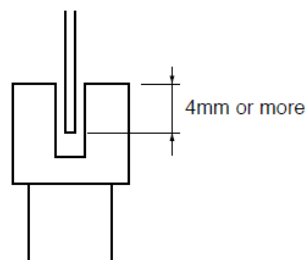
Existen varias maneras de instalar el sensor sobre el componente o elemento del motor para tomar lecturas reales se debe tomar en cuenta estas consideraciones al instalar el fotointerruptor:

### 1) Prevención de la detección de errores

Para evitar que el fotointerruptor de funcionamiento defectuoso causado por la luz externa, no se establece la cara a la detección de la luz externa.

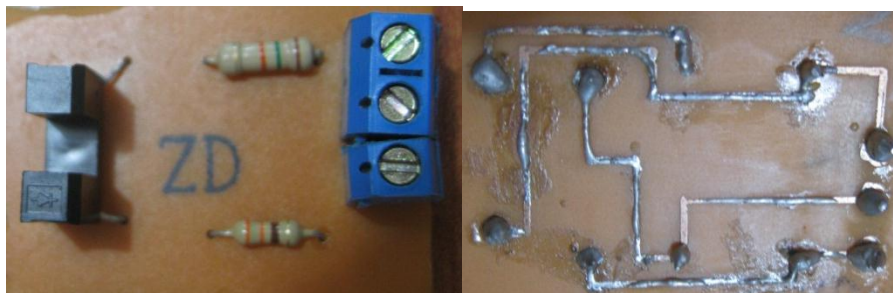
### 2) Posición del lado opaco

Borde opaco deben ser instalados en lugar de 4 mm o más desde la parte superior de los elementos, por ejemplo



**Figura 44. Posición de sensor en el motor.**

Fuente: Datasheet Gp3s62



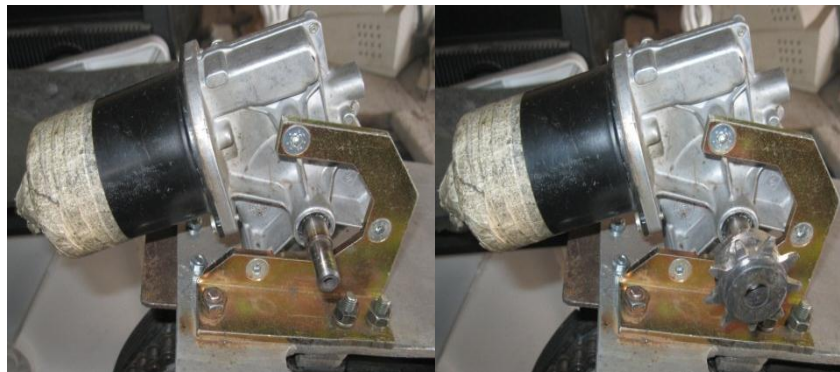
**Figura 45. Configuración de Opto acoplador como sensor.**

Fuente: Propia

Adicionalmente se instala una rueda ranurada como encoder con 12 ranuras (ver plano 4-301) en el eje del motor para que complete el sistema de medición de velocidad.

## Actuador

En este caso el actuador es un motor donde se va realizar el control, se debe instalar un engrane de 8 dientes para que permita realizar la transmisión de velocidad hasta el eje que es conducido.



**Figura 46. Motor.**

Fuente: Propia

### **4.5. Realización de manual del prototipo**

Para especificar de mejor manera el ensamble y uso del cabezal se planteó realizar un manual de ensamble, donde se especificará detalles de montaje, y mantenimiento del mismo.

En el manual de operación se muestra el proceso de funcionamiento del prototipo.



#### **4.5.1. Manual de ensamble**

En el Anexo 5 se encuentra este manual, donde encontrará la identificación de cada parte mecánica como electrónica, la tornillería utilizada, así como el montaje del equipo para ser utilizado.

#### **4.5.2. Manual de Operación**

En el Anexo 6 se encuentra este manual donde indicara la configuración de puertos para la salida y entrada de sensores como de actuadores. Se especifica la puesta a punto del equipo, las precauciones a tomar en el funcionamiento.

## CAPÍTULO 5

### CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

#### 5.1. Entorno gráfico para Programación

Labview es una herramienta de programación gráfica, usada en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual, esta herramienta cuenta con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de medida y presentaciones de datos. Labview le da la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales, este software tiene funciones específicas para acelerar el desarrollo de aplicaciones de medida, control y automatización, proporciona herramientas poderosas para que el usuario pueda crear aplicaciones sin líneas de código (lenguaje G) y permite colocar objetos ya contruidos para lograr crear interfaces de usuario rápidamente.

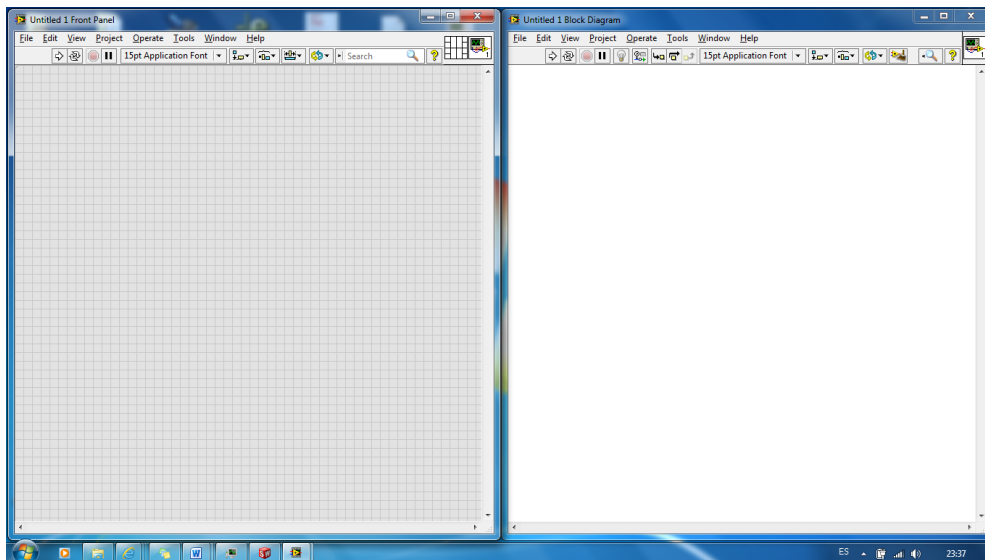
Se debe recalcar que Labview puede conectarse con todo tipo de hardware incluyendo instrumentos de escritorio, tarjetas insertables, controladores de movimiento y controladores lógicos programables (PLCs) (Pradines, 2007).

Una ventaja que tiene este software es que mientras las necesidades de las aplicaciones varían con el tiempo, los sistemas definidos y creados por el

usuario de LabVIEW tienen la movilidad y la flexibilidad necesaria para adecuarse sin la necesidad de incorporar equipos nuevos.

Los programas creados en LabVIEW se guardarán en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual (Virtual Instruments). También relacionado con este concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

- Panel Frontal, es la parte que verá el usuario, suele tener fondo gris.
- Diagrama de Bloques, es donde se realizará la programación y suele tener fondo blanco.



**Figura 47. Panel frontal y diagrama de bloques LABVIEW.**

Fuente: Propia

Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de código o de programación. Los controles pueden ser booleanos, numéricos, strings, un arreglo matricial de estos o una combinación de los anteriores; y los indicadores pueden ser como para el caso de controles pero pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, browser, entre otros.

Estos VI pueden también estar conformados de otros subVIs y así sucesivamente, de esta forma se pueden representar como un árbol genealógico donde un VI se relaciona o depende de varios subVIs.

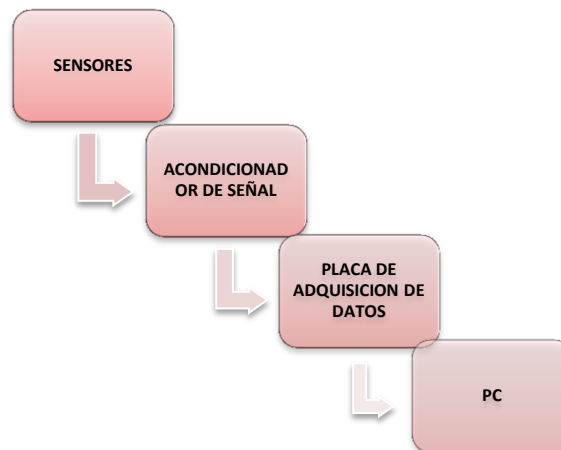
Por lo descrito anteriormente, un sistema basado en Labview, simplifica el desarrollo de sistemas y tiene la habilidad de reutilizar su código, tiene acceso a sistemas de instrumentación completos.

Finalmente, este software es ideal para adquisición de datos así como el control de elementos aplicables a la industria, con una programación más amigable al programador.

## **5.2. Elección de elemento de adquisición de datos**

Los elementos de adquisición de datos son parte de un sistema de adquisición para realizar el procesamiento de datos, que comienza con el procesamiento de las señales que parte por medio de un sensor apropiado hasta la digitalización la cual consta de tres etapas:

1. Conversión de la magnitud a una señal eléctrica.
2. Adaptación de la señal eléctrica para su lectura digital.
3. Sistema hardware de adquisición de datos, generalmente a través de un computador.



**Figura 48. Adquisición de datos.**

Fuente: Propia

El último paso que se tiene en un sistema de adquisición de datos son las tarjetas de adquisición de datos, las cuales me permiten la conversión de señales desde analógica a digital (ADC), y la comunicación con el ordenador.

### **5.2.1. Tipos de elementos para adquisición de datos**

En la variedad tecnológica que se encuentra hoy en día, se tiene una diversidad de maneras para la adquisición de datos en este caso se

mencionara dos tipos, para lo cual se debe conocer las características de estas para dar un criterio que permita elegir.

Las características que tienen los elementos para adquisición de datos

- Número de canales analógicos.
- Velocidad de muestreo
- Resolución
- Rango de entrada.
- Capacidad de temporización
- Forma de comunicarse con el computador
- Software de programación

**Número de canales analógicos:** Indica la cantidad de magnitudes distintas que se puede adquirir con la misma tarjeta. Generalmente las tarjetas disponen de un único ADC y los diferentes canales se generan por medio de un multiplexor analógico.

**Velocidad de muestreo:** Cuanto mayor sea la velocidad de muestreo mejor representación se obtendrá de la señal analógica, en cualquier caso la velocidad de muestreo debe ser siempre mayor que el doble de la frecuencia de la señal que se desea muestrear.

**Resolución:** Viene dada por el número de bits del ADC que se utilizan para representar cada muestra, a mayor número de bits del ADC la tarjeta será capaz de detectar variaciones menores en la señal. El número de

distintos niveles en que se divide la señal a convertir viene dado por  $2^n$ , siendo  $n$  la longitud de palabra del conversor.

**Rango de entrada:** Indica los márgenes entre los que debe estar la señal de entrada para que pueda ser convertida. Las tarjetas de adquisición de datos suelen dar varias posibilidades que se pueden seleccionar por hardware o por software.

Estas 4 características vienen a determinar la capacidad y la precisión de la tarjeta de adquisición:

- A mayor número de canales                      Mayor capacidad.
- A mayor velocidad de muestreo              Mayor capacidad
- A mayor resolución                              Mayor precisión
- A menor rango de entrada                      Mayor precisión, ya que con los mismos bits de resolución se tendrá que representar un menor rango.

**Capacidad de temporización:** La capacidad de temporización interna en la propia tarjeta de adquisición de datos es una característica interesante en estos sistemas, ya que permite unas funcionalidades adicionales:

- Puede controlar los momentos en los que se debe leer una señal.
- Identificar cuantas veces se ha producido un evento.
- Generar formas de onda de acuerdo al reloj.

**Forma de comunicarse con el computador:** Su funcionamiento, como dispositivo periférico se puede realizar de dos formas:

- Mediante entrada-salida por interrupción, lo normal.
- Mediante acceso directo a memoria (DMA). En aquellos casos en los que el flujo de datos puede ser elevado.

**Tabla 32. Características de Tarjetas de Adquisición de Datos**

Tarjeta de Adquisición de datos				
NI MY DAQ National Instruments				
<b>Número de canales</b>	2 entradas analógicas	2 salidas analógicas	8 E/S Digitales	1 entrada contador 16 bits
<b>Velocidad de muestreo</b>	200 kS/s	200kS/s	200kS/s	100ns
<b>Resolución</b>	16 bits	16 bits		16 bits
<b>Rango de entrada</b>	0V ,10V			
<b>Frecuencia máxima de la fuente</b>	5MHz			
<b>Forma de comunicarse con el computador</b>	USB			
<b>Software</b>	LABVIEW Student Edition for Windows			
Simatic S7-200 Siemens				
<b>Número de canales</b>	4 entradas analógicas	2 salidas analogicas	8 E/S Digitales	
<b>Velocidad de muestreo</b>	12Mbit/s			
<b>Resolución</b>	12 bit	11 bit		
<b>Rango de entrada</b>	5V – 24 VDC			
<b>Frecuencia máxima de la fuente</b>				
<b>Forma de</b>	RS-485 Signal A			



## comunicarse con el computador

### Software

### Step 7

Fuente: Datasheet de My Daq y Simatic Siemens

#### 5.2.2. Suministro de tarjeta de adquisición de datos

Para la provisión de la tarjeta de adquisición de datos se realizó un estudio del tiempo de respuesta de la señal de entrada como la señal de salida.

En vista de que el prototipo de soldadura va a controlar una variable principal a la vez con variables secundarias se optó por una tarjeta de adquisición básica que permita realizar el control sin mayor requerimiento.

Por lo tanto se consiguió la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments MY-DAQ la cual tiene su propio entorno de programación que permite tener una mejor comunicación de datos entre sensores y actuadores, permitiendo eliminar intermediarios como convertidores de entrada en las terminales físicas, por ejemplo RS-232.



**Figura 49. Tarjeta de adquisición de datos NI-My DAQ**

Fuente: National Instrument

### **5.3. Selección de drivers para el actuador seleccionado**

Un driver o controlador para un motor es un diseño o elemento que permite al sistema operativo interactuar con el actuador directamente (motor), obteniendo señales de mando a partir de la interfaz gráfica que se transmite a una tarjeta de adquisición de datos de la cual saldrá a hacia el driver para controlar el actuador. Para mejor entendimiento se puede esquematizar como un manual de instrucciones que le indica cómo debe controlar y comunicarse con un dispositivo en particular. Este driver debe contener una parte de potencia para el accionamiento del motor, así como una parte de control, que reciben las señales desde el computador.

#### **5.3.1. Análisis de los tipos de drivers**

El driver que se debe utilizar para el control de motores DC son puentes H, los cuales existen en varias configuraciones, los mismos que permiten realizar cambios de giro y manipulación de señales a través de pulsos lo que va a admitir variar el voltaje para la velocidad, a continuación se menciona algunos tipos de drivers.

#### **Driver de cuatro canales Push-Pull con diodos - L293D**

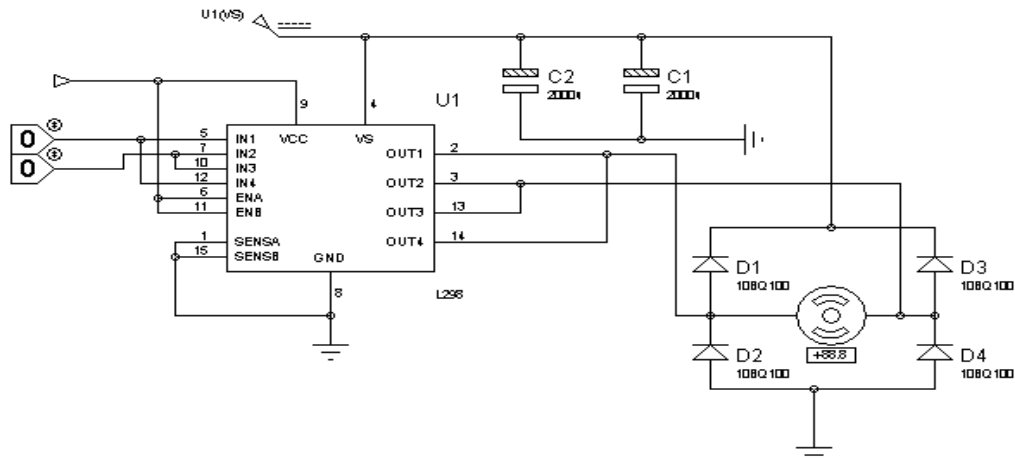
El dispositivo L293D es un integrado monolítico, de alto voltaje y corriente en los cuatro canales que contiene, diseñado para aceptar estándares DTL o TTL niveles lógicos, drive para carga inductivas, como relé solenoides, motor DC, motor a pasos, switches de transistores. El dispositivo es apto para uso en aplicaciones de conmutación con frecuencia de hasta 5 kHz,

capacidad de corriente de salida de 600mA por canal, corriente pico de salida de 1.2A, facilidad de activación, voltaje de entrada de '0' Lógico, y 1,5V, inmunidad a alto ruido.

### **Driver dual Puente completo - L298**

El dispositivo L298 es un integrado monolítico, de alto voltaje y corriente de puente completo dual, diseñado para aceptar estándares TTL, niveles lógicos, drive para carga inductivas, como relé, solenoides, motor DC, motor a pasos, switches de transistores. Contiene dos entradas de activación (Enable), independientes a las entradas de señal, capacidad de corriente total hasta 4A, facilidad de activación, voltaje de entrada de '0' Lógico, y 1,5V, voltaje de alimentación operativo hasta 46V, tiene inmunidad a alto ruido.

Se puede implementar el circuito con el L298 en el cual se puentea las entradas para lograr mayor potencia en la salida al motor dando como resulta un rango de 0 - 4A máx.

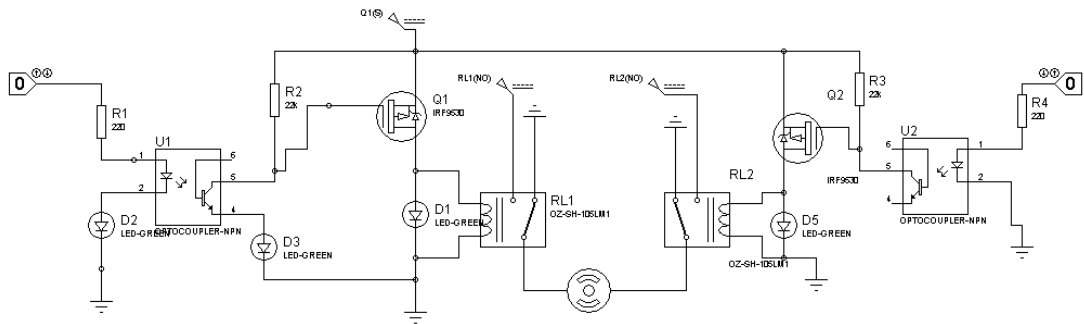


**Figura 50. Circuito con el L298.**

Fuente: Circuitos Puente H Recuperado de:  
<http://www.ingenierofernandoruiz.com/Puentes%20H/Puente%20H.html#ph7>

### Puente H con relevadores

Es una configuración de puente H a través de relés, donde se puede controlar el encendido, la dirección de giro, frenado del motor DC, es un circuito básico, es apropiado para aplicaciones simple donde no tenga un control de velocidad. Se puede implementar el circuito con los relevadores utilizando relay de 30-40A para el manejo de más potencia en la salida al motor dando como resulta un rango de 0 - 40A máx.



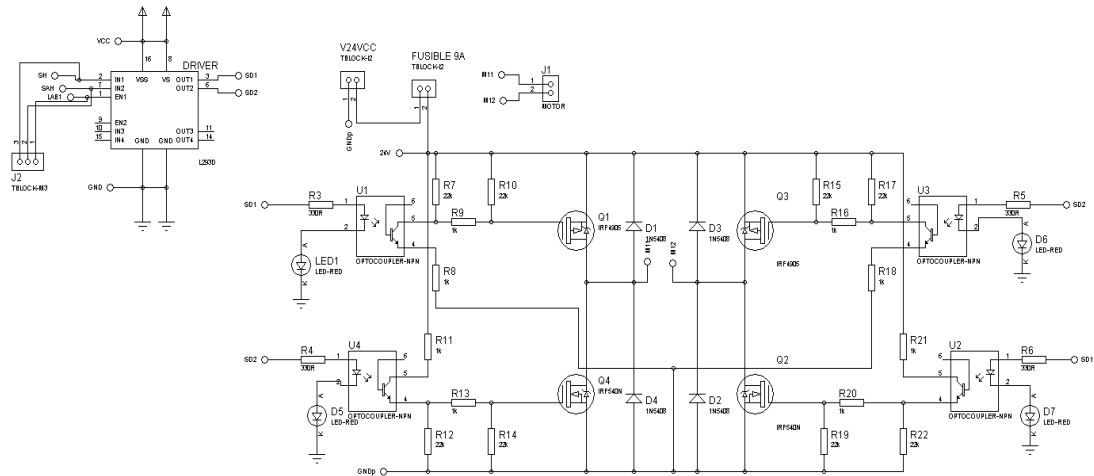
**Figura 51. Circuito con los relevadores utilizando relay de 30-40A.**

Fuente: Propia

### Puente H con mosfet

El puente H con mosfet es la mejor configuración que se puede tener para la obtención de mayor potencia para los motores, se prefiere utilizar mosfet de canal P para los lados superiores y de canal N para los inferiores. La ventaja de este concepto de diseño es que las tensiones necesarias para activar los Gates de los transistores mosfet de canal P se podrán sacar directamente de la alimentación utilizada para el motor. Si por el contrario se utiliza transistores de Canal N en el lado superior de la H, la tensión necesaria para activar los Gates deberá provenir de un elevador de tensión que funcione por encima del valor nominal de alimentación del motor, con este tipo de configuración se mejora la eficiencia del puente. Además los mosfet poseen una resistencia entre drenaje y fuente (RDS) cuando son activados rodean los 0.1 ohms (según el modelo), esto ayuda a disminuir el consumo de potencia manifestada como calor. El rango de corriente a soportar dependerá de los transistores que se utilice en el diseño, las

señales de control varían de 0 a 7V, y los voltajes de alimentación de 0 a 24V. A este tipo de configuración se puede aplicar el control de velocidad a través de la técnica de PWM (Modo de modulación de anchura de pulsos).



**Figura 52. Circuito con el L293D y Mosfet.**

Fuente: Propia

En base a la descripción de los tipos de drivers se plantea una tabla de resumen que permita elegir el mejor de acuerdo a los requerimientos que se propone para operar un motor DC, las principales características que debe tener son:

- Entrada de activación
- Entradas para cambio de giro
- Soporte corriente de 5A
- Entrada de alimentación hacia el circuito entre 0V-7V
- Entrada de alimentación para la carga entre 0V-36V

Entre los tipos de drivers que se propuso, se realizará un cuadro comparativo para lo cual quien cumpla con la característica principal de

soportar mayor corriente, y las respectivas antes mencionadas, se elegirá para la implementación.

**Tabla 33. Tipos de driver para motor**

Driver	L293D	L298	Puente H con mosfet	Puente H con relevadores
Entrada de activación (Enable)	7 V	-0,3 – 7 V	0 - 7 V	N/A
Voltaje en entradas de mando	7 V	-0,3 – 7 V	0 - 7 V	N/A
Voltaje de alimentación integrado	0 - 46V	0 – 7V	0 – 50 V	0 – 12V
Voltaje de alimentación motor	0 - 46V	0 - 50V	0-24V	0-24V
Corriente pico de salida por canal	1,2A	4A	12A	30A

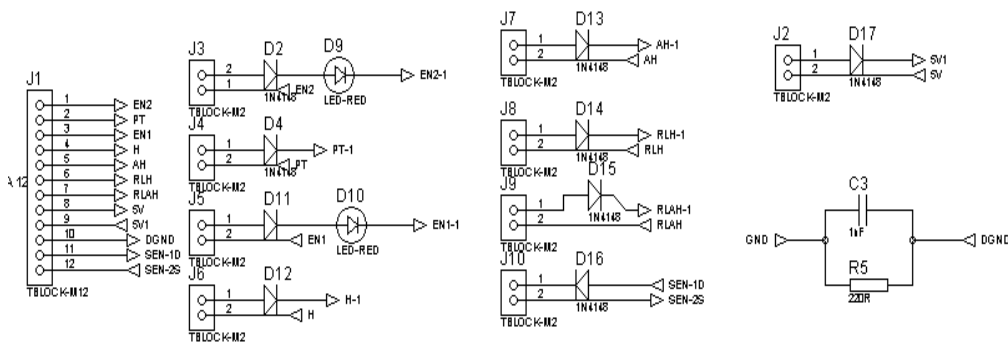
Fuente: Varias Configuraciones para Puente H Recuperado de:  
<http://www.ingenierofernandoruiz.com/Puentes%20H/Puente%20H.html#ph7>

### 5.3.2. Implementación de prototipos de drivers

El diseño que se eligió es el Puente H con mosfet por la corriente de 12A que soporte, y en el cual se puede aplicar el control PWM, conjuntamente se encuentra implementada una etapa de control con el L293D, seguidamente

la etapa de aislamiento de señal y finalmente una etapa de potencia de mosfet.

El diseño realizado para la etapa de control se encuentra planteado a través de fusibles de 350mA y diodos de alta velocidad de switcheo (Anexo 12) de 4 ns como máximo, corriente continua de 200mA ( $I_F$ ), corriente pico de 450mA ( $I_{FRM}$ ), se plantea este tipo de protecciones debido que la tarjeta de adquisición de datos soporta una corriente máxima de 350mA. En la bornera de entrada ingresa las señales desde la Daq hacia la parte de protección para la misma.



**Figura 53. Etapa de Protección para la DAQ.**

Fuente: Propia

En la etapa de señales de control se tiene, el control para el motor y el control para la antorcha de soldadura.

Entonces para la parte de control de señales del motor se tiene utiliza el driver L293D que permite realizar cambio de giro, habilitar las señales del canal utilizado, y aplicar el control de velocidad a través del PWM, Lo significativo del diseño es conocer el aislamiento de señales de la parte de



control, de la parte de potencia del motor. La utilización de opto acopladores es la solución que se utiliza para satisfacer este requerimiento.

Se utilizará opto acopladores con configuración Darlington, la misma que consta de dos transistores conectados en cascada, que permiten obtener una ganancia de corriente, se utiliza debido que la señal de la Daq proporciona corrientes muy pequeñas y al manipular una carga grande, se requiere un óptimo funcionamiento

La estructura de estos vienen en DIP-6 pines, que constan de un diodo emisor de infrarrojos acoplado ópticamente a un fototransistor de silicio. La conmutación se puede lograr manteniendo al mismo tiempo un alto grado de aislamiento entre la conducción y la carga externa de los circuitos, estos acopladores ópticos tienen ventajas como la conmutación de alta velocidad y la eliminación de los campos magnéticos que tanto afectan a los IC de sistemas vulnerables a este tipo de amenazas.

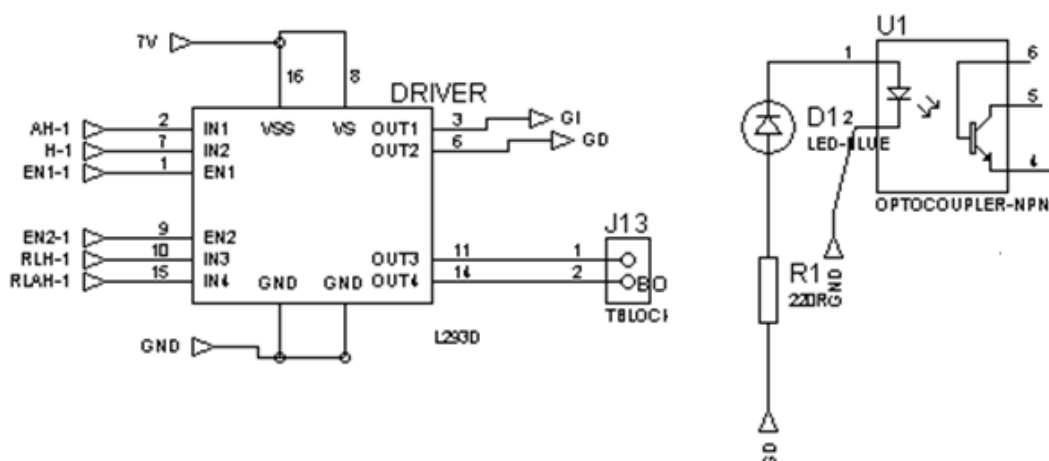
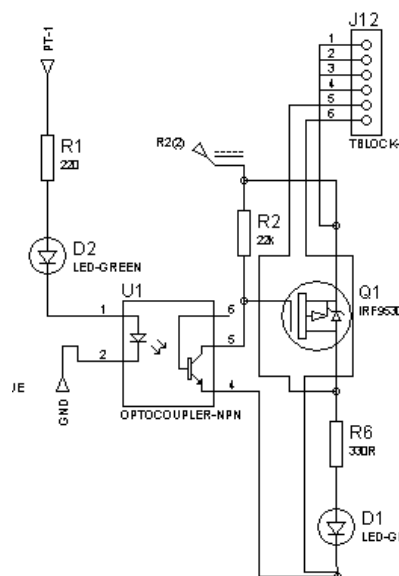


Figura 54. Etapa de control de señales de mando.

Fuente: Propia

El control utilizado para la antorcha de soldadura, se implementa a través de opto acoplador como aislador de la señal de control y la señal de la máquina de soldar Millermatic 300, la misma que es receptada en una bornera de la placa de control. El mosfet utilizado permite cerrar el circuito de la soldadora al momento que se obtenga la señal. Se selecciona un mosfet de canal P, que soporte al menos 14A.

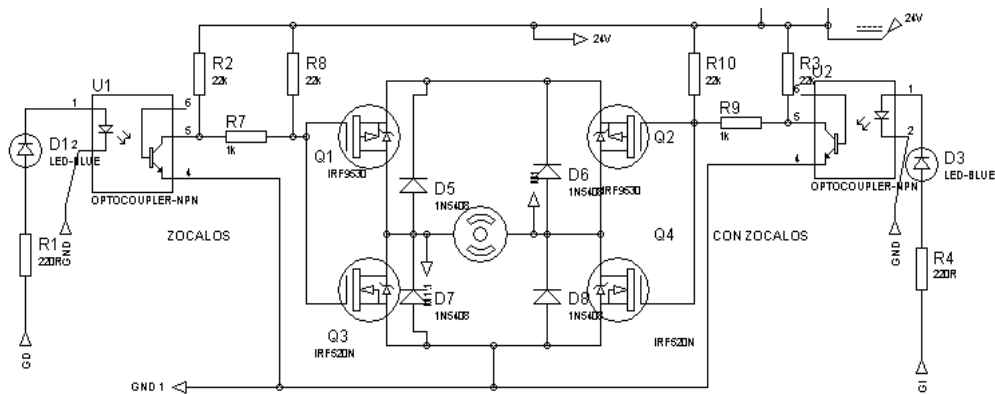


**Figura 55. Circuito para control de la antorcha de soldadura.**

Fuente: Propia

La etapa de potencia es el puente H de mosfet que se conectara a la parte del detector del opto acoplador (ver Anexo 13). Se utiliza mosfet canal P en la parte superior del puente H, IRF 9530, y en la parte inferior IRF 530N mosfet de canal N, como se explicó en el punto anterior cada uno estos IRF tienen una resistencia entre drenaje y fuente (RDS) de 0,3ohms y de

0,16ohms respectivamente. Esto permite disminuir la perdida de potencia manifestada en calor.

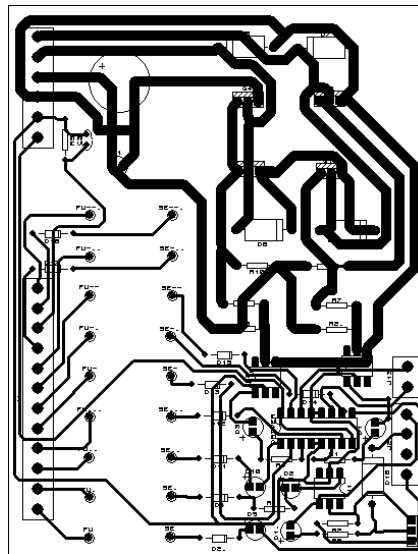


**Figura 56. Circuito de potencia del Motores.**

Fuente: Propia

### 5.3.3. Adquisición de drivers

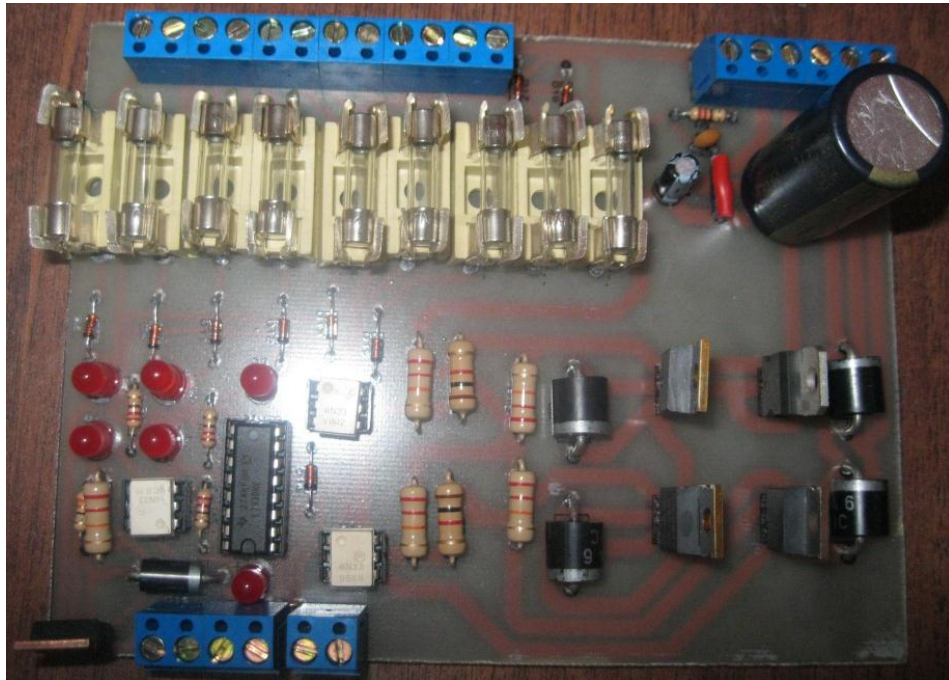
Se realizó el diagrama en Proteus de los circuitos mostrados anteriormente, se importa el mismo al programa ares profesional, donde se selecciona los elementos a utilizar y se ruteo de manera que las pistas no se crucen, en caso de suceder se debe puentear. A continuación se presenta el diagrama en ARES, el cual se procederá a imprimir sobre baquelita de fibra. Resultando de esta manera la placa de control del mecanismo.



**Figura 57. Diseño del circuito en el Software Ares.**

Fuente: Propia

En la parte inferior derecha se encuentra la parte de potencia conformada por mosfet y diodos de protección, en la parte izquierda se encuentra las señales de control, en la parte superior se encuentra la parte de protección de la tarjeta de adquisición de datos, conformada por fusibles de 0,35A y diodos de alta velocidad de switcheo.



**Figura 58. Implementación del circuito.**

Fuente: Propia

#### **5.3.4. Pruebas de funcionamiento de los drives**

Para verificar el funcionamiento de los drivers se debe primeramente conocer las fuentes de alimentación que utiliza, las entradas y salidas que proporciona, para de acuerdo a lo indicado se aplique dichos voltajes, dando como resultado verificar valores correctos o erróneos.

Además se debe conocer el diseño del circuito, así como el funcionamiento de cada elemento para ir verificando por etapas en caso de que los resultados sean erróneos.

Una vez que se conoce se realiza las pruebas por etapas.

#### **1era Etapa - Verificar valores de salida desde la DAQ**

Para verificar los valores de salida se debe tomar un multímetro, conectar COM del multímetro a GND de la DAQ, el VCC del multímetro al canal digital de la DAQ, que este enviando el dato, el valor debe ser de 3,3V, este valor debe encontrarse a lo largo de la línea, fusibles de protección de 0,350A, y los diodos alta velocidad de switcheo.

### **2da etapa - Funcionamiento y Aislamiento de la Parte de Control.**

Se utiliza un driver L293 que posee cuatro canales trabaja a frecuencias de 5kHz, utilizando una fuente de alimentación de 7V, este dispositivo receptara las señales de PWM así como señales de activación de sentido de giro, la salida de este dispositivo se enviara a un opto acoplador para el aislamiento de la parte de control de la parte de potencia se debe tomar en cuenta que se utilizaron fuentes de alimentación independientes de tal manera que la etapa de potencia estuviera aislada de las otras etapas.

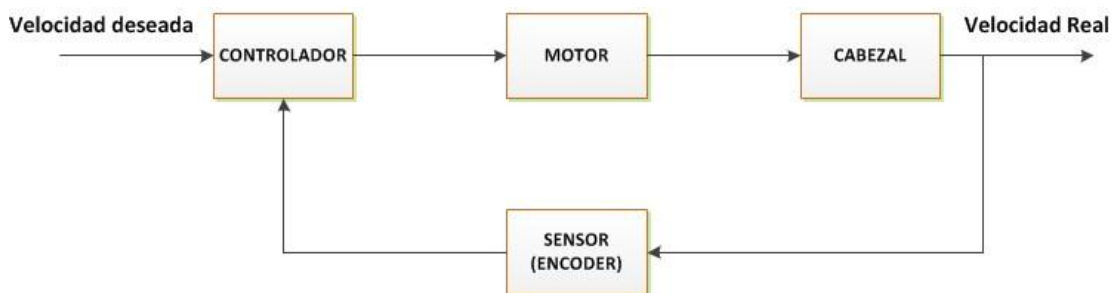
### **3era Etapa - Funcionamiento de la Parte de Potencia**

El puente H se alimentó con 24V, valor nominal que utiliza el motor, aplicando el control para variar la velocidad a través del PWM se puede verificar que en la salida hacia la alimentación del motor el voltaje varía de acuerdo a la velocidad que se aplique. Siempre se debe colocar diodos a la salida para la alimentación del motor ya que el mismo es una carga inductiva, debido a cuando se le corta la tensión retiene parte de la energía y

la libera en el sentido inverso, lo que podría quemar los Mosfet. Los diodos deberían ser del tipo ultrarrápido si la señal de comando usa PWM.

#### 5.4. Programación virtual

Para comenzar hacer la programación virtual se debe conocer qué tipo de sistema de control se pretende aplicar, para este caso se aplicara un control realimentado, que significa que el sistema mantiene una comparación entre la entrada de referencia y la salida deseada, el resultado de esta comparación es utilizado para controlar el accionamiento del motor, de esta manera el sistema está en lazo cerrado.



**Figura 59. Lazo cerrado de Control.**

Fuente: Propia

##### 5.4.1. Parámetros establecidos para la programación virtual

Para la programación virtual se debe conocer variables que se manipularan como entrada y salida de señales, indicadores, controladores entre otros, debe tener una interfaz gráfica que interactúe con el usuario, se conoce como HMI que viene a ser interfaz humano máquina.

Para comenzar la programación virtual se debe tener trazado los lineamientos como va a comenzar la programación, así se nombra parámetros y variables necesarias para la misma.

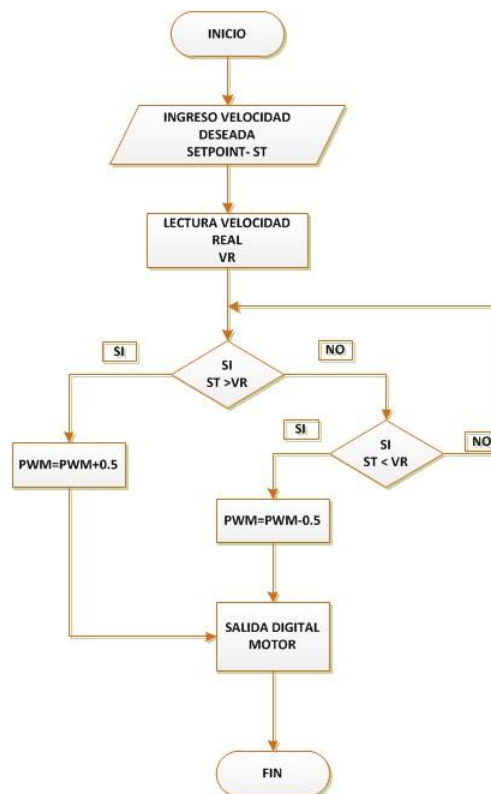
En un menú principal debe contener Inicio, Instrucciones, Proceso de soldadura, visualización de variables

- **Inicio** debe contener una presentación básica
- **Instrucciones** se desglosa en conocimientos necesarios para realizar la soldadura de tubería, así como configuración de salidas digitales en la tarjeta de adquisición.
- **Proceso de Soldadura** contiene las variables a controlar y accionar entre las cuales se tiene
  - Parada
  - Emergencia
  - Cambio de giro
  - Velocidad deseada (Setpoint)
  - Activación de la Pistola
- **Visualización de variables** contiene los valores de programación, la configuración de puertos, la visualización del comportamiento del sensor como del algoritmo de control.
  - Activación del inicio del PWM
  - Velocidad actual
  - Tiempo de Espera en la Activación del proceso de soldadura



### 5.4.2. Algoritmo de Control

El algoritmo de control desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc., ya que permite establecer una programación clara, para la implementación. El tipo de control empleado para este proceso será descrito a continuación:



**Figura 60. Algoritmo de Control.**

Fuente: Propia

- 1) Configurar el canal de salida de las señales de mando en Measurement & Automation –Test Panel
- 2) Abrir los VI que corresponda al proyecto.

- 3) En el VI HMI establecer las salidas digitales para la dirección de giro del motor así como también el PWM que permitirá variar la velocidad del motor
- 4) Verificar que todos los pulsadores este apagados en estado off caso contrario proceder a apagar.
- 5) Correr los VI correspondientes al proyecto
- 6) Establecer un velocidad deseada para el mecanismo
- 7) Activar la señal de la pistola derecha o izquierda según sea el caso, se encenderá el arco de soldadura para soldar y 1s después comenzara a moverse el cabezal para desplazarse a través de la junta. Una vez que complete de soldar 180°, se desactiva la antorcha de soldadura, el cabezal retornara a la posición inicial, cuando llega este al punto 0° se desactiva.
- 8) Se puede utilizar de forma separada la activación de antorcha primero y con otro click la activación del carro, así mismo para la desactivación será manual a través de un click.

#### **5.4.3. Implementación de la Interfaz**

La interfaz gráfica implica la presencia de un monitor de ordenador o pantalla constituida por una serie de menús e iconos que representan las opciones que el usuario puede tomar dentro del sistema.

Las características básicas de una buena interfaz podrían sintetizarse en:

- Facilidad de comprensión, aprendizaje y uso

- Representación fija y permanente de un determinado contexto de acción (fondo)
- Diseño ergonómico mediante el establecimiento de menús, barras de acciones e iconos de fácil acceso
- Las operaciones serán rápidas, incrementales y reversibles, con efectos inmediatos

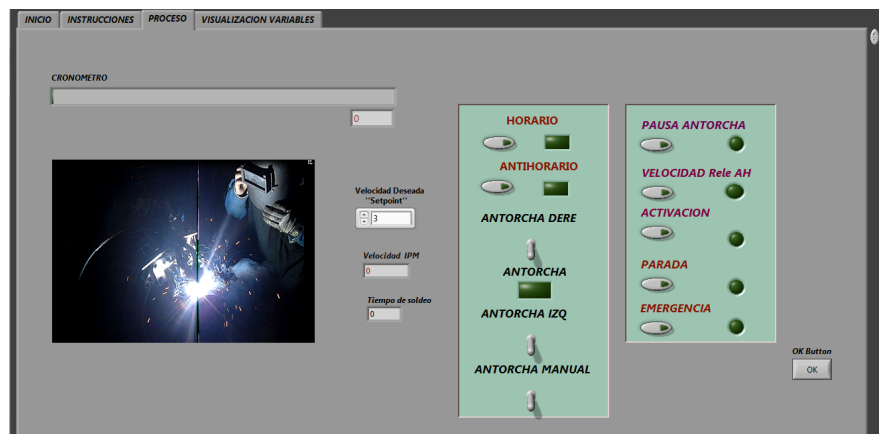
El diseño está basado en un panel de selección, que contiene en INICIO, la presentación, INSTRUCCIONES, de uso y asignación de variables, PROCESO, en si la interfaz que podrá manipular el operario, finalmente la VISUALIZACIÓN DE VARIABLES, donde se puede configurar las entradas y salidas, en Front Panel de Labview – Control- Classic- Classic Containers se selecciona Tab control para hacer el panel.



**Figura 61. Interfaz Aplicación LABVIEW.**

Fuente: Propia

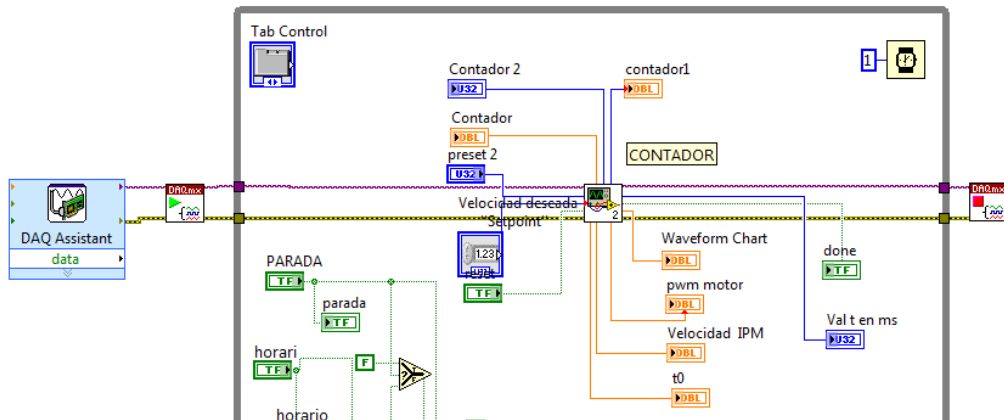
Dentro del Icono proceso se encuentra el icono de sentido de giro del motor, la señal para activar la antorcha de la soldadora, iconos como la parada o pausa al sistema, el icono de emergencia para desactivar todas las señales de que se encuentren enviando, estos iconos se pueden insertar en Front Panel de Labview – Control- Express- Buttons. Ver ilustración 62.



**Figura 62. Ventana de Interacción con el usuario.**

Fuente: Propia

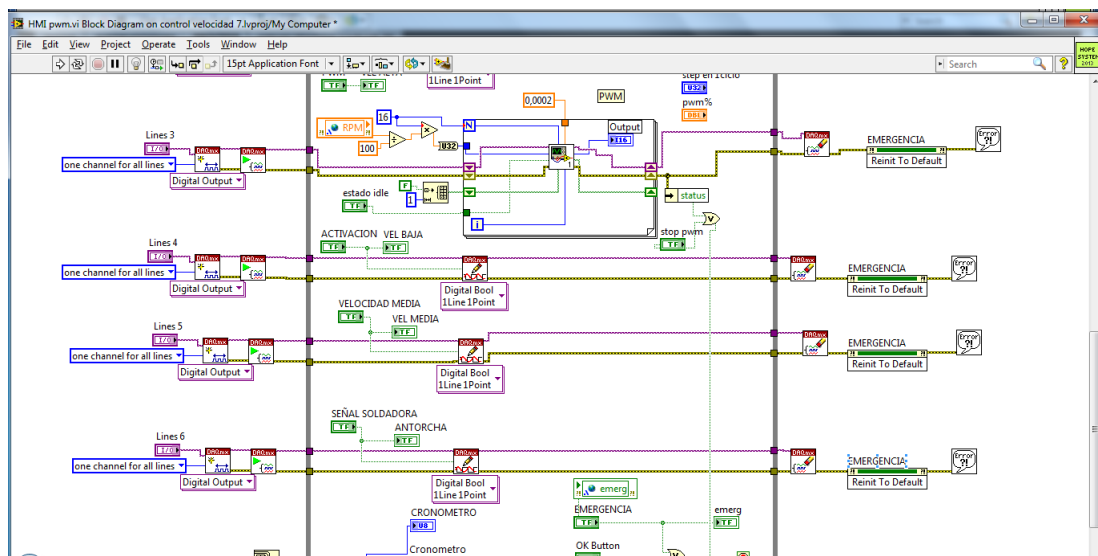
Centralmente el diagrama de bloques se utiliza SubVIs para la programación, se establece la entrada digital del encoder para la lectura de la velocidad actual en la que se encuentra el motor a través de icono DAQ Assistant, está señal se envía a DAQmx start task el cual transforma la tarea al estado de ejecución para iniciar la medición, la misma se dirige al SubVIs llamado Contador donde realiza el proceso de calcular la velocidad actual del motor, adicionalmente genera una salida hacia el diagrama de :



**Figura 63. Diagrama de Bloques 1 Labview**

Fuente: Propia

En esta parte del diagrama se establece la salida del PWM para él envié a través de la salida digital hacia el circuito, implantando variables como frecuencia, ciclo de trabajo, estado del PWM como salida.

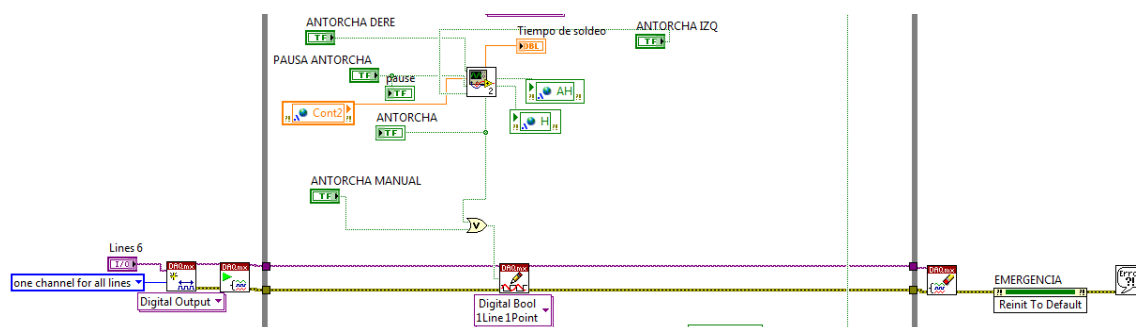


**Figura 64. Diagrama Salida del PWM.**

Fuente: Propia

La implementación del tiempo de retraso se realizó a través de comparadores que permitan tener la diferencia de 1 segundo en el proceso

de soldar, se programó a través de subVIs para llamar a RUN a un solo VI, no se aplicó un delay time directamente desde Labview debido que este tiempo de espera afecta a todo la programación, y ese no es el objetivo que se busca, en la siguiente ilustración se muestra la programación.



**Figura 65. Programa de tiempo de espera.**

Fuente: Propia

#### 5.4.4. Calibración del sistema control

Para la obtención de valores del sensor encoder se necesita conocer la velocidad angular, la misma que está compuesta por el desplazamiento angular dividido para el tiempo, para lo cual se colocó un disco ranurado con 12 ranuras para expresar las mismas en desplazamiento, se tiene la relación de  $12 \text{ ranuras} = 360^\circ = 1 \text{ vuelta} = 1 \text{ rev.}$  Se realiza la toma de datos de los pulsos cada 6 ranuras, esto es igual a 0,5 rev., representando así el desplazamiento, para la adquisición del tiempo se toma el tiempo cuando el contador está en 0 ( $t_0$ ) y el tiempo cuando el contador llegue a 6 ( $t_f$ ), la diferencia se obtiene un  $\Delta t = t_f - t_0$ , el mismo que se encuentra en milisegundos en el programa de Labview, para tener en minutos se divide este para 60000 ms, finalmente la velocidad en revoluciones por minuto (rpm) se divide el desplazamiento de 0,5 rev., para  $\Delta t$ . La velocidad en el

eje de transmisión se logra al aplicar la ecuación 3.16 y 3.17, al valor de velocidad en rpm, obteniendo así la velocidad en IPM, esta velocidad es con la que se trabajará.

Además se nota que la frecuencia de la señal del encoder es baja por lo cual se utiliza el método de modulación de ancho de pulso PWM para el control de velocidad.

La modulación por anchura de pulsos PWM, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal cuadrada, la misma que sirva para controlar la cantidad de energía que se envíe a una carga, de esta manera se regula la velocidad de giro de los motores, en donde se mantiene el par motor constante y no supone un desaprovechamiento de la energía eléctrica. (Wikipedia, 2013)

Se calibra el ciclo de trabajo del motor a través del circuito electrónico modulado por anchura de pulsos (PWM), el cual contiene las variables: ciclo del tiempo del PWM ( $T_p$ ), los pasos en un ciclo, el duty cycle o ciclo de trabajo, para lo cual se presenta una tabla de calibración como ayuda.

Primero se debe conocer cual frecuencia de trabajo del PWM se adapta sobre el motor, generalmente se trabaja con 5 k Hz, a través de esta frecuencia se obtendrá el valor del ciclo del tiempo del PWM. Como  $f_p = \frac{1}{T_p}$  se puede calcular el ciclo de tiempo del PWM el mismo que será constante.

**Tabla 34. Tabla de calibración PWM**

Frecuencia Hz	Periodo (T) segundos	Pasos por ciclo	Volt	Amp	% Duty Cycle
5k	0,0002	16	0	0	0%
5k	0,0002	16	4,2	10	10%
5k	0,0002	16	6,3	10	20%
5k	0,0002	16	7,2	10	30%
5k	0,0002	16	9,6	7,7	40%
5k	0,0002	16	12	5,8	50%
5k	0,0002	16	14,4	5	60%
5k	0,0002	16	16,8	4,1	70%
5k	0,0002	16	19,2	3,6	80%
5k	0,0002	16	21,6	3,3	90%
5k	0,0002	16	24	2,9	100%

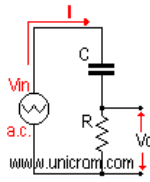
. Fuente: Propia

#### 5.4.5. Filtraje de las señales de ruido

Los filtros de banda analógica y digital separan intervalos de frecuencia, así lo hace un filtro pasa banda, permite el paso de una banda de frecuencia y el resto la rechaza.

Un filtro paso alto RC es un circuito formado por una resistencia y un condensador conectados en serie, como se ve en la figura más abajo.





**Figura 66. Circuito filtro.**

Fuente: Unicrom, FiltroRC pasa alto. Recuperado de:  
[http://www.unicrom.com/Tut\\_filtroRCpasaalto.asp](http://www.unicrom.com/Tut_filtroRCpasaalto.asp)

Para la filtración de señales de ruido se va a colocar capacitores los cuales permitan eliminar señales de ruido o picos en la alimentación, los cuales pueden provocar interferencias en la comunicación de elementos.

## 5.5. Sistema eléctrico del prototipo

### 5.5.1. Análisis de la fuente de poder apta para la aplicación

El análisis de fuente de poder se basa en la necesidad de corriente para el funcionamiento del motor de corriente continua, si las características del mismo es 24V a 70W según la ecuación siguiente se obtendrá la corriente requerida:

$$P = I * V$$

Donde se denomina

P: Potencia

I: Corriente

V: Voltaje

Se despeja la corriente para obtener el valor necesario

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = 2,92 [A]$$

Para una fuente de 24V la corriente que debe poseer la misma es de 3A para una carga de 70 W, si se analiza la aplicación el objetivo de la misma es tener velocidades pequeñas en magnitud pero con un buen torque. Si se reduce el voltaje, la velocidad en el motor será menor, pero el consumo de corriente debe ser mayor para mantener el torque requerido.

El control a utilizar realiza una variación de velocidad con el voltaje nominal colocado, pero hay que tomar en cuenta que si se requiere velocidad pequeña se necesita mayor amperaje, se muestra una tabla de cálculo de acuerdo a los voltajes posibles que tomara el control.

**Tabla 35. Valores de Corriente Requerida**

Potencia (cte)	Voltaje (V)	Corriente (A)
70W	24	2,91
70W	18	3,89
70W	12	5,83
70W	9	7,78
70W	6	11,67
70W	4,5	15,56

Fuente: Propia

En conclusión la fuente de poder requerida es una fuente de 24V que suministre al menos 10A, para generar la suficiente corriente sin perder torque.

### 5.5.2. Selección de componentes, cables y conectores.

En el control eléctrico se utiliza diferentes dispositivos, los más usados e indispensables son:

#### Relés.

Es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes



**Figura 67. Relés.**

Fuente: Relés. Recuperado de: [www.autosindetalle.cl](http://www.autosindetalle.cl)

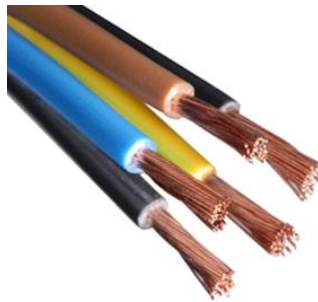
#### Conductores (Cables).

Se llama cable a un conductor o conjunto de ellos generalmente recubierto de un material aislante o protector. Los cables tienen como

propósito conducir electricidad, son fabricados generalmente de cobre, debido a la excelente conductividad de este material

Un mal dimensionamiento de conductores eléctricos puede ocasionar los siguientes problemas:

- Variaciones de voltaje
- Cortes de suministro
- Pérdida de energía
- Corto circuito
- Sobrecalentamiento de líneas
- Riesgo de incendio



**Figura 68. Conductores Eléctricos.**

Fuente: Conductores Eléctricos. Recuperado de:  
<http://instalacioneselctricasresidenciales.blogspot.com/2012/07/conductores-electricos.html>

### **Fusibles.**

Se denomina fusible a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión que se interfiere en un punto determinado de una instalación eléctrica

para que se funda, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación.



**Figura 69. Fusibles de vidrio y plásticos.**

Fuente: Fusibles Recuperado de: <http://es.dreamstime.com/foto-de-archivo-libre-de-regalas-fusibles-image2838735>

### **Conectores.**

Un conector eléctrico es un dispositivo para unir circuitos eléctricos, en este caso se utiliza en la conexión del motor hacia la caja de control.



**Figura 70. Conectores individuales y en grupo.**

Fuente: Conectores Recuperado de: [www.deautogroup.com](http://www.deautogroup.com)

## CAPÍTULO 6

### PLAN DE PRUEBAS

#### 6.1. Pruebas de Comunicación

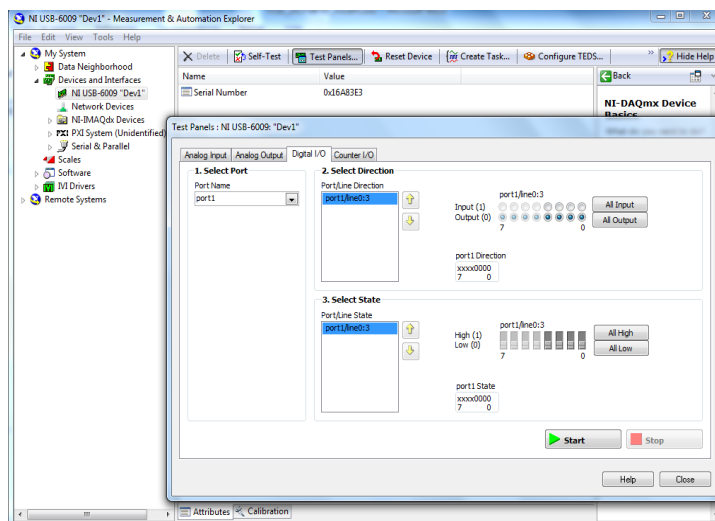
##### 6.1.1. Comunicación entre sensores y DAQ

La comunicación que se realiza entre el sensor y la MYDAQ es por medio de la tarjeta de adquisición de datos la cual se configura el canal como entrada digital debido que se tiene un disco con ranuras que permitirá tener la señal de pulsos cada vez que detecte dicha señal.

Físicamente, desde la salida de las borneras del sensor hasta el canal de entrada digital (DIO) se utiliza alambre de 3 hilos protegido para campos magnéticos.

Para verificar la entrada de datos a dicho canal se realiza lo siguiente:

- En Measurement & Automation dirigirse a Test Panel- Digital I/O los canales que están configuradas con un foco son entradas digitales, entonces cada vez que pase por una ranura del disco se encenderá el mismo. Encendido el foco significa un 1 lógico, apagado el foco significa un 0 lógico de tal manera que irá generando un tren de pulsos, de la misma frecuencia.



**Figura 71. Configuración de la DAQ.**

Fuente: Labview 2011

Se muestra una tabla lógica de la lectura del sensor:

**Tabla 36. Lógica para lectura de sensor**

Grados (°)	Numero de ranura	Lectura sensor
0-360	1	1
15	-	0
30	2	1
45	-	0
60	3	1
75	-	0
90	4	1
105	-	0
120	5	1
135	-	0
150	6	1
165	-	0
180	7	1
195	-	0
210	8	1
225	-	0
240	9	1

255	-	0
270	10	1
285	-	0
300	11	1
315	-	0
330	12	1
345	-	0

Fuente: Propia

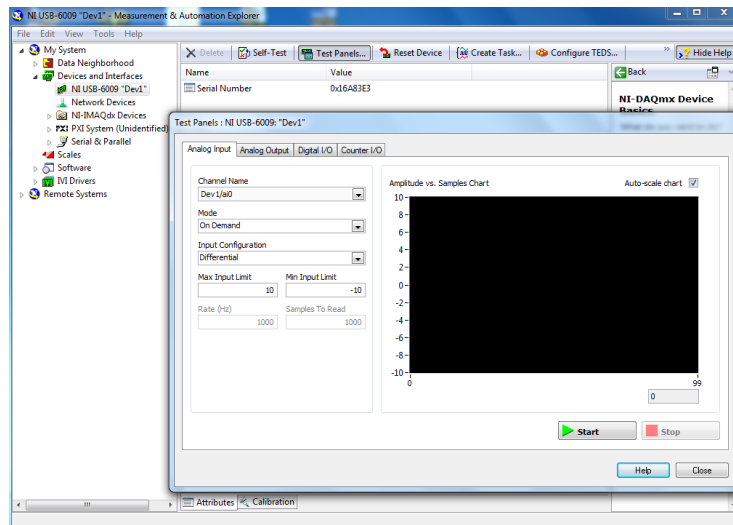
### 6.1.2. Comunicación entre DAQ, Interfaz Gráfica

La comunicación entre la Tarjeta de Adquisición de datos (MYDAQ) y la interfaz Gráfica de Labview en PC, se realiza por medio del puerto USB, el tipo de cable es USB A/B 2.0 el cual se define por tener un extremo USB tipo A (aplanado) macho para conectar a un ordenador y otro tipo B (más cuadrado) macho para conectar a la tarjeta de adquisición de datos. Las características de este cable son las siguientes:

- Compatibilidad con Windows 7
- Alta velocidad de transferencia 480 Mbps
- Funciona con USB 2.0

Se debe realizar la instalación de los drivers de la tarjeta de adquisición para el reconocimiento de la misma en la PC, para verificar la conexión entre la MYDAQ y la Interfaz Gráfica, se debe dirigir a inicio – Measurement & Automation – Devices and Interfaces- Test Panels.

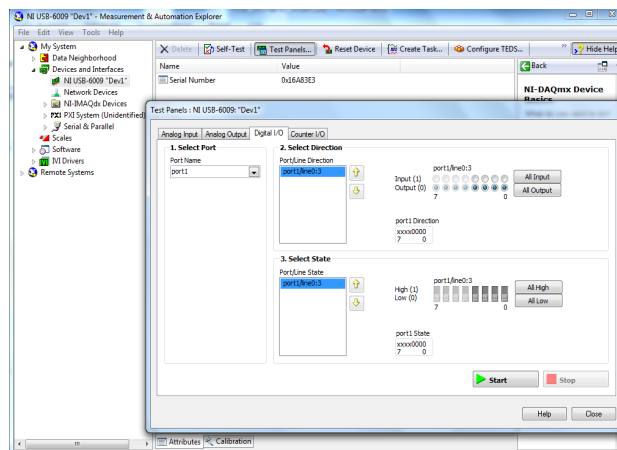




**Figura 72. Verificación de la conexión entre la DAQ y la Interfaz Gráfica.**

Fuente: Labview 2011.

Test Panel permite configurar los canales digitales como entrada digital o salida de acuerdo al puerto seleccionado Port0/Port1 las salidas digitales se pueden configurar con salida en alto (high-5V) o en bajo (low-0V).



**Figura 73. Configuración, de los canales digitales.**

Fuente: Labview 2011.

Para guardar esta configuración se necesita hacer click en Start para asegurarse de la configuración y probar el canal seleccionado

Una vez configurado en Labview en Panel Frontal se selecciona el canal digital donde se tendrá la salida hacia los actuadores.

## 6.2. Preparación de los materiales a soldar

La preparación de los materiales a soldar son la clave en el procedimiento de la soldadura, preparar los bordes de la pieza acorde al diseño del bisel y el tipo de junta, igualmente se debe retirar o remover impurezas o contaminantes, todo aquello que impida que la soldadura sea efectiva.

La posición de soldeo que se utilizara es la posición 5G: tubería horizontal inmóvil, es decir que la tubería no rota, la misma que contiene a todas las posiciones existentes. En el Anexo 7 se puede encontrar las posiciones de soldadura.



LA TUBERÍA NO SE  
ROTA  
MIENTRAS SE SUELDA  
5G

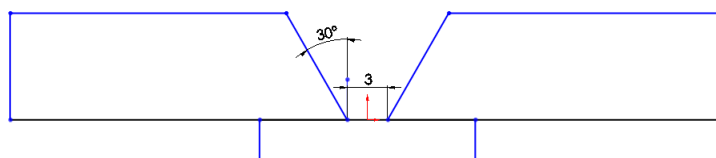
**Figura 74. Posición 5G**

Fuente: Manual de soldadura Indura

a) Preparación de las juntas y diseño de la unión

El tipo de junta que se utiliza es a tope, simétrica, la misma que es empleada sobre todo para espesores de entre 6 y 20mm de las piezas a unir y en soldaduras con backing, en este caso el espesor de la tubería es de 7,03mm (0,277 in). Se utiliza backing para mejorar la fusión de la raíz.

En cuanto al bisel se decidió realizar con un ángulo de  $30^\circ$  con respaldo, para mejorar la fusión de la raíz y la penetración. La Figura 6.5. muestra la sección transversal de las placas a soldar, debido al ángulo de biselado, la longitud de separación en la parte inferior de las placas va de 3mm (root opening).



**Figura 75. Esquema de tipo de junta a implementar.**

Fuente: Propia

Para desbastar a la placa en este ángulo se torneó las placas de pruebas se puede utilizar un esmeril, amoladora, teniendo cuidado de refrigerar al material para evitar cualquier cambio microestructural cuando se torne. Para la verificación del ángulo de biselado se puede verificar a través de un galga de soldadura en ángulo, figura 6.6.



**Figura 76. Galga para medir ángulos.**

Fuente: Compañía de Gage. Recuperado de: [http://www.galgage.com/measuring\\_gauges.html](http://www.galgage.com/measuring_gauges.html)

### **Limpieza previa y preparación de la superficie**

La limpieza es un requisito importante para realizar cualquier tipo de soldadura. Pues ayuda a minimizar errores o defectos, es recomendable que las juntas estén libres de grasa, suciedad y óxidos. Así, para obtener superficies adecuadas de los materiales a soldar se ha utilizado discos esmeriladores para acero. Cepillo de alambre o grata

### **Limpieza posterior**

La soldadura FCAW se hace con electrodo fundente, por lo tanto la única limpieza que se realiza es quitar la escoria y el chisporroteo.

### **6.3. Pruebas Funcionales y Operativas**

Funcionalmente las paradas de emergencia, la activación de la antorcha como el motor proporcionarían el movimiento y soldadura sobre la junta preparada, estas deben estar sincronizadas de tal manera que realice la

soldadura de manera satisfactoria. El ajuste debe ser preciso para que no existan holguras que permitan desalinear el alambre a lo largo de la junta.

Operacionalmente, el sistema de estar calibrado para que responda de acuerdo a la velocidad requerida por el proceso , así como los botones de emergencia, parada o pausa en el mismo, deben estar en total funcionamiento para evitar accidente para el operario.

### **Pruebas de sistema motriz de desplazamiento rotacional**

En cuanto al sistema motriz que está compuesto por el motor reductor conjuntamente con un sistema de reducción, se encuentra enlazado junto al eje motriz de transmisión. Previo a las pruebas de éste sistema se procederá a realizar las siguientes verificaciones generales:

- Alineación.- Este es un aspecto importante debido que la alineación de las chumaceras para el eje debe estar en posición recta, así como también la alineación del sistema de reducción de velocidad, aunque durante la construcción se previó estos parámetros no está demás verificar antes de su puesta en marcha.
  
- Concentricidad.- Se verifica que la distancia entre la tubería y la riel-anillo sean iguales en los puntos de los soportes base de manera que se encuentre concéntrico los dos elementos. Para ésta comprobación

se utilizó una escuadra con un flexometro, o simplemente una regla metálica.

Luego de comprobar que estos aspectos se encuentran como se indica, se procedió a conectar el motor y hacer pruebas de funcionamiento para comprobar el comportamiento de la estructura y del cabezal. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 6.2.

**Tabla 37. Resultado prueba del sistema motriz de desplazamiento.**

Prueba	Resultado
Relación de velocidades	9:1
Vibración	Escasa
Deformación de los ejes	Mínima
Deslizamiento de engranajes	Nulo
Atascamiento de cadena	Nulo
Deslizamiento de piñón motriz	Mínimo

Fuente: Propia

Como se muestra en la tabla de resultados el sistema se encuentra en normal funcionamiento

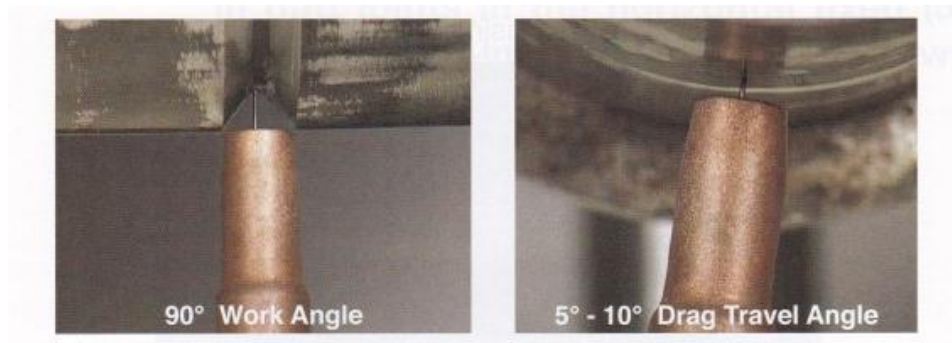
### **Sistema de posicionamiento y sujeción de la antorcha**

Para realizar las pruebas de soldadura orbital se debe tomar en cuenta parámetros a verificar para empezar.

- Posición de boquilla

El ángulo de trabajo de la boquilla se debe encontrar a 90° con respecto a la tubería en vista frontal hacia la junta, en cuanto al ángulo de avance la

boquilla debe entrarse en un rango de 5 a 10° en vista lateral a la junta. El rango de distancia que debe existir entre el filo de la boquilla y la tubería varía desde los 5mm a 15mm. En la figura 6.7. se muestra.

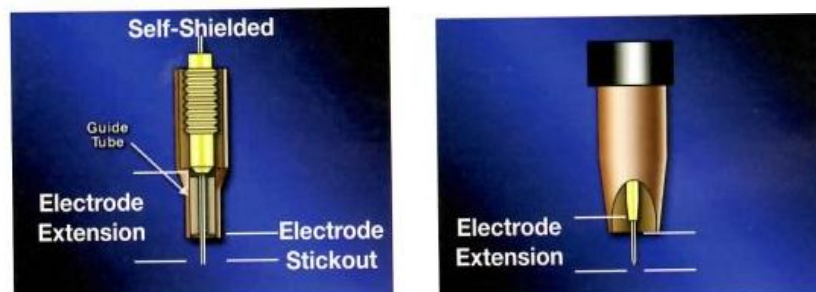


**Figura 77. Posición de Boquilla.**

Fuente: Hobart Institute of Welding Technology Book

- Extensión del electrodo.

La extensión del electrodo para autoprotegido (FCAW-S) varía entre los 6,4 mm a 15,9 mm, mientras con gas de protección (FCAW-G) está entre 12,7mm a 19,0mm. En cuanto al Stickout del alambre debe estar entre 5mm y 12,7mm como máximo.



**Figura 78. Extensión del electrodo.**

Fuente: Hobart Institute of Welding Technology Book

Como se va a soldar con electrodo tubular E71T-11, las características de este se rigen al AWS 5.20 que permite soldar en todas las posiciones, sin embargo se realiza en dos pases, sean ascendente, o descendente.

La designación del tubo se realizara a través de secciones para referenciar al momento de efectuar la soldadura, así se toma como guía la asignación de los relojes como se muestra en la figura 6.9.



**Figura 79. Asignación de la Tubería.**

Fuente: propia

Se asignará la longitud comprendida entre las 6-3-12 o viceversa como soldadura ascendente/descendente derecha (a), mientras que el espacio recorrido entre las 6-9-12 o viceversa se llamará soldadura ascendente/descendente izquierda (b).

### **Sistema de sujeción del cabezal hacia riel-anillo**

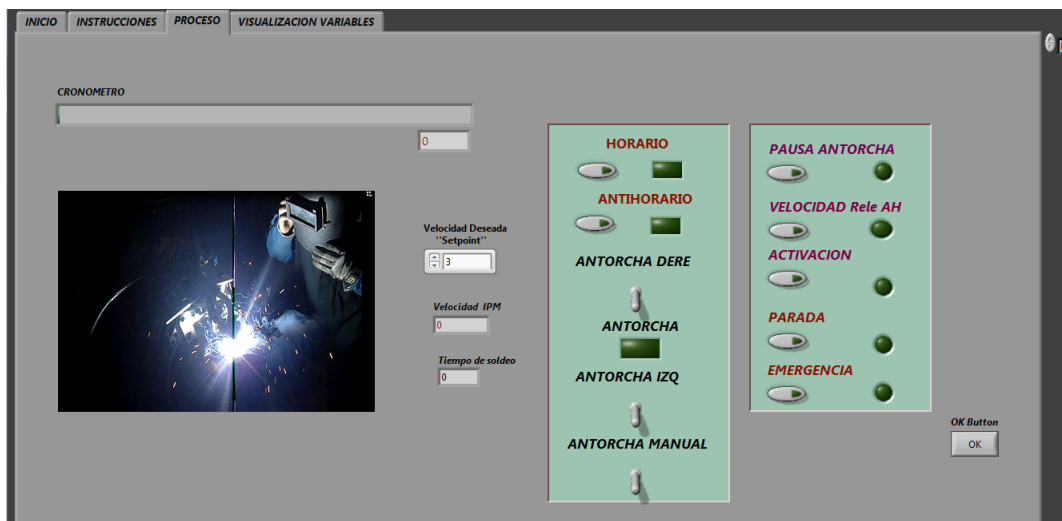


Para el sistema de sujeción se utiliza rodamientos de bolas, al realizar la verificación pertinente, se debe comprobar que giren con normalidad, y sin holgura entre el rodamiento y el diámetro interno del riel-anillo.

### Sistema de control de velocidad

La comprobación del sistema se debe realizar probando cada uno de los botones colocados en el VI, Así se verificación del control de velocidad con retroalimentación.

Entonces se tiene la figura 6.10. que muestra los botones existentes:



**Figura 80. Iniciación del programa.**

Fuente: Propia

Para comprobar el funcionamiento se somete a una tabla de evaluación para verificar como está respondiendo el sistema. Se asignara 1 como activo y 0 para Desactivo.

Sistema de control

**Tabla 38. Evaluación al Sistema de control**

Activación	Vel. Requerida IPM	Vel. Actual IPM	Giro Motor Horario	Giro Motor AH	Antorcha	Tiempo de soldadura
Vel. Requerida IPM	1	0	0	0	0	0
Vel. Actual IPM	1	1	0	1	0	0
Horario (H)	1	1	1	0	0	0
Anti horario (AH)	1	1	0	1	0	0
Antorcha Derecha	1	1	0	1	1	1
Antorcha Izquierda	1	1	1	0	1	1
Antorcha manual	1	0	0	0	1	0
Pausa Antorcha	1	0	0	0	0	0
Parada	0	0	1	1	0	0
Emergencia	1	0	0	0	0	0
Tiempo de soldadura	1	1	0	1	1	1

Fuente: Propia

Si el motor se encuentra girando se podrá tener un valor en velocidad actual. Si es activada Antorcha derecha/izquierda se puede obtener tiempo de soldeo.

#### 6.4. Pruebas de Soldadura Orbital Automática

Una vez que se verifico funciones operacionales, se puede comenzar a realizar pruebas de soldadura sin embargo también se debe primero calibrar la máquina de soldar con los parámetros de voltaje y amperaje para el espesor de material, como referencia se tomó la tabla de selección de los ajustes de alambre, gas y control de Millermatic 300 (Anexo 8), y el bisel utilizado, la velocidad de avance de soldadura se debe ensayar para seleccionar el progreso correcto de manera que se obtenga un cordón de raíz aceptable. Entonces al probar los voltajes, amperajes como velocidad de avance de soldadura se puede describir a través de una tabla los valores estimados.

Para abarcar todos los términos antes mencionados se puede resumir en un Procedimiento de Especificaciones que el código API 1104 (WPS), da como referencia, ver Anexo 9.

#### **6.4.1. Soldadura Orbital automática sobre tuberías**

Se preparó probetas de 50mm de ancho con el bisel y juntas mencionados anteriormente para comenzar hacer los ensayos.

El perímetro a soldar es de 688 mm (27 in), como se divide en dos secciones para la soldadura se tiene que en cada proceso soldara una longitud de arco de 344 mm (13,5 in)

#### **ENSAYO 1**

Se realizó, en una probeta sin respaldo como ensayo, en lo cual se obtuvo una pequeña fusión de raíz de largo de 40 mm con los siguientes parámetros.

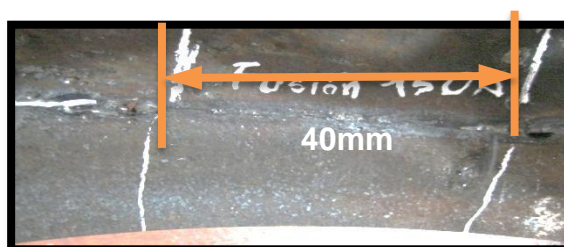
**Tabla 39. Parámetros de Ensayo 1**

Para FCAW-S de acero al carbono	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	N/A
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	22
<b>Velocidad</b>	209
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	130
<b>Velocidad soldeo</b>	3IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	12,7mm
<b>Aporte Térmico</b>	57200 J/in
<b>SOLDADURA DE 6-3</b>	



Fuente: Propia

Los resultados obtenidos con estos parámetros se muestran en la figura 6.11.



**Figura 81. Junta soldada sin respaldo Prueba de soldadura 1.**


Fuente: Propia

## Ensayo 2

- a) Probeta con respaldo, soldada con progresión ascendente derecha, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

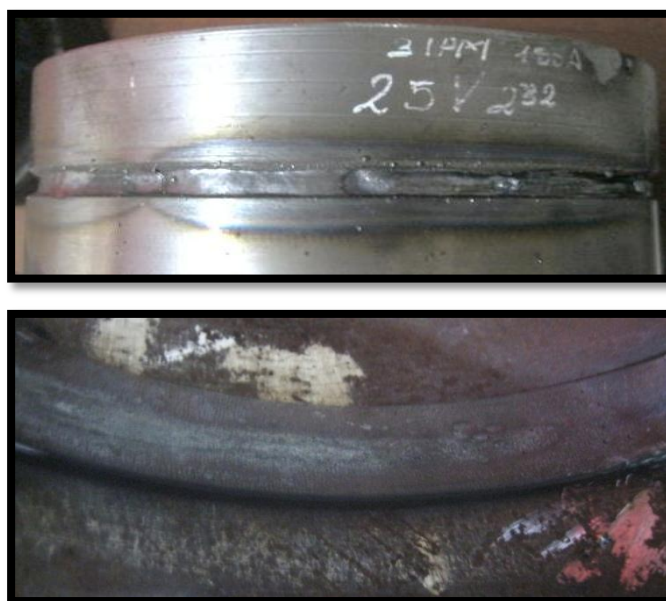
**Tabla 40. Parámetros de Ensayo 2.a.**

Para FCAW-S de acero al carbono	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	25
<b>Velocidad</b>	232
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	150
<b>Velocidad soldeo</b>	3IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	75000 J/in
<b>SOLDADURA DE 6-3-12</b>	



**Soldadura 6-3-12**  
Comprende las Posiciones de:  
De 6-S : Sobrecabeza  
De S-3-P: Vertical  
De P-12: Plana

Fuente: Propia



**Figura 82. Junta soldada con respaldo derecha- Prueba de Soldadura 2.**

Fuente: Propia

- b) Probeta con respaldo, soldada con progresión ascendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 41. Parámetros para Ensayo 2.b.**

Para FCAW-S de acero al carbono	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	22
<b>Velocidad</b>	210
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	115
<b>Velocidad</b>	3IPM



**Soldadura de 6-9-12**  
Comprende las  
Posiciones :  
De 6-S: Sobrecabeza  
De S-9-P: Vertical  
De P-12: Plana

<b>soldeo</b>	
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión</b>	10mm
<b>electrodo</b>	
<b>Aporte Térmico</b>	50600 J/in
<b>SOLDADURA DE 6-9-12</b>	

Fuente: Propia



**Figura 83. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 2.b.**

Fuente: Propia

### Ensayo 3

- a) Probeta con respaldo, soldada con progresión ascendente derecha, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 42. Parámetros de Ensayo 3.a.**

<b>Para FCAW-S de acero al carbono</b>	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)

<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	25
<b>Velocidad</b>	230
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	150
<b>Velocidad soldeo</b>	5IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	45000 J/in
<b>SOLDADURA DE 6-3-12</b>	



Fuente: Propia



**Figura 84. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 3.**

Fuente: Propia



- b) Probeta con respaldo, soldada con progresión ascendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 43. Parámetros de Ensayo 3.b.**

Para FCAW-S de acero al carbono	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	25
<b>Velocidad</b>	245
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	160
<b>Velocidad soldeo</b>	5IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	48000 J/in
<b>SOLDADURA DE 6-9-12</b>	



Fuente: Propia



**Figura 85. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 3.b.**

Fuente: Propia


#### Ensayo 4

- a) Probeta con respaldo, soldada descendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

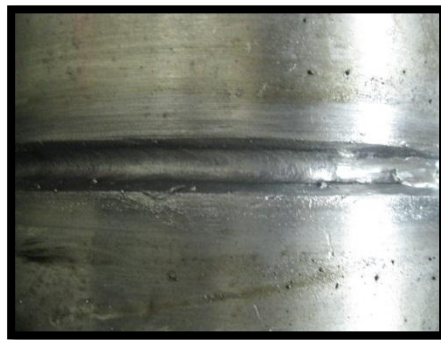
**Tabla 44. Parámetros de Ensayo 4.a.**

Para FCAW-S de acero al carbono	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/a
<b>Polaridad</b>	DCEN

<b>Voltaje</b>	25
<b>Velocidad</b>	230
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	140
<b>Velocidad soldeo</b>	4IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	52500 J/in
<b>SOLDADURA DE 12-9-6</b>	



**Soldadura de 12-9-6**  
Comprende las Posiciones:  
De 12-P: Plana  
De P-S: Vertical  
De S-6 : Sobrecabeza



**Figura 86. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 4.a.**

Fuente: Propia

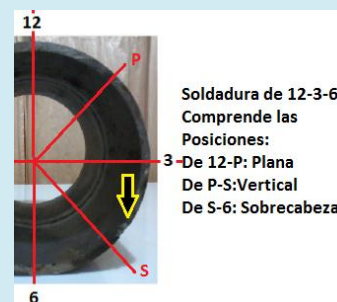
- b) Probeta con respaldo, soldada descendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 45. Parámetros de Ensayo 4.b.**

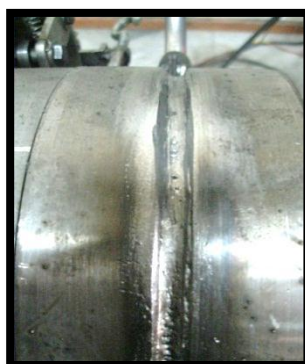
**Para FCAW-S de acero al carbono**

**Metal Base** Tubería- 2''x8<sup>5/8</sup>''x0,277'',

	(50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	22
<b>Velocidad</b>	198
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	120
<b>Velocidad soldeo</b>	3IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	52800 J/in
<b>SOLDADURA DE 12-3-6</b>	



Fuente: Propia



**Figura 87. Junta soldada con respaldo derecha-Prueba de Soldadura 4.b.**

Fuente: Propia

## Ensayo 5

- a) Probeta con respaldo, soldada con progresión descendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

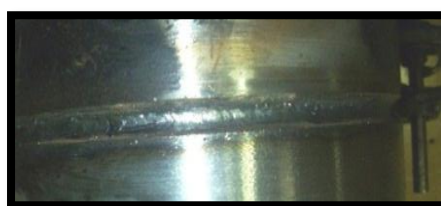
**Tabla 46. Parámetros de Ensayo 5.a.**

---

**Para FCAW-S de acero al carbono**

---

<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)	 <p>Soldadura de 12-9-6 Comprende las Posiciones: De 12-P: Plana De P-S: Vertical De S-6 : Sobrecabeza</p>
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo	
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11	 <p>Soldadura de 12-3-6 Comprende las Posiciones: De 12-P: Plana De P-S:Vertical De S-6: Sobrecabeza</p>
<b>Gas Protección</b>	N/A	
<b>Polaridad</b>	DCEN	
<b>Voltaje</b>	23	
<b>Velocidad</b>	230	
<b>Alambre (WFS)</b>		
<b>Amperios</b>	160	
<b>Velocidad soldeo</b>	3 IPM	
<b>Flujo de Gas</b>	N/A	
<b>Extensión electrodo</b>	10mm	
<b>Aporte Térmico</b>	73600 J/in	
<b>SOLDADURA DE 12-9-6 y 12-3-6</b>		



**Figura 88. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 5.a.**

Fuente: Propia

- b) Probeta con respaldo, soldada con progresión descendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 47. Parámetros de Ensayo 5.b.**

<b>Para FCAW-S de acero al carbono</b>	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11

<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	23
<b>Velocidad</b>	230
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	160
<b>Velocidad soldeo</b>	3IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	73600 J/in
<b>SOLDADURA DE 12-9-6</b>	



Fuente: Propia



**Figura 89. Junta soldada con respaldo derecha -Prueba de Soldadura 5.b.**

Fuente: Propia

## Ensayo 6

- a) Probeta con respaldo, soldada con progresión descendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 48. Parámetros de Ensayo 6.a.**

<b>Para FCAW-S de acero al carbono</b>	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)

<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo	 <p>Soldadura de 12-3-6 Comprende las Posiciones: De 12-P: Plana De P-S: Vertical De S-6: Sobrecabeza</p>
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11	
<b>Gas Protección</b>	N/A	
<b>Polaridad</b>	DCEP	
<b>Voltaje</b>	23	
<b>Velocidad</b>	230	
<b>Alambre (WFS)</b>		
<b>Amperios</b>	160	
<b>Velocidad soldeo</b>	3IPM	
<b>Flujo de Gas</b>	N/A	
<b>Extensión electrodo</b>	10mm	
<b>Aporte Térmico</b>	73600 J/in	
<b>SOLDADURA DE 12-3-6</b>		

Fuente: Propia



**Figura 90. Junta soldada con respaldo derecha-Prueba de Soldadura 6.a.**

Fuente: Propia

- b) Probeta con respaldo, soldada descendente izquierda, se realiza configurando con los siguientes parámetros:

**Tabla 49. Parámetros de Ensayo 6.b.**

Para FCAW-S de acero al carbono	
<b>Metal Base</b>	Tubería- 2"x8 <sup>5/8</sup> "x0,277", (50,8X219,1x7 mm)
<b>Respaldo</b>	8,071" (205,1mm) Dia. Anillo
<b>Electrodo</b>	0,045" (1,2mm) E71T-11
<b>Gas Protección</b>	N/A
<b>Polaridad</b>	DCEN
<b>Voltaje</b>	23
<b>Velocidad</b>	230
<b>Alambre (WFS)</b>	
<b>Amperios</b>	160
<b>Velocidad soldeo</b>	3IPM
<b>Flujo de Gas</b>	N/A
<b>Extensión electrodo</b>	10mm
<b>Aporte Térmico</b>	73600 J/in
<b>SOLDADURA DE 12-9-6</b>	



Fuente: Propia



**Figura 91. Junta soldada con respaldo izquierda-Prueba de Soldadura 6.b.**

Fuente: Propia



## **6.5. Verificación de Soldadura a través de Ensayos No destructivos**

La utilización de técnicas no destructivas permite evaluar la condición de un elemento estructural sin tener que intervenirlo físicamente, conservando las especificaciones de diseño, el objetivo de los ensayos no destructivos es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes o partes fabricadas.

Los defectos a detectar son: Poros, grietas, cráteres, socavaciones, bajos rellenos, sobre rellenos, salpicaduras, escoria, rugosidad.

### **6.5.1. Inspección visual de la soldadura realizada**

La inspección visual es uno de los métodos de ensayos no destructivos que se aplica a las pruebas realizadas, los resultados de esto permite verificar si el cordón realizado es apropiado para el desarrollo del proceso.

La soldadura debe estar libre de grietas, mordeduras, penetración inadecuada y quemones, y debe presentar apariencia de limpieza y destreza en su ejecución.

Como resultados de inspección visual se tiene el Anexo 10 con las observaciones realizadas a cada probeta realizada.

Se puede resaltar que los backing o respaldo colocados en las probetas de soldadura muestran la fusión que existe en la raíz, se observa también la falta de relleno.

#### **6.6. Velocidad de respuesta de sistema**

La velocidad de respuesta se puede conocer a través del tiempo de establecimiento el cual es el tiempo que tarda la salida del sistema en establecerse en una franja alrededor del valor final. Se puede tomar los mismo al  $\pm 2\%$  y al  $\pm 5\%$ . Se identifica en el gráfico de velocidad actual, en el programa Labview.

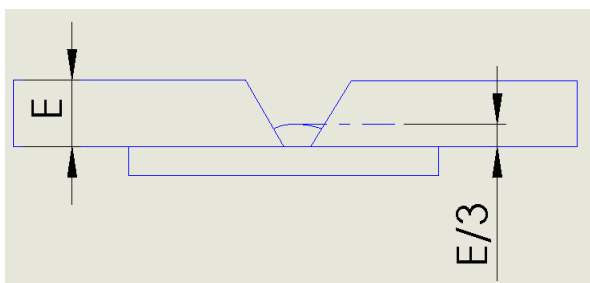
## CAPÍTULO 7

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 7.1. Codificación de resultados para el proceso semiautomático y automatizado, comparación de la velocidad de avance con el soldador y con el proceso automatizado.

Durante las pruebas realizadas con el prototipo, se tuvo que calibrar la máquina de soldar, para la junta respectiva, como referencia se tomó la tabla de selección de los ajustes de alambre, gas y control de Millermatic 300 (Anexo 8), donde muestra valores de voltaje y velocidad de alimentación de alambre para un espesor de material base dado.

Para especificar un tipo de discontinuidad o defecto después de la evaluación sobre el cordón de soldadura, se ha considerado el valor nominal del primer pase de raíz especificado en el procedimiento de soldadura, y los criterios en base a lo que especifica el código y en base a lo que especifica el procedimiento de inspección visual, el cual contiene los criterios de evaluación.



**Figura 92. Esquema de cordón de soldadura aceptable**

Fuente: Propia

Como el espesor de la tubería es 7 mm, el primer cordón de soldadura que cubrirá se aproxima a un tercio del espesor, es decir aproximadamente de 2,5 mm, en la mayoría de las probetas realizadas se toma la medición de este valor. Si la profundidad es >2,5 se puede dar el criterio de un cordón ancho, caso contrario será un cordón angosto/ delgado.

De acuerdo a las pruebas hechas se muestra a continuación los valores con los cuales se ensayó.

**Tabla 50. Recopilación de Parámetros de soldadura ascendente.**

Posición Ascendente 6-3-12 / 6-9-12						
N° Prueba	Voltaje	Vel Alambre	Amperaje	Stickout	Posición Antorcha	Observación
1	18 V	126	80	10mm	10°	Muy delgado el cordón, por mal selecciona miento de voltaje
2	21 V	125	105	8mm	10°	Cordón delgado sin marcar el backing como fusión en la raíz.
3	23 V	280	170	8mm	10°	Demasiado ancho el cordón, amperaje excesivo
4	20 V	125	50/6 0	5mm	10°	Se Pasa el alambre, por posición de boquilla muy cerca
5	25 V	230	130/ 140	12mm	10°	Parámetros aceptables para el cordón de raíz

Fuente: Propia

**Tabla 51. Recopilación de Parámetros de soldadura descendente**

Posición Descendente						
----------------------	--	--	--	--	--	--

N° Prueba						Observación
	Voltaje	Vel Alambre	Amperaje	Stickout	Posición Antorcha	
1	25	230	140/150	10mm	10°	Cordón ancho por voltaje alto
2	25	240	150/160	10mm	10°	Excesivo amperaje, voltaje, en el cordón de raíz demasiado exagerado
3	23	230	140/150	10mm	10°	Cordón con buena presencia.
4	23	240	160/170	10mm	10°	Cordón con buena presencia. Sin embargo Hay que tomar en cuenta la velocidad de avance debido al amperaje alto.

Fuente: Propia

De acuerdo a las observaciones que se hizo en las pruebas se muestra que si se coloca la distancia muy corta de Stickout, el arco eléctrico le funde demasiado el material base, haciendo que el alambre se sobre pase y no suelde. Por otra parte el ángulo de la antorcha varía de 5 a 10° en sentido de la dirección de avance de la soldadura de manera que realice un empuje al arco eléctrico en el recorrido de la junta.

Se presenta una tabla donde se analiza las fallas más monótonas que se encuentran en el informe de inspección visual:

**Tabla 52. Defectos y Causas en las Pruebas de soldadura orbital**

Defectos	Causas y soluciones
Mal Aspecto	Causa probables <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conexiones defectuosas</li> <li>▪ Desalineación</li> </ul>



- Longitud de arco y amperaje inadecuado

#### Recomendaciones

- Usar la longitud de arco, ángulo del electrodo y velocidad de avance adecuado.
- Evitar usar corriente demasiado elevada.

#### Falta de llenado



- Causas Probables

Mal posicionamiento de la antorcha

- Recomendaciones

Posicionar el ángulo de la antorcha correctamente.

#### Falta de fusión



#### CAUSAS PROBABLES

- Calentamiento desigual o irregular
- Contracción del metal de aporte.
- Velocidad de avance

#### SOLUCIONES

- Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.
- Utilización de un tiempo de espera en el sistema de control de la antorcha antes de comenzar a soldar.

#### Penetración incompleta

#### Causas Probables

- Velocidad de avance excesivo



- Corriente muy baja
- Backing no muestra marca de fusión total por ende penetración

#### Recomendaciones

- Usar la corriente adecuada
- Velocidad de avance lenta para lograr una buena penetración en la raíz

Fuente: Propia

Se obtuvo los siguientes valores de velocidad de avance óptimos para la soldadura requerida:

**Tabla 53. Recopilación de Velocidades de Soldadura del Prototipo.**

Posición	Velocidad
6-3-12	5ipm
6-9-12	5ipm
12-3-6	3ipm
12-9-6	3ipm

Fuente: Propia

En la soldadura ascendente se utilizó 5ipm, debido que la potencia es igual al torque por la velocidad, si esta es baja se necesita más potencia en el motor para vencer la inercia del conjunto, de esta manera se necesitara más torque. Para tener mayor torque el motor vendrá a consumir más corriente, disminuyendo por otro lado el voltaje que se expresara en el controlador por medio del ancho de pulso, la etapa de potencia soporta este requerimiento tanto en voltaje como amperaje.

En cuanto a la soldadura descendente se utilizó 3ipm, debido que la masa del cabezal está en sentido de la gravedad, si es mayor la velocidad puede provocar que se acelere de una mínima forma afectando de esta

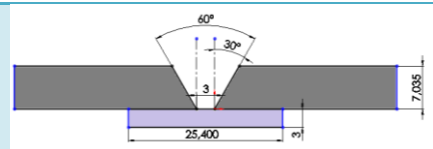
manera la penetración de la soldadura, y la presentación de la misma, para lo cual es preferible tener un avance lento para obtener un cordón uniforme tanto en profundidad como en ancho.

**Tabla 54 Esquematización de Probeta Ensayada**

**Esquema de Probeta**

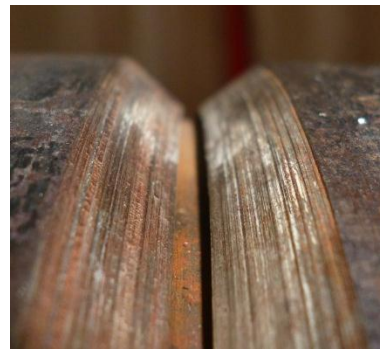
**Diseño de probeta**

**ideal**



**Probeta preparada de**

**acuerdo WPS**



**Probeta soldada con**

**Proceso Mecanizado**



Fuente: Propia

Los valores para proceso semiautomático son los siguientes de acuerdo a las posiciones, se calculó de acuerdo a la distancia soldada y el tiempo tomado.



**Tabla 55. Recopilación de velocidad de cada Proceso**

Posición	Semiautomático	Mecanizado
6-3-12	13ipm	5ipm
6-9-12	12ipm	5ipm
12-3-6	11ipm	3ipm
12-9-6	10ipm	3ipm
<b>Total</b>	<b>11,5ipm</b>	<b>4ipm</b>

Fuente: Propia

**7.2. Cuadro de resumen de tiempos para el proceso semiautomático y mecanizado.**

De acuerdo a las pruebas realizadas se toma el tiempo de proceso semiautomático y automático, se muestra una tabla de resultados de los mismos.

**Tabla 56. Resumen de tiempos en proceso semiautomático**

Semiautomático		
Ascendente		Total
6-3-12	<b>6-9-12</b>	
<b>2min15seg</b>	2min05seg	4min20seg
<b>2min 10seg</b>	2min00seg	4min10seg
Descendente		
		Total
12-3-6	<b>12-9-6</b>	
<b>1min50seg</b>	1min40seg	3min30seg

Fuente: Propia

**Tabla 57. Resumen de tiempos en proceso mecanizado.**

Mecanizado	
Ascendente	Total

6-3-12	6-9-12	
<b>1min20seg</b>	1min26seg	2min46seg
<b>1min30seg</b>	1min25seg	2min55seg
<b>1min23seg</b>	1min25seg	2min48seg
Descendente		<b>Total</b>
12-3-6	12-9-6	
<b>1min08seg</b>	1min15seg	2min23seg
<b>1min10seg</b>	1min05seg	2min15seg
<b>1min09seg</b>	1min10seg	2min19seg

Fuente: Propia

De los resultados se observa que existe un porcentaje de velocidad de avance para el proceso mecanizado del 54,54% respecto al proceso semiautomático. Si se lleva estos valores a la producción de campo, se observa el beneficio dentro de los costos de mano de obra, tiempo de montaje, tiempo de soldadura, mayor confiabilidad en la penetración de la soldadura de raíz y menor probabilidad de falla.

### 7.3. Análisis Económico

En la proyección de todo proyecto es necesario realizar un análisis económico para conocer la rentabilidad y factibilidad del mismo. Para de esta manera conocer el alcance del proyecto.

Además este análisis permite conocer, el tipo de elementos que se utilizará durante la construcción, que pueden ser nuevos, o usados, para minimizar costos.

### 7.3.1. Costos Directos

Los costos directos están referidos a los costos de materiales directos y mano de obra directa destinados a la fabricación del prototipo, dichos valores son consignados por las casas comerciales donde se adquirieron cada elemento.

En el Anexo 11 se muestra una tabla a detalle de los materiales directos utilizados. A continuación se muestra un resumen del subtotal de los gastos obtenidos en materia prima.

**Tabla 58. Materiales Directos**

Materiales Directos			
Rubro	Unidad	Precio USD	Cantidad
<b>Materia Prima</b>	Lista	1275,26	1.275
		Subtotal	\$ 1.275,26

Fuente: Propia

En cuanto al costo de la mano de obra directa para el desarrollo del proyecto, se ha tomado en cuenta la ingeniería de prototipo como el aporte por parte del desarrollador, el soporte especializado a la intervención de personal para llevar a cabo la construcción del proyecto, y servicios externos como talleres para maquinado de piezas.

Tabla 59. Mano de obra directa

<b>Mano de obra directa</b>			
			<b>Cantidad</b>
Rubro	Unidad	Precio USD	10
<b>Ingeniera Prototipo</b>	Salario	100	1000
<b>Servicio Externo</b>	Salario	38,875	388,75
<b>Soporte Especializado</b>	Intervención	150	1500
<b>Subtotal</b>			<b>\$ 2.888,75</b>

Fuente: Propia

En el Anexo 11, se especifica a detalle los servicios externos utilizados en la construcción del proyecto.

### 7.3.2. Costos Indirectos

Son aquellos costos cuya identificación están asociados a lo que no se pueden asociar directamente a la unidad de obra terminada, en este caso es el prototipo realizado. Se tomó en cuenta los valores de suministros y servicios, al combustible utilizado para la movilización cuando se requería realizar servicios externos. La utilización del espacio para la construcción son el laboratorio y oficina.

Tabla 60. Suministro y Servicios

<b>Suministros y Servicios</b>			
			<b>Cantidad</b>
Rubro	Unidad	Precio USD	1
<b>Combustible y Movilización</b>	Proyecto	80	80
<b>Oficinas, laboratorio</b>	Proyecto	500	500

Subtotal	\$ 580,00
----------	-----------

Fuente: Propia

Los gastos administrativos vienen a representar la logística para la adquisición de ciertos elementos.

**Tabla 61. Gasto Administrativo.**

Gasto Administrativo			
Rubro	Unidad	Precio USD	Cantidad
<b>Participación Administrativo</b>	Proyecto	660	1
		Subtotal	\$ 660,00

Fuente: Propia

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. Conclusiones

En base al estudio e implementación realizada a lo largo de este documento, se concluye que:

- Con el prototipo de soldadura mecanizada implementado, se logró obtener un pase de raíz sano, con el proceso FCAW-S, el cual se realizó en dos tramos de soldadura desde 6-3-12 ascendente derecha y 6-9-12 ascendente izquierda.
- De los parámetros estudiados, los que la maquina controla son la velocidad de avance de la soldadura, la activación de la antorcha, registro de tiempo de soldeo, mientras que el parámetro que controla el operador es el ángulo del electrodo durante el recorrido.
- En el diseño estructural del prototipo de cabezal se aplicó un sistema de transmisión por cadena, lo cual permite el movimiento de 360°, conjuntamente posee placas con rodamiento que sujeta el cabezal con el anillo-riel

- El control de velocidad diseñado e implementado está basado en un control PWM, de bajo costo, seleccionado según presupuesto asignado, obteniendo así un rango de velocidades de 3ipm a 12ipm, el cual se adapta a la obtención de un buen cordón de soldadura.
  
- La construcción de cada elementos se realizó en taller, utilizando planchas de aluminio, acero de transmisión, herramientas de corte, instrumentos de medición como calibrador, para verificar medidas de cada elemento construido y ensamblado, para evitar de esta manera holguras que causen en futuro desgaste, escuadras para la verificación de linealidad, de las catalinas ensambladas. En cuanto a la implementación de la placa de control, primero se realizó, en protoboard, para verificar su correcto funcionamiento, y consecuentemente construirlo en baquelita.
  
- Con respecto a los resultados obtenidos, en las soldaduras realizadas, se aplicó inspección visual como ensayo no destructivo para dar un criterio de aceptación; donde se pudo verificar la existencia de mordeduras, concavidad, falta de penetración, desalineación en el cordón.
  
- Al momento de soldar en progresión descendente se debe tomar en cuenta que la velocidad de avance en la parte vertical de la tubería,

debe disminuir en un ipm para mejorar el pase de raíz, se debe hacer hincapié que dicha disminución debe ser discreta de tal manera que no afecte la presentación del cordón, el desarrollo de este punto se encuentra dentro de la programación.

- El tiempo de espera de un segundo colocado en la programación ayuda de mejor manera para comenzar a soldar, debido que precalienta el material base, permitiendo eliminar la falta fusión en el pase de raíz.
- Para comprobar propiedades de resistencia para producción se necesita completar la junta para aplicar ensayos mecánicos como doblado de raíz, radiografía, etc.

## **8.2. Recomendaciones**

En base a las conclusiones de este trabajo y para la implementación de trabajos futuros, se recomienda:

- La implementación de una segunda, para el control de movimiento de la antorcha, llegaría a ser lo ideal, permitiendo de esta manera completar de soldar la junta, con varios pases donde se requiere que el sistema comience a oscilar.



- Se recomienda que en un rediseño del riel-anillo, se pueda utilizar cadena de paso 3/8", para mejorar el avance de soldadura, durante el recorrido.
- De acuerdo a los resultados obtenidos se puede sugerir que el prototipo sirve para hacer pases de relleno, en un futuro debido que al diseño mecánico realizado se le implementaría dos etapas más de control de movimiento.
- Se requiere de un estudio a detalle para mejorar la velocidad de avance en la posición vertical o comúnmente llamada costilla.
- En cuanto a la desalineación del alambre de soldar como un problema frecuente que se presentó se recomienda utilizar una antorcha de cuello recto, o a su vez cambiar el sistema de sujeción de la antorcha.

### **Bibliografía**

ASMEIX. (2010). Código ASME de calderas y recipientes a presión. En A. IX, *Código ASME de calderas y recipientes a presión* (pág. 101). New York,: Biblioteca de Congreso.

ASMEIX-PART-C. (1 de Julio de 2010). Materiales. *Especificacion de Electroodos, metal de aporte y varillas*. New York.

Faires., V. M. (1987). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Limusa Noriega Editores, S.A. de C.V.

LINCOLN. (1995). GUIDE INNERSHIELD CONSUMABLE. *WELDING GUIDE* , 13.

Magnatech. (2012). *Magnatech* . Recuperado el 2013, de <http://www.magnatechllc.com/#>.

Mecánica, Á. d. (s.f.). Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica. En D. d. Construcción, *Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica*. España.

Mott., R. L. (2004). Diseño de Elementos de Máquinas. En R. L. Mott., *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta Edición ed., págs. 283-284). México: Pearson Educación.

Octavio Chiman Amador, J. U. (2007). *Proton.ucting.udg.mx*. Recuperado el 1 de oct de 2013, de Proton.ucting.udg.mx: <http://proton.ucting.udg.mx/posgrado/pwm/TE-23.pdf>

Pradines, G. . (Diciembre de 2007). Análisis de software de desarrollo de entorno grafico Labview. 26. Chile, Valdivia, Chile.

Shigley-Mischke. (s.f.). Diseño de Ingeniería Mecánica. En Shigley-Mischke, *Diseño de Ingeniería Mecánica* (Sexta Edición ed., pág. 1091). Mc Graw Hill .

Society, A. W. (2007). Energia Radiante . En A. W. Society, *Welding Handbook* (pág. 252). Miami: LeJeune Road.

Wikipedia. (11 de noviembre de 2013). *Wikipedia* . Recuperado el 2 de diciembre de 2013, de Wikipedia:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos)

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CABEZAL  
PARA SOLDADURA ORBITAL AUTOMÁTICA EN PASE DE RAÍZ EN  
TUBERÍA DE OCHO PULGADAS STD CON EL PROCESO FCAW  
PARA ACESXILICON DESIGN TECHNOLOGY LTDA.”

ELABORADO POR:

---

Verónica Jimena

Aucancela Guamán

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

---

**Ing. Echeverría Luis**

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Sangolquí, 2013 Diciembre 14