



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

"E SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

AUTOMATIZACIÓN DE LA SOLDADORA EN LÍNEA RECTA DE LA METALMECÁNICA SAN BARTOLO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

GABRIELA FERNANDA ARAUJO VIZUETE

gabfer2050@hotmail.com

CHRISTIAN GERARDO CALVACHI ARAQUE

chris_epn@msn.com

DIRECTOR: MSc. OSCAR IVÁN ZAMBRANO OREJUELA

ivan.zambrano@epn.edu.ec

CODIRECTOR: PhD. LUIS ANIBAL CORRALES PAUCAR

luis.corrales@epn.edu.ec

Quito, Enero 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, Gabriela Fernanda Araujo Vizuite y Christian Gerardo Calvachi Araque, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Gabriela Fernanda Araujo Vizuite

Christian Gerardo Calvachi Araque

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Fernanda Araujo Vizuite y Christian Gerardo Calvachi Araque, bajo mi supervisión.

MsC. Iván Zambrano
DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Fernanda Araujo Vizuite y Christian Gerardo Calvachi Araque, bajo mi supervisión.

Dr. Luis Corrales
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a Dios que es la luz en nuestras vidas, a nuestros padres y hermanos por su cariño y apoyo incondicional.

Al MsC. Iván Zambrano y al Dr. Luis Corrales por su guía y valiosa aportación.

Al Ing. Jorge Martínez por su respaldo durante la realización del proyecto.

A la Metalmecánica San Bartolo por permitirnos usar sus instalaciones y equipos durante el desarrollo del proyecto.

A los trabajadores de la Metalmecánica San Bartolo, en especial al Sr. Leónidas Olaya por la ayuda incondicional durante la realización del proyecto.

Gabriela Araujo, Christian Calvachi

DEDICATORIA

En primer lugar le dedico el esfuerzo de este proyecto a Dios, porque de él proviene mi capacidad e inteligencia.

Les dedico este proyecto a mis padres René y Graciela, porque son mi ejemplo, mi soporte, mis primeros mentores y mis mejores amigos y han sabido llenar mi vida de amor.

También le dedico este proyecto a mi hermano Daniel, por llenar mi vida y mi casa de alegría; a mis abuelitos Olga y Julio, por cada vela encendida y por cada día que con tanto cariño me han dedicado.

Y por último a Esteban, por ser mi compañero incondicional en este andar en los últimos años.

Gabriela Araujo

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico primero a Dios, mi Señor, mi Guía, mi Proveedor; quien es esencial en mi posición firme de alcanzar esta meta y a través de ella podré siempre de su mano alcanzar otras que espero sean para su Gloria.

Quiero dedicar también este trabajo a mi familia; mis padres Silvia y Gerardo y a mi hermano Paúl, quienes me han dado el apoyo, la estabilidad emocional, económica y sentimental para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes; gracias por permitirme llegar a culminar esta etapa y comenzar una nueva en mi vida; serán siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo esfuerzo es al final recompensa. Su esfuerzo, se convirtió en su triunfo y el mío.

A Santiaguito; mi hijo, por quien es mi esfuerzo y además mi más grande inspiración para seguir adelante, cada triunfo y sacrificio es por ti.

A Verito; quien ha sido mi apoyo incondicional, por su ánimo, paciencia, motivación, ayuda e impulso a alcanzar la meta que me propuse y quien ha sido mi soporte para no darme por vencido en los momentos difíciles.

Christian Calvachi

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XVIII
PRESENTACIÓN	XIXI
CAPÍTULO 1. ESTUDIO DE LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 SOLDADORAPOR ARCO SUMERGIDO.....	2
1.2.1 PROCESO GENERAL DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.....	3
1.2.2 PARÁMETROS DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO	6
1.2.2.1 Corriente de soldadura	7
1.2.2.2 Voltaje de arco	8
1.2.2.3 Polaridad	9
1.2.2.4 Velocidad de avance	10
1.2.2.5 Conexión a tierra	10
1.2.2.6 Estado del material base por soldar	10
1.2.2.7 Diámetro del alambre	10
1.2.2.8 Inclinación del alambre.....	11
1.2.2.9 Tipo de fundente	11
1.2.2.10 Espesor de la capa de fundente	11
1.2.3 ALAMBRE PARA ELECTRODO	12
1.2.4 CARÁCTERÍSTICAS DE LOS FUNDENTES	13
1.2.4.1 Composición de los fundentes.....	15
1.2.5 DEFECTOS EN LAS SOLDADURAS POR ARCO SUMERGIDO	16
1.2.5.1 Porosidad	16
1.2.5.2 Penetración, Socavación y Fusión.....	17
1.2.5.3 Fisuración por hidrógeno	17
1.2.5.4 Fisuras de solidificación.....	18
1.2.6 RECOMENDACIONES PARA EJECUTAR UNA BUENA SOLDADURA	18
CAPITULO 2. ESTUDIO DE LA MÁQUINA SOLDADORA INDUSTRIAL EN LÍNEA RECTA DE LA METALMECÁNICA SAN BARTOLO.....	19
2.1 EQUIPO DE LA MÁQUINA SOLDADORA	19
2.1.1 TRANSFORMADOR –RECTIFICADOR.....	19

2.1.2 BASTIDOR	23
2.1.3 CABLES DE FUERZA Y PISTOLA	24
2.1.4 CABEZAL	24
2.1.4.1 Componentes del mecanismo de arrastre del alambre	25
2.1.4.2 Componentes del mecanismo de avance del cabezal	27
2.1.4.3 Componentes del dosificador de fundente.....	27
2.1.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	28
2.1.5.1 Circuitos de avance del cabezal	28
2.1.5.1.1 <i>Circuito de control de avance del cabezal</i>	28
2.1.5.1.2 <i>Circuito de potencia de avance del cabezal</i>	29
2.1.5.2 Circuitos de arrastre del alambre y control de proceso de soldadura	30
2.1.5.2.1 <i>Circuito de control de arrastre del alambre y del proceso de soldadura</i>	30
2.1.5.2.2 <i>Control del Transformador – Rectificador</i>	32
2.1.5.2.3 <i>Circuito de potencia de arrastre del alambre</i>	32
2.1.5.3 Circuito del dosificador de fundente.....	33
2.1.5.4 Circuitos de fuerza de soldadura	33
2.2 VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA DE LA MÁQUINA INSTALADA EN LA METALMECÁNICA SAN BARTOLO	34
CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SOLDADORA EN LÍNEA RECTA	37
3.1 CONTROL MODULAR.....	37
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO - HARDWARE	38
3.2.1 ANÁLISIS DEL ENCODER.....	38
3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL DISPLAY ALFANUMÉRICO – LCD 20 x 4.....	41
3.2.2.1 Interfaz del display alfanumérico y distribución de pines.....	42
3.2.3 CONTROL ELECTRÓNICO PARA MOTORES DC	43
3.2.3.1 Diseño del circuito de potencia para el manejo de los motores DC	45
3.2.4 DESCRIPCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL	49
3.2.5 SELECCIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES	50
3.2.5.1 Análisis de periféricos de IN / OUT y asignación de recursos a los microcontroladores.....	50
3.2.5.1.1 <i>Funciones del Microcontrolador MASTER</i>	51
3.2.5.1.2 <i>Funciones de los Microcontroladores Esclavos</i>	54
3.2.5.2 Diseño de los circuitos de control	57

3.2.5.2.1	<i>Diseño del circuito de control del microcontrolador MASTER</i>	58
3.2.5.2.2	<i>Diseño del circuito de control del microcontrolador de arrastre del alambre</i>	64
3.2.5.2.3	<i>Diseño del circuito de control del microcontrolador de suelda</i>	65
3.2.6	FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....	67
3.2.7	DISEÑO DE LAS PROTECCIONES	70
3.2.7.1	Transformador de aislamiento de grado médico.....	70
3.2.7.2	Protección de semiconductores de potencia y motores de corriente continua	71
3.2.8	DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y ELABORACIÓN DE TOPES PARA FINES DE CARRERA.....	71
3.3	DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SOLDADORA EN LÍNEA RECTA	73
3.3.1	DISEÑO DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO Y SIMULACIÓN.....	74
3.3.1.1	Diagramas de flujo para el microcontrolador MASTER.....	74
3.3.1.1.1	<i>Subrutina de seteo de velocidad, selección del sentido de giro y ubicación del cabezal</i>	79
3.3.1.1.2	<i>Subrutina de comunicación con el microcontrolador encargado del arrastre del alambre, UP/DOWN</i>	83
3.3.1.1.3	<i>Subrutina de selección del tramo de suelda y no suelda</i>	86
3.3.1.1.4	<i>Subrutina de verificación y cambios de parámetros de soldadura</i>	87
3.3.1.1.5	<i>Subrutina de comunicación con el microcontrolador de suelda, comunicación con el microcontrolador de arrastre de alambre y avance del cabezal</i>	89
3.3.1.2	Diagramas de flujo para el microcontrolador encargado del arrastre de alambre.....	102
3.3.1.3	Diagramas de flujo para el microcontrolador encargado del proceso de suelda	106
CAPÍTULO 4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	115
4.1	REACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA ORIGINAL	115
4.2	PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DISEÑADO	119
4.2.1	PRUEBAS INDIVIDUALES DE LOS MICROCONTROLADORES	120
4.2.2	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES.....	121
4.2.3	PRUEBAS DE MOTORES.....	122
4.2.4	PRUEBAS DE SENSOR DE NIVEL.....	124
4.2.5	PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL COMPLETO	125
4.2.6	PRUEBAS DE SUELDA.....	128

4.3 RESULTADOS	132
4.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MOTOR DE AVANCE DEL CABEZAL	133
4.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MOTOR DE ARRASTRE DEL ALAMBRE	136
4.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS TRAMOS DE SUELDA Y NO SUELDA ESTABLECIDOS	137
4.4 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.....	138
4.4.1 COSTOS DE MATERIALES	138
4.4.2 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE VARIAS PIEZAS ELABORADAS EN LA MSB.....	139
4.4.3 COSTO DE INGENIERÍA.....	139
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
5.1 CONCLUSIONES.....	141
5.2 RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
ANEXOS	147

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de fundentes.....	15
Tabla 2. Tabla de regulación para soldadura en aceros.....	35
Tabla 3. Características del opto-interruptor ECG3100.....	41
Tabla 4. Distribución de pines de LCD.....	43
Tabla 5. Características del IGBT FGA180N331TD.....	47
Tabla 6. Periféricos de entrada y salida al microcontrolador MASTER.....	51
Tabla 7. Asignación de recursos del microcontrolador MASTER, ATMEGA164P.....	54
Tabla 8. Periféricos de entrada y salida al microcontrolador de arrastre.....	55
Tabla 9. Asignación de recursos al microcontrolador μ C_1, ATMEGA168P.....	56
Tabla 10. Periféricos de entrada y salida al microcontrolador encargado del proceso de suelta.....	56
Tabla 11. Asignación de recursos al microcontrolador μ C_2, ATMEGA168P.....	57
Tabla 12. Características del opto-acoplador 6N135.....	61
Tabla 13. Características del opto-acoplador 6N137.....	66
Tabla 14. Comprobación de tareas del sistema.....	133
Tabla 15. Medidas de voltaje de armadura, corriente de armadura y cálculo de error para el motor de avance.....	134
Tabla 16. Medidas del Voltaje de la fuente y del Voltaje de armadura para el motor de arrastre del alambre.....	136
Tabla 17. Cálculo del error de los tramos de suelta establecidos.....	138
Tabla 18. Costos de materiales.....	139
Tabla 19. Resumen de costos aproximados totales.....	140

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de la soldadora por arco sumergido	3
Figura 1.2. Esquema general del proceso de soldadura por arco sumergido.	5
Figura 1.3. Influencia del amperaje	7
Figura 1.4. Influencia del voltaje de arco.....	8
Figura 1.5. Incidencia en el cordón de soldadura debido al ángulo de inclinación del alambre.....	10
Figura 1.6. Defectos en las soldaduras por arco sumergido.....	17
Figura 2.1. Transformador – Rectificador.....	20
Figura 2.2. Esquema general del Transformador – Rectificador.....	21
Figura 2.3. Motor acoplado a ventilador y puente trifásico no controlado.	22
Figura 2.4. Núcleo móvil del transformador de suelda.	22
Figura 2.5. Bastidor de la soldadora industrial en línea recta.	23
Figura 2.6. Cabezal de la máquina soldadora industrial.	24
Figura 2.7. (a).Mecanismo de arrastre del alambre (b).Mecanismo engranajes (c).Conexión del cable de fuerza.	25
Figura 2.8. Componentes del sistema de arrastre del alambre	26
Figura 2.9. Componentes del dosificador de fundente.	27
Figura 2.10. Elementos de los circuitos de fuerza de soldadura. Transformador de corriente y resistencia shunt.....	33
Figura 3.1. Encoder montado en el cabezal de suelda.....	38
Figura 3.2. Opto-interruptor ECG3100	39
Figura 3.3. Posibles conexiones del opto-interruptor ECG3100	39
Figura 3.4. Señales para el funcionamiento y control de un LCD.	41
Figura 3.5. Configuración puente H.	43
Figura 3.6. IGBT FGA180N33ATD. Diagrama esquemático interno.....	46
Figura 3.7. Esquema del circuito de potencia para el motor de avance.....	47
Figura 3.8. Esquema del circuito de potencia para el motor de arrastre.....	48
Figura 3.9. Esquema de conexión del fin de carrera.	49
Figura 3.10. Fin de carrera CAMSCO	49
Figura 3.11. Configuración de pines del ATMEGA164P.....	51
Figura 3.12. Configuración de pines del ATMEGA168P.....	54
Figura 3.13. Diseño del hardware. Microcontrolador MASTER.	59
Figura 3.14. Esquema del opto-acoplador 6N135.....	60
Figura 3.15. Conexión para el opto-acoplador 6N135.....	61
Figura 3.16. Diseño del hardware. Circuito de potencia del motor avance del	62
Figura 3.17. Diseño del hardware. Conexión del sensor ECG3100.....	63
Figura 3.18. Diseño del hardware. Microcontrolador esclavo encargado del arrastre del alambre.	64
Figura 3.19. Esquema del opto-acoplador 6N137	65
Figura 3.20. Conexión para el opto-acoplador 6N137.....	66
Figura 3.21. Diseño del hardware. Microcontrolador esclavo de suelda.....	67

Figura 3.22. Fuente Switching de 5V – 12A.....	68
Figura 3.23. Fuentes Switching de 5V – 2A.	68
Figura 3.24. Fuentes Switching de 12V – 2A.	69
Figura 3.25. Transformador de Aislamiento IS1800HG	70
Figura 3.26. Instalación del panel frontal.....	71
Figura 3.27. (a). Accionamiento del fin de carrera con piola. (b).Tope de acero de fin de carrera.....	72
Figura 3.28. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo correspondiente a la rutina de control de ingreso de clave.....	74
Figura 3.29. Solicitud de ingreso de clave.....	75
Figura 3.30. Solicitud de ingreso de clave correcta.	75
Figura 3.31. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la rutina principal de la puesta en marcha del proceso de suelda, llamado secuencial a subrutinas.	77
Figura 3.32. Pantalla de presentación del Programa de Proceso de Suelda.	78
Figura 3.33. Interfaz de seteo y variación de velocidad del cabezal.....	78
Figura 3.34. Señal PWM al 50%.	79
Figura 3.35. Interfaz de selección del sentido de giro del cabezal.....	80
Figura 3.36. Interfaz del movimiento del cabezal con visualización de velocidad y sentido de giro.	80
Figura 3.37. Paro de cabezal debido a un fin de carrera.	81
Figura 3.38. Paro de Emergencia.	81
Figura 3.39. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de seteo de velocidad, selección del sentido de giro y ubicación del cabezal.	82
Figura 3.40. Interfaz de arrastre del alambre.	84
Figura 3.41. Interfaz que indica al usuario el sentido de arrastre de alambre.	84
Figura 3.42. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de comunicación con el microcontrolador esclavo encargado del arrastre del alambre.	85
Figura 3.43. Interfaz de selección de tramos de suelda y no suelda86	86
Figura 3.44. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de selección del tramo de suelda y NO suelda.	87
Figura 3.45. Verificación de parámetros de suelda.	87
Figura 3.46. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de verificación y cambio de parámetros de suelda.....	89
Figura 3.47. Interfaz con el usuario para iniciar con el proceso de suelda.	90
Figura 3.48. Interfaz de tramo de suelda.....	90
Figura 3.49. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de soldadura, comunicación con el microcontrolador de suelda, comunicación con el microcontrolador de arrastre de alambre y avance del cabezal.	91
Figura 3.50. Aviso al operador la falta de fundente.	92
Figura 3.51. Pantalla de detección de nivel bajo de fundente.	93
Figura 3.52. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo correspondiente al proceso de suelda en el tramo de suelda.....	94
Figura 3.53. Interfaz de tramo de NO suelda.	95
Figura 3.54. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo correspondiente al proceso de suelda en el tramo de NO suelda.	96
Figura 3.55. Presentación de ingreso a Programa de Verificación.	97
Figura 3.56. Verificación Pulsador A.	98

Figura 3.57. Se solicita verificar el Pulsador A.	98
Figura 3.58. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la rutina principal del proceso de verificación y mantenimiento de hardware.	100
Figura 3.59. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de verificación de comunicación con el microcontrolador de UP/DOWN.	100
Figura 3.60. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de verificación de la comunicación con el microcontrolador de suelda.	101
Figura 3.61. Verificación de comunicación entre microcontrolador MASTER y microcontroladores esclavos.	102
Figura 3.62. Solicitud de verificación de cables de comunicación.	103
Figura 3.63. Finalización de PROGRAMA DE VERIFICACIÓN.	103
Figura 3.64. Esquema del circuito de control MASTER.	104
Figura 3.65. Esquema circuito microcontrolador de arrastre de alambre.	105
Figura 3.66. Esquema circuito microcontrolador de suelda.	105
Figura 3.67. Diagrama de flujo de la rutina de control del microcontrolador de UP/DOWN.	106
Figura 3.68. Diagrama de flujo de la rutina de control principal del microcontrolador de suelda.	109
Figura 3.69. Microcontrolador de suelda, subrutina de suelda.	111
Figura 3.70. Microcontrolador de suelda, subrutina en tramo de suelda.	113
Figura 3.71. Microcontrolador de suelda, subrutina en tramo de NO suelda.	114
Figura 3.72. Microcontrolador de suelda, subrutina de verificación.	115
Figura 4.1.(a). Mecanismo de arrastre del alambre. (b). Mecanismo para desplazamiento de núcleo del transformador.	117
Figura 4.2. Tablero de control del sistema original.	118
Figura 4.3. Circuito de control de la pistola B.	119
Figura 4.4. Circuito de control y fuerza de la pistola B y de avance del cabezal.	120
Figura 4.5. Cordones realizados sobre una zapata con el sistema original.	120
Figura 4.6. Elementos conservados para el funcionamiento de la soldadora.	122
Figura 4.7. Sistema de control basado en microcontroladores.	123
Figura 4.8. Motores DC.	124
Figura 4.9. Placa de potencia, puente H.	125
Figura 4.10. Placas de potencia y placas de aislamiento de señales para el control de los motores DC.	126
Figura 4.11. Sensor didáctico de ultrasonido EZ4.	127
Figura 4.12. Sensor de nivel ON/OFF instalado en la tolva de fundente.	127
Figura 4.13. (a). Fuente de 5[V] basada en regulador 7805. (b). Fuente industrial de 5 [V] / 10 [A].	128
Figura 4.14. Fuentes de alimentación de 5 [V] y 12 [V].	129
Figura 4.15. Sistema de control completo.	129
Figura 4.16. Bobina del dosificador de fundente.	130
Figura 4.17. Torre construida y circuito de control de transformador de suelda.	131
Figura 4.18. Detector de campo electrostático.	131
Figura 4.19. Regulador de voltaje utilizado en las pruebas de soldadura.	133
Figura 4.20. Inversor de voltaje y batería de 12 [V] utilizados en las pruebas de soldadura.	133

Figura 4.21. Voltaje de Armadura vs. %PWM para el motor de avance.	137
Figura 4.22. Voltaje de la fuente (sin conexión del motor) y voltaje de armadura vs. %Voltaje de la fuente.	138

RESUMEN

En el presente proyecto se diseña e implementa el sistema de control modular basado en microcontroladores para rehabilitar a la máquina soldadora industrial en línea recta por arco sumergido instalada en la Metalmecánica San Bartolo. El principal objetivo del presente proyecto es optimizar los tiempos del proceso gracias a la automatización realizando tramos de suelda y no suelda con separaciones diferentes según elija el usuario.

En primer lugar, se realizó un estudio del proceso de soldadura SAW, para luego analizar y obtener los circuitos de control y fuerza originales de la soldadora. Una vez comprendida la máquina soldadora industrial instalada en la Metalmecánica San Bartolo, se integró el sistema de control diseñado con varios de los elementos originales de la máquina soldadora, entre los cuales se encuentran motores, transformadores de alimentación a motores, elementos de electrónica de potencia, transformador de suelda, entre otros.

El sistema de control modular diseñado, está realizado en base a microcontroladores, por lo tanto, cada uno de estos está dedicado a realizar una tarea específica, de tal manera que se facilita el mantenimiento del sistema en caso de existir algún tipo de problema.

La investigación y el desarrollo del proyecto se centran en conseguir el control de las variables del proceso de soldadura por arco sumergido, que en este caso son: avance del cabezal, variación de la corriente de soldadura, alimentación continua del electrodo y control de activación de suelda en tramos. Adicionalmente, se manejan periféricos de entrada y salida que facilitan la interacción del usuario con la soldadora en línea recta.

PRESENTACIÓN

La Metalmecánica San Bartolo de la Escuela Politécnica Nacional, con el fin de mejorar continuamente ha decidido automatizar la soldadora industrial en línea recta, la máquina en mención usa la técnica de suelda por arco sumergido “SAW” por sus siglas en inglés (SubmergedArcWelding).

En el presente proyecto se busca optimizar los tiempos del proceso gracias a la automatización realizando tramos de suelda y no suelda con separaciones diferentes según elija el usuario; para realizar la soldadura con la técnica de arco sumergido se debe tomar en cuenta las características del material a soldar, velocidad de avance del cabezal y corriente necesaria para el proceso; lo cual ayudará de gran manera a realizar el relleno de las cadenas de maquinaria pesada, rieles, construcción de perfiles de gran magnitud para la construcción de puentes o estructuras para edificios.

El desarrollo del proyecto contempla el diseño e implementación del sistema de control para todo el proceso de soldadura que requiere en este momento la dirección de la Metalmecánica San Bartolo.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DE LA SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

1.1 INTRODUCCIÓN

“Una técnica no puede imponerse si no es fuente de progreso industrial, reuniendo a la vez factores de calidad y economía. Por esta razón, los procedimientos de soldadura por fusión se han impuesto indiscutiblemente en todos los campos de la construcción metálica”.¹

No existe punto de comparación entre la primera tentativa de soldadura por arco con hilo de acero, llevada a cabo en 1886, y las potentes máquinas para soldar de la industria moderna, por aplicación de este procedimiento. La idea de convertir la soldadura en automática tentó a diversos constructores. En 1936 aparece en los Estados Unidos la soldadura bajo flujo de revestimiento independiente, la cual utiliza hilo desnudo revestido de cobre que cumple las misiones de conductor de la corriente y de metal de aportación. Este procedimiento fue uno de los factores importantes en la aceleración de la fabricación de los elementos de guerra, en particular en la construcción, en tiempo record, de los buques Liberty destinados al transporte de tropas en la Segunda Guerra Mundial. El interés de la automatización de la soldadura es muy evidente, debido a la supresión de una mano de obra más o menos experta, gran velocidad de ejecución, acompañada de una mayor penetración y un balance económico favorable para la realización en serie y para las grandes longitudes. Sin embargo, presentan algunos inconvenientes, por ejemplo, exigen una preparación más cuidadosa de las piezas de unión, una regulación de la máquina y una puesta a punto para cada tipo de preparación.²

^{1, 2}[1] Séférián D., Las Soldaduras, Ediciones URMO, 1965.

1.2 SOLDADORA POR ARCO SUMERGIDO

La Soldadura por Arco es un sistema que utiliza una fuente de calor (arco eléctrico) la cual hace posible la fusión del metal de aporte, la pieza y el fundente, generando con esto una unión metálica resistente a esfuerzos mecánicos. La fuente de energía para soldar es de corriente continua (CC), la cual forma un circuito eléctrico con los cables conductores, el alambre de aportación y la pieza. Este circuito se cierra al producirse el contacto entre el electrodo y la pieza.³

La máquina de soldadura por arco en línea recta utiliza un electrodo continuo de acero revestido de cobre que cumple las misiones de conductor de la corriente y de metal de aportación. El flujo de fundente aportado sobre el baño o pileta de fusión juega el mismo papel que el revestimiento del electrodo manual; es decir, por una parte estabilizar y proteger el arco y, por otra, aportar elementos útiles. El arco se encuentra sumergido y protegido por el flujo de revestimiento independiente dando lugar a un Efecto Joule debido al paso de la corriente.⁴

Se conoce como Efecto Joule al fenómeno por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. En este efecto se basa el funcionamiento de la soldadora, en los que el efecto útil buscado es el calor que desprende el conductor por el paso de la corriente.⁵

La máquina soldadora comprende:

- Bastidor;
- La cabeza de soldadura donde va el motor que arrastra el hilo electrodo de diámetros variables que va enrollado en el carrete (D);

³ [5] Lorca Maturana, "SOLDADURA POR ARCO MANUAL O ELÉCTRICO. FUNDAMENTOS", <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos-25815-completo.pdf>

⁴[1] Sférian D., Las Soldaduras, Ediciones URMO, 1965.

⁵ [3] "EFECTO JOULE", http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Joule

- Un recipiente (F) que contiene el flujo;
- Un conducto (C) que vierte el fundente por delante de la soldadura;
- La fuente de corriente continua, en este caso un transformador – rectificador que suministra la potencia;
- El motor (M) destinado a desplazar el cabezal de soldadura de acuerdo con el avance del cordón;
- El armario principal, donde se encuentran la parte de control del sistema, los aparatos de medida (A), elementos de maniobra, etc.;
- La pistola o tubo de contacto que suministra la potencia al alambre o cátodo para la soldadura.

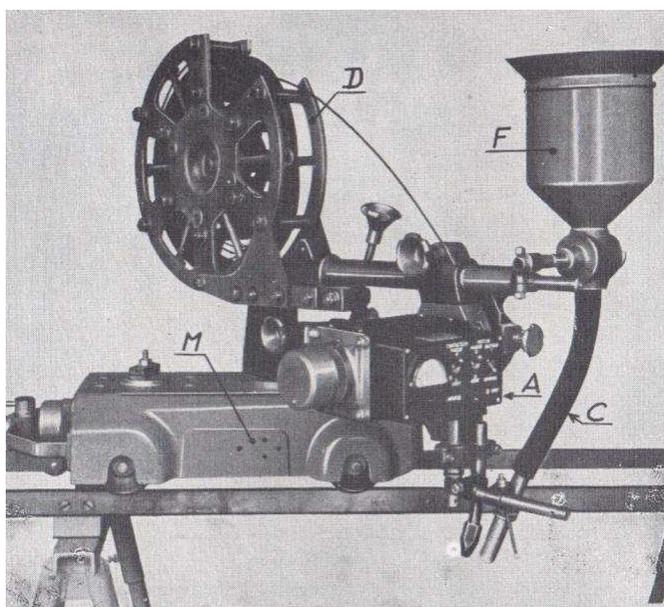


Figura 1.1. Esquema de la soldadora por arco sumergido. (Tomado de [1]).⁶

1.2.1 PROCESO GENERAL DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

En el proceso de Arco Sumergido "SAW" por sus siglas en inglés (Submerged Arc Welding), la potencia la suministra un transformador – rectificador, la cual se conduce al alambre a través del tubo de contacto de cobre o pistola, produciéndose el arco entre el alambre conductor y el metal base. El alambre

⁶[1] Sférian D., Las Soldaduras, Ediciones URMO, 1965.

(electrodo) es alimentado desde un carrete ubicado en la parte superior del cabezal. El arco es iniciado al poner en contacto el material base a ser soldado y la punta de un electrodo consumible continuo, estos son bañados por un fundente o revestimiento independiente, el mismo que se va depositando delante del arco a medida que avanza la soldadura. El calor del arco funde el electrodo, el fundente y parte del metal base formando la pileta de soldadura que conforma el cordón o junta.⁷

El manto de fundente granular cubre por completo la operación de soldadura con arco eléctrico, evitando chispas, salpicaduras y radiaciones y sobre todo protege el arco y el baño de fusión de la atmósfera, de tal forma que ambos permanecen invisibles durante la soldadura, por lo tanto, el operador no necesita usar la careta protectora. La parte de fundente más cercana al arco se derrite y se mezcla con el metal de soldadura fundido para remover impurezas que después se solidifican en la parte superior de la unión soldada aislando el cordón, formando una escoria con aspecto de vidrio. Dependiendo de la composición del fundente y del trabajo incluso puede contribuir a la aleación.

Los granos de fundente no derretidos en la parte superior proporcionan una buena protección de la atmósfera y un buen aislamiento térmico para el área soldada, produciendo un enfriamiento que resulta en una unión soldada de alta calidad con buenos parámetros de resistencia y ductilidad.⁸

El arco es, por consiguiente, escondido en esta capa densa de fundente granulado, una parte se funde para formar una cubierta protectora sobre el cordón de soldadura fundido, y otra donde el remanente puede ser recuperado para ser usado nuevamente en un proceso futuro o en el mismo proceso dependiendo del tipo de fundente que se esté usando o de los materiales envueltos en el proceso.

^{7, 8} [2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

La escoria sólida se quita mediante medios manuales usando una herramienta denominada pica escoria.

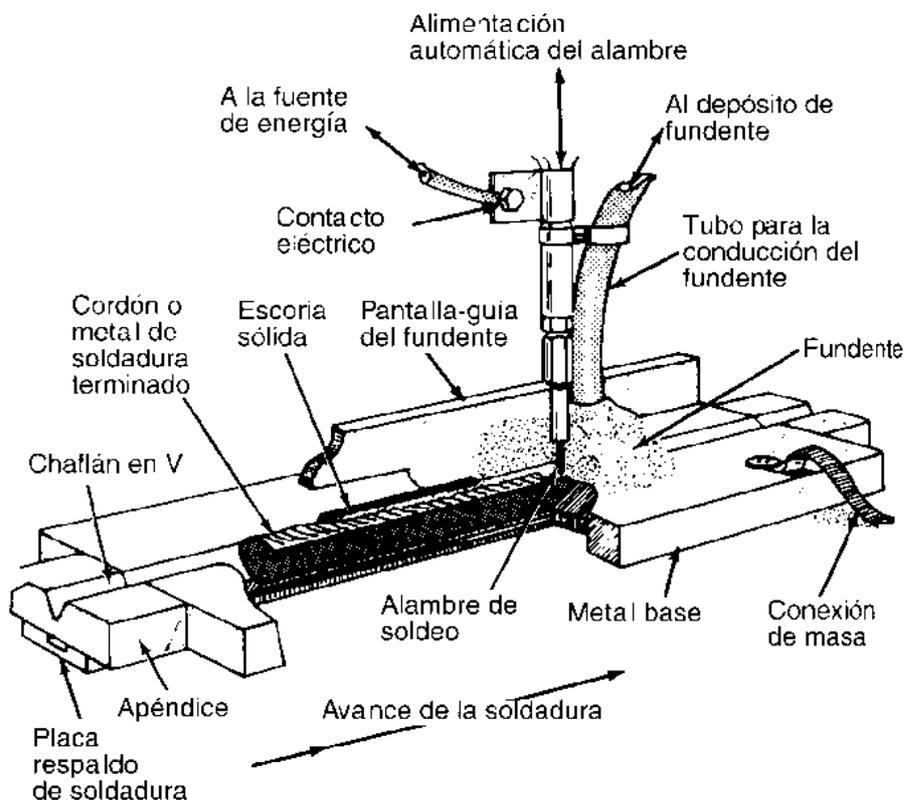


Figura 1.2. Esquema general del proceso de soldadura por arco sumergido.

(Tomado de [2]).⁹

Una ventaja del proceso es que, estando el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas sin chisporroteo o arrastre de aire. Las intensidades elevadas producen una penetración profunda y el proceso es térmicamente eficiente, puesto que la mayor parte del arco está bajo la superficie de la plancha.

La soldadura por arco sumergido es un proceso de alta dilución, en el que aproximadamente se funde dos veces más metal base que electrodo. Se utilizan intensidades de 200 a 1000 Amperes. La cantidad de fundente en polvo o granular fundido durante la soldadura es aproximadamente la misma en peso que

⁹[2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO", [www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

la de alambre fundido, la misma que deja sobre el cordón de soldadura una capa de escoria vítrea. Debido al alto aporte de calor que produce el baño de soldadura por arco sumergido se obtiene soldaduras limpias y de contornos lisos.¹⁰

Un proceso de arco abierto que trabaje con intensidades por encima de los 300 A debe utilizarse con precaución, porque el arco es una intensa fuente de luz con elevado contenido de radiación infrarroja y ultravioleta¹¹. En la soldadura con arco sumergido no es visible el arco y tales precauciones son innecesarias. Por la misma causa el operario no puede ver el baño y juzgar el avance de la soldadura; debe confiar en que el ajuste sobre la unión permanece constante.

Por lo tanto, la máquina exige una preparación más cuidadosa de las piezas de unión, una regulación de la máquina y una puesta a punto para cada trabajo.

1.2.2 PARÁMETROS DE SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

En todo proceso existen parámetros críticos que se deben tomar en cuenta para lograr los resultados deseados. En el caso de la soldadura por arco sumergido, los parámetros que más influyen en la calidad de junta son los siguientes:

- Corriente de soldadura.
- Voltaje de arco.
- Polaridad de la fuente de corriente.
- Velocidad de avance del cabezal.
- Conexión a tierra.
- Estado del material base a soldar.
- Diámetro del alambre.
- Inclinación del alambre.
- Tipo de fundente.
- Espesor de la capa de fundente.

^{10, 11}[2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

1.2.2.1 Corriente de soldadura

Es la variable más importante, ya que controla la velocidad de deposición, la profundidad de penetración y la cantidad de material base fundido. Para la soldadura por arco se requiere una corriente constante, cuando se establece el arco con el alambre, el resultado es un cortocircuito, lo que inmediatamente induce un oleaje repentino de corriente eléctrica. La fuente de corriente constante reduce estos oleajes repentinos de cortocircuitos y así evita salpicadura excesiva durante la soldadura.

La cantidad de corriente por usar en el proceso SAW depende principalmente del grosor del metal por soldar. Cuando la corriente es demasiado alta, el alambre se fundirá demasiado rápido y la mezcla de los metales fundidos estará demasiado grande e irregular. Cuando la corriente esté demasiado baja, no habrá suficiente calor para fundir el metal por soldar y la mezcla de metales fundidos estará demasiado pequeña, el resultado no solo será fusión inadecuada sino que el depósito se amontonará y será de una forma irregular.¹²

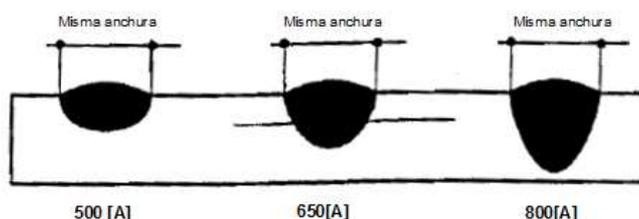


Figura 1.3. Influencia del amperaje. (Tomado de [8]).¹³

Una corriente demasiado alta también puede producir socavación, es decir, dejar una ranura en el metal por soldar debido a la falta de suficiente cantidad de material de aporte para llenar la depresión resultante¹⁴. Una corriente demasiada baja causará la formación de capas superpuestas, donde el metal fundido del

^{12, 15} [4] Ramirez Ingrid B., "SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO", www.monografias.com/trabajos7/soel/soel.shtml

¹³ [8] "SOLDADURAS", <http://www.slideshare.net/NsBoy/soldaduras-presentation>

¹⁴ [5] Lorca Maturana, "SOLDADURA POR ARCO MANUAL O ELÉCTRICO. FUNDAMENTOS", <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos-25815-completo.pdf>

alambre cae en el metal por soldar sin suficientemente penetración. Ambas, la socavación y las capas superpuestas, terminan en soldaduras débiles¹⁵.

1.2.2.2 Voltaje de arco

En la soldadura por arco se distinguen dos voltajes, los cuales son: voltaje de circuito abierto y voltaje de arco.

El voltaje de circuito abierto es aquel que se tiene cuando la máquina está operando y no se está soldando, este ayuda a establecer el arco y es mucho más alto que el voltaje de arco, es decir, el voltaje que se tiene entre el alambre y la pieza base después de establecer el arco. El voltaje de circuito abierto puede variar de 50 a 100 [V] y el voltaje de arco de 18 a 36 [V]. Durante el proceso de soldar, el voltaje de arco también cambiará con las diferencias en la longitud del arco, o sea a la distancia entre el alambre y el material base¹⁶. En consecuencia el voltaje de arco controla la forma transversal del cordón y su apariencia superficial.

Si el arco está demasiado largo, el metal del alambre se derrite en grandes glóbulos, esto produce un depósito ancho, salpicado, e irregular sin suficiente fusión entre el metal original y el metal depositado. Un arco que está demasiado corto no genera suficiente calor, por tanto, el alambre se pegará frecuentemente y producirá depósitos desiguales.¹⁷

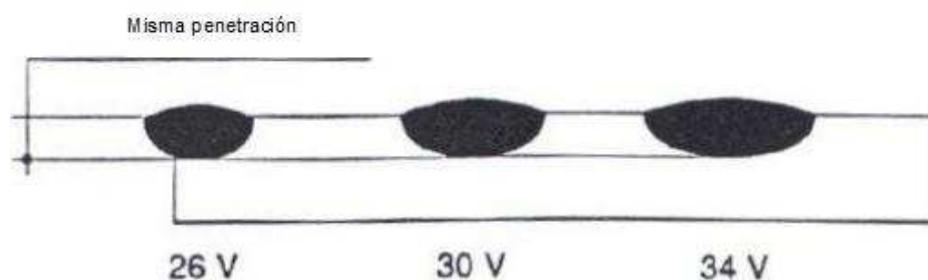


Figura 1.4. Influencia del voltaje de arco. (Tomado de [8]).¹⁸

16, 17 [4] Ramirez Ingrid B., "SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO", www.monografias.com/trabajos7/soel/soel.shtml

18 [8] "SOLDADURAS", <http://www.slideshare.net/NsBoy/soldaduras-presentation>

1.2.2.3 Polaridad

Una de las características de una fuente de corriente directa de soldar es que la soldadura puede hacerse con polaridad directa o inversa. La polaridad indica la dirección del flujo de corriente en un circuito.

En polaridad directa el alambre para electrodo es positivo y el metal por soldar es negativo, y los electrones fluyen del alambre al metal por soldar.

La polaridad puede ser cambiada intercambiando los cables, aunque en las máquinas modernas se puede cambiar la polaridad simplemente accionando un interruptor. La polaridad afecta el calor liberado, pues es posible controlar la cantidad que pasa al metal por soldar. Cambiando la polaridad, se puede concentrar el mayor calor dónde más se requiera.

Generalmente, es preferible tener más calor en el metal por soldar porque el área del trabajo es mayor y se requiere más calor para derretir el metal que para fundir el alambre. Por lo tanto, si se van a hacer grandes depósitos pesados, el metal por soldar deberá estar más caliente que el alambre. A este efecto, la polaridad directa es más efectiva.

En cambio, en procesos de soldadura livianas es necesario congelar rápidamente el metal de relleno, para ello se utiliza la polaridad inversa, esto se traduce en menos calor generado en el metal por soldar, dando mayor fuerza de retención al metal de relleno.¹⁹

En resumen con corriente continua positiva, CC(+) se logra mayor penetración, mejor aspecto superficial y mayor resistencia a la porosidad. Con corriente continua negativa, CC(-) se obtiene mayor velocidad de deposición con menor penetración.²⁰

¹⁹ [4] Ramirez Ingrid B., "SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO", www.monografias.com/trabajos7/soel/soel.shtml

²⁰ [3] "EFECTO JOULE", http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Joule

1.2.2.4 Velocidad de avance

Variando la velocidad de movimiento del cabezal se modifica la cantidad de energía aportada por unidad de longitud. Este parámetro afecta a la sobre monta o refuerzo del cordón, así como a su penetración. Al aumentar la velocidad de traslación del arco, disminuye el ancho del cordón y la penetración, incrementándose el riesgo de porosidad. Las velocidades excesivas se traducen en cordones mordidos y rugosos o picudos.²¹

1.2.2.5 Conexión a tierra

La conexión correcta a tierra permite desarrollar el pleno potencial del circuito para soldar. El área de soldar debe estar sobre un piso de cemento o de mampostería y nunca debe estar húmeda. Antes de llevar a cabo un proceso de soldadura siempre se debe comprobar que la máquina esté correctamente conectada a tierra.²²

1.2.2.6 Estado del material base por soldar

Es importante que el material base o las juntas del metal por soldar se encuentre libres de herrumbre, escamas, pintura, o polvo, también es primordial que los metales estén libres de aceite o material combustible.²³

1.2.2.7 Diámetro del alambre

El diámetro del alambre para electrodo influye en la tasa de deposición. A una corriente dada, un electrodo de diámetro pequeño tiene mayor densidad de corriente y una tasa de deposición mayor que el más grueso.²⁴

²¹[2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

^{22, 23, 25} [2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

²⁴[7] Walter Fernández, 2008, "VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE ARCO SUMERGIDO (SAW)",
<http://retlawsaw.blogspot.com/2008/05/variables-de-operacion-para-el-proceso.html>

1.2.2.8 Inclinación del alambre

La soldadura por arco en línea recta puede hacerse en cualquiera de las tres siguientes posiciones: arrastrando el alambre, vertical o empujando el alambre. La inclinación del alambre tiene un efecto considerable sobre la penetración y sobre las eventuales socavaduras. En la Figura 1.5 se muestra su incidencia.

Ángulo del alambre	Arrastrando	Vertical	Empujando
Penetración	+	±	-
Sobremonta	+	±	-
Socavaduras	+	±	-

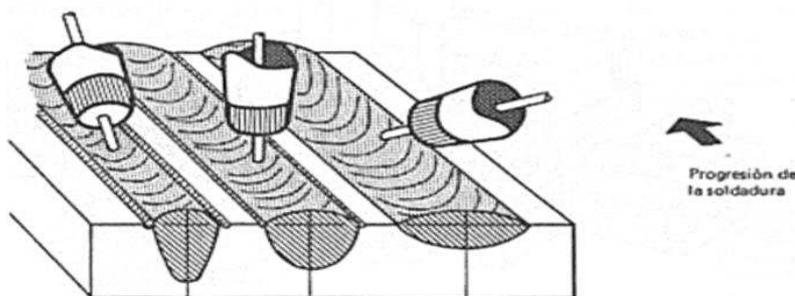


Figura 1.5. Incidencia en el cordón de soldadura debido al ángulo de inclinación del alambre. (Tomado de [2]).²⁵

La posición vertical generalmente es más fácil y rápida, además de proporcionar buenos resultados.

1.2.2.9 Tipo de fundente

Existen distintos tipos con aporte de diferentes aleaciones. El fundente además cumple las funciones de desoxidar, eliminar impurezas, facilitar el paso de la corriente, y especialmente proteger al metal fundido de las influencias atmosféricas.²⁶

1.2.2.10 Espesor de la capa de fundente

El arco eléctrico no debe estar ni demasiado cubierto (no dejaría fluir impurezas hacia la superficie) ni poco cubierto (podría contaminarse el cordón con gases

²⁶ [5] Lorca Maturana, "SOLDADURA POR ARCO MANUAL O ELÉCTRICO. FUNDAMENTOS", <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos-25815-completo.pdf>

atmosféricos). Una capa inadecuada se percibe por un mal aspecto superficial del cordón. Una cama de fundente de poco espesor puede producir porosidad por una inadecuada protección del metal fundido. Por otro lado, una cama muy gruesa desmejora el aspecto del cordón, puede conducir a derrames del metal fundido y producir dificultades para la remoción de la escoria.²⁷

En lo que refiere a la calidad del cordón, el proceso SAW es generalmente muy limpio y libre de defectos superficiales como porosidades, debido a la protección que da la capa de fundente. Sin embargo, como el cordón no puede verse hasta que se elimina el fundente sobrante y, obviamente, se desprende la capa de escoria, resulta crítico el estricto control de los parámetros de soldadura mencionados, ya que el operador de soldadura no tiene la realimentación visual al instante sobre la forma en que está ejecutándose el cordón.²⁸

Si bien el proceso SAW limita enormemente la exposición del operador a humos nocivos, por la cobertura del fundente, es igualmente importante mantener una ventilación adecuada y controlar todos los riesgos para el personal y para los equipos.²⁹

1.2.3 ALAMBRE PARA ELECTRODO

El alambre para soldadura por arco sumergido es bañado en cobre, lo cual evita la oxidación superficial en el almacenaje y proporciona seguridad en el contacto eléctrico debido a la poca resistencia entre el alambre de soldar y los contactos de cobre a través de los cuales se conduce la corriente.

^{27,28} [2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

^{29, 30} [2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

El diámetro del hilo utilizado depende fundamentalmente de la intensidad de corriente de soldadura necesaria y puede situarse entre 5mm de diámetro, para corriente de 150 A, a 10mm de diámetro, para una corriente de 3000 A.³⁰

El cordón de soldadura es ligeramente más estrecho con un alambre delgado que con un alambre grueso con la misma intensidad de corriente, pero el efecto principal del tamaño del alambre reside en su penetración, haciéndola menor para un alambre de diámetro mayor.

La composición de los alambres para soldadura por arco sumergido depende del material que se suelda, puesto que los elementos aleados se añaden generalmente al alambre y no al fundente. En este proceso las variaciones en la técnica pueden alterar las relaciones de las cantidades fundidas de material base, alambre y fundente.

Cuando se utilizan alambres altamente aleados, por ejemplo, aceros inoxidable, puede ser necesario añadir compuestos de los elementos de aleación al fundente, para disminuir las reacciones metal-escoria que pueden traducirse en pérdidas de los elementos de aleación hacia la escoria.³¹

1.2.4 CARÁCTERÍSTICAS DE LOS FUNDENTES ³²

Los fundentes para la soldadura por arco sumergido están granulados a un tamaño controlado y pueden ser de tipo fundido, aglomerado o sinterizado.

Originalmente se utilizaban fundentes fundidos, machacados y calibrados; atribuyéndoseles las ventajas de estar totalmente libres de humedad y no ser higroscópicos (que no atraen agua en forma de vapor o de líquido de su ambiente). Tanto la composición química como el estado de división de los

^{31, 32} [2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

fundentes tienen una importante influencia sobre el comportamiento de la soldadura.

Los fundentes aglomerados se hacen mezclando los constituyentes, finamente pulverizados, con una solución acuosa de un aglomerante tal como silicato sódico. La finalidad es producir partículas de unos pocos milímetros de diámetro formados por una masa de partículas más finas de los componentes minerales. Después de la aglomeración el fundente se seca a temperaturas de hasta 800 °C.

Los fundentes sinterizados se hacen calentando pellets de componentes pulverizados a temperaturas justo por debajo del punto de fusión de algunos de los componentes. Las temperaturas alcanzadas durante la fabricación limitan los componentes de los fundentes. Para fundir un fundente las temperaturas deben ser tan altas que los carbonatos y muchos otros minerales se descomponen, por lo cual los fundentes básicos que llevan carbonatos deben hacerse por el procedimiento de aglomeración.

La baja tenacidad se favorece con el uso de fundentes ácidos, los fundentes de elevado contenido en silicio tienden a comunicar oxígeno al metal soldado. Inversamente, los fundentes básicos dan un metal soldado limpio, con pocas inclusiones no metálicas, y, consecuentemente, de elevada tenacidad (capacidad de los materiales para resistir cargas sin presentar falla).

Tanto la composición del fundente como su estado de división influyen en el control de la porosidad. El proceso de arco sumergido es generalmente más susceptible a la porosidad causada por superficies herrumbrosas y sucias que el proceso de arco abierto. Ello es debido a que con el proceso de arco abierto el vapor de agua y los productos gaseosos, que abandonan la plancha por el calor de la soldadura, pueden escapar; mientras que en el arco sumergido tienden a ser retenidos bajo el cojín de fundente. Por esta razón es que fundentes que tienen la mayor tolerancia a la oxidación y suciedad son también los que tienen mayor permeabilidad.

Sin embargo, cuando es necesario soldar utilizando intensidades elevadas se requiere un fundente que cubra más estrechamente, para dar un buen cierre al arco; esto se logra utilizando un tamaño de partículas lo más fino posible para aumentar el cierre de recubrimiento.³³

1.2.4.1 Composición de los fundentes

MATERIALES UTILIZADOS COMO COMPONENTES DE LOS FUNDENTES	
MINERAL	FÓRMULA
Calcita	CaCO_3
Cordindón	Al_2O_3
Criolita	Na_3AlF_6
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Ferosilicio	FeSi_2
Fluorita	CaF_2
Hausmanita	Mn_3O_4
Hierro	Fe
Óxido cálcico	CaO
Magnesita	MgCO_3
Periclusa	MgO
Cuarzo	SiO_2
Rhodenita	MnSiO_3
Rutilo	TiO_2
Wellastonita	CaSiO_3
Zircón	ZrSiO_4
Zirconia	ZrO_2

Tabla 1. Tipos de fundentes. (Tomado de [2]).³⁴

³³[2] “SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO”,
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

³⁴[2] “SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO”,
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

En el mercado se puede encontrar varios tipos de fundente, cada uno con una composición distinta de acuerdo a la calidad de cordón de soldadura que se necesite, tomando en cuenta que todos cumplen la misma función.

Cada fundente fuera de tener un intervalo específico de temperatura de trabajo, para el que fue diseñado con el tipo correspondiente de soldadura, tiene una viscosidad apropiada para barrer las impurezas, y poder trabajar sin dificultad en oposición a la gravedad en forma vertical, promoviendo una excelente fluidez y capilaridad dentro de las juntas a soldar.

1.2.5 DEFECTOS EN LAS SOLDADURAS POR ARCO SUMERGIDO

Una buena soldadura debe ofrecer **seguridad y calidad**. Para alcanzar estos objetivos se requiere que los cordones de soldadura sean efectuados con una buena regulación de la intensidad y una buena preparación del metal a soldar.

Una buena soldadura debe poseer las siguientes características:

- Buena penetración.
- Debe ser exenta de socavaciones.
- Debe presentar una fusión completa.
- Ausencia de porosidades.
- Buena apariencia.
- Ausencia de grietas.

1.2.5.1 Porosidad

Es un defecto bastante común y se debe a varios factores. A veces aparece en forma visible, como “pinchaduras” en la superficie del cordón y otras en forma no visible, por debajo de la superficie, revelado por rayos X o ultrasonido.

Las principales causas son: Contaminación de la junta con pintura, grasa, aceite, óxidos hidratados, o cualquier componente que pueda alterar la forma del cordón de soldadura. Estos materiales se descomponen a las elevadas temperaturas del arco produciendo gases.

Es buena práctica resecar los fundentes antes de su empleo y almacenarlos en un ambiente calefaccionado. Los fabricantes proveen indicaciones al respecto³⁵.

1.2.5.2 Penetración, Socavación y Fusión

Se obtiene una soldadura con buena penetración, exenta de socavaciones y de una buena fusión cuando el material aportado funde la raíz y se extiende por debajo de la superficie de las partes soldadas formando una masa homogénea. Esto se logra utilizando la corriente adecuada, dando como resultado depósitos y penetración correctos³⁶. En la figura 1.6 se muestran los defectos en las soldaduras por arco sumergido.

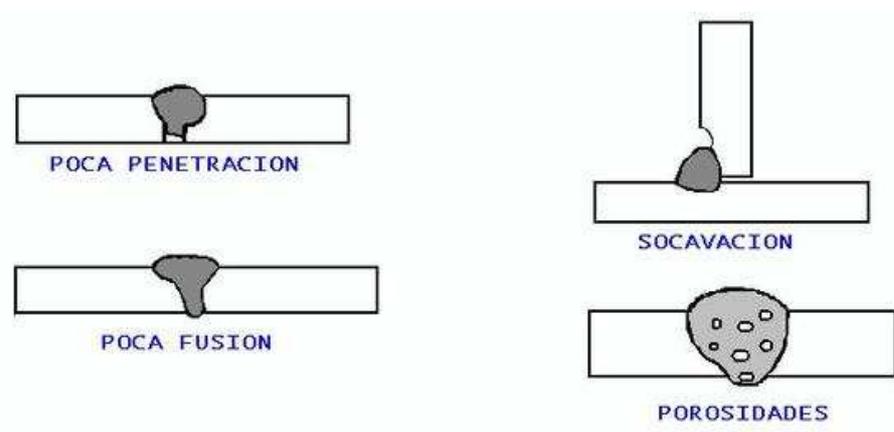


Figura 1.6. Defectos en las soldaduras por arco sumergido. (Tomado de [5]).³⁷

1.2.5.3 Fisuración por hidrógeno

Algunos aceros son más susceptibles que otros a la fisuración en frío, pero afortunadamente las soldaduras por arco sumergido no poseen tendencia particular a este defecto. Si el acero es templable y el fundente está húmedo, entonces sí pueden aparecer fisuras en frío. Este problema se evita manipulando

³⁵[2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO", [www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

³⁶ [5] Lorca Maturana, "SOLDADURA POR ARCO MANUAL O ELÉCTRICO. FUNDAMENTOS", <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos-25815-completo.pdf>

³⁷ [5] Lorca Maturana, "SOLDADURA POR ARCO MANUAL O ELÉCTRICO. FUNDAMENTOS", <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos-25815-completo.pdf>

correctamente el fundente y respetando las temperaturas de precalentamiento y postcalentamiento en los casos en que ello sea necesario.³⁸

1.2.5.4 Fisuras de solidificación

La fisuración en caliente suele ser un problema debido a grandes corrientes de soldadura combinado con elevadas velocidades de avance. Esto origina cordones estrechos y profundos que son muy proclives a las fisuras longitudinales en caliente.³⁹

1.2.6 RECOMENDACIONES PARA EJECUTAR UNA BUENA SOLDADURA

Para una soldadura con buena penetración y fusión, exenta de socavaciones y porosidades se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- a. Utilizar la intensidad de corriente suficiente, la corriente adecuada producirá depósitos y penetración correctos.
- b. Dejar una separación adecuada entre las piezas a soldar por ejemplo en el caso de perfiles de gran magnitud.
- c. Mantener la altura apropiada del arco.
- d. Limpiar debidamente el metal base.
- e. Mantener el arco a una distancia apropiada.
- f. Evitar el recalentamiento por depósito excesivo.

^{38, 39} [2] "SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO",
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)

CAPITULO 2

ESTUDIO DE LA MÁQUINA SOLDADORA INDUSTRIAL EN LÍNEA RECTA DE LA METALMECÁNICA SAN BARTOLO

La máquina soldadora industrial en línea recta es de la marca ARCOS ITALY del año 1973, la cual no se encontraba en funcionamiento. El diseño inicial de la máquina comprendía dos cabezales de soldadura, cada uno de ellos con su motor y mecanismos. En el presente proyecto solo se trabajará con el cabezal B, debido a que el cabezal A ya ha sido desmontado de la estructura.

2.1 EQUIPO DE LA MÁQUINA SOLDADORA

Desde la alimentación de la EEQ de 220V se tiene los siguientes componentes:

2.1.1 TRANSFORMADOR –RECTIFICADOR

El transformador – rectificador de núcleo móvil provee la alimentación integral para el funcionamiento de la máquina soldadora, entre ellas suministra la fuente de energía DC para la pistola de suelda. En la parte inferior del armario se encuentran 5 borneras, 3 de estas abastecen con las fuentes para el control y alimentación de los motores y varios cables de señal. Las dos restantes corresponden a la fuente DC que va directo de los terminales específicos de suelda hacia el circuito de potencia en el cabezal.

Los datos de placa del transformador son:

- Tipo: RS2-500

- Corriente máxima en servicio continuo: 800 A
- Corriente máxima en servicio intermitente: 1000 A
- Tensión de excitación: 220 V
- Frecuencia de operación: 50 HZ



Figura 2.1. Transformador – Rectificador.

Es importante mencionar que tanto el transformador – rectificador, como la plataforma donde se encuentra montado el cabezal y donde se asentará la pieza de metal base a soldar cuentan con una adecuada puesta a tierra que es vital en un equipo soldador eléctrico. Sin tener la conexión correcta a tierra, el potencial pleno del circuito no producirá el calor requerido para soldar.

La fuente para una máquina soldadora no requiere tener una buena regulación de voltaje, debido a que el interés principal es tener una corriente que no varíe mientras se lleva a cabo el proceso de soldadura.

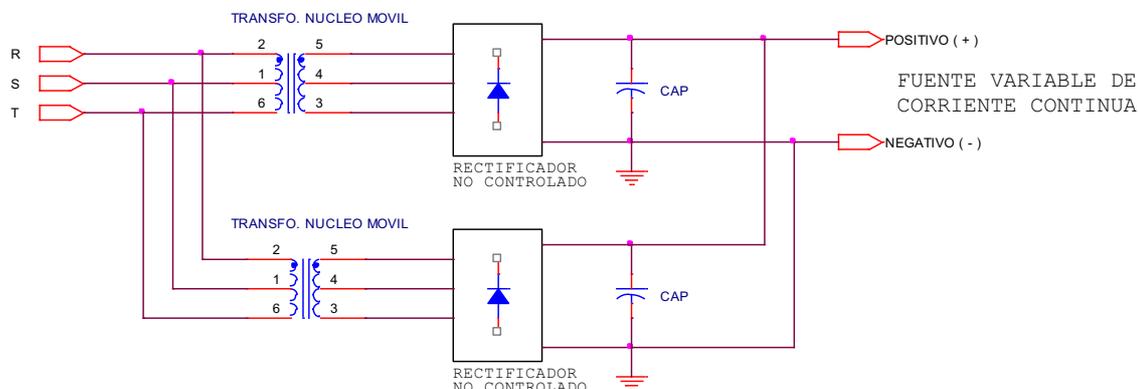


Figura 2.2. Esquema general del Transformador – Rectificador.

Por lo tanto, en un proceso de soldadura por arco sumergido la corriente es el factor más importante a ser tomado en cuenta, la máquina soldadora puede trabajar hasta los 1000 [A] (dependiendo del régimen de trabajo y del espesor del metal base a soldar), es por eso que se tiene dos grupos transformador - rectificador para incrementar la capacidad de corriente. Cada grupo consta de un puente trifásico no controlado, cuyos diodos de alta potencia son enfriados a través de un ventilador acoplado a un motor de inducción jaula de ardilla.

Los diodos de alta potencia 70US20 de la International Rectifier, conforman los puentes trifásicos no controlados. Los motores de inducción monofásicos encargados de la ventilación de cada puente tienen los siguientes datos de placa:

- Fabricante: MARELLI.
- Tipo: Motor Asíncrono 1 Φ .
- Modelo: NVKG6362.
- Número: WOC1000.
- IS. Clase: B.
- Voltaje Nominal: 220 [V].
- Potencia: 0,27[HP] / 0,2[KW].
- Corriente Nominal: 1,65 [A].
- Frecuencia Nominal: 50 [HZ].

- Velocidad Nominal: 2650 [RPM].



Figura 2.3. Motor acoplado a ventilador y puente trifásico no controlado.



Figura 2.4. Núcleo móvil del transformador de suelda.

El transformador es de núcleo móvil, por tanto para elevar o reducir la corriente de soldadura se desplaza el núcleo del mismo. Se puede mover el núcleo del mismo manualmente al mover una manivela que se halla en frente del transformador y también remotamente al accionar un motor de inducción desde el tablero de control. Los datos de placa del motor de inducción tipo jaula de ardilla que permite el desplazamiento del núcleo del transformador son los mismos que de los motores encargados de la ventilación de los diodos de alta potencia.

2.1.2 BASTIDOR

El bastidor, armazón que sirve de soporte para los demás elementos es de 24 m. de largo, 2 m. de ancho, y 3 m. de alto. A través de las guías de este, se desplaza el cabezal de soldadura.



Figura 2.5.Bastidor de la soldadora industrial en línea recta.

2.1.3 CABLES DE FUERZA Y PISTOLA

Los cables de fuerza van directamente del transformador - rectificador hacia el circuito de potencia (transformador de soldadura) y luego hacia la pistola de suelda, la misma que hace contacto con el alambre electrodo. La pieza o elemento por soldar se coloca sobre la base de la máquina la cual se encuentra conectada a tierra o referencia que da también el transformador. Los cables de fuerza no deben ser usados si se detecta algún defecto de aislamiento, ya que se podría producir el arco de suelda en cualquier parte del bastidor que está conectado a tierra.

2.1.4 CABEZAL

En el cabezal se encuentran los circuitos de control y potencia, también los indicadores, interruptores y pulsadores para controlar la máquina, los mismos que se encuentran distribuidos en tres cajas. Igualmente se encuentran el mecanismo de avance de cabezal, el mecanismo de avance o arrastre del alambre, los componentes del dosificador del fundente y la pistola de suelda.



Figura 2.6. Cabezal de la máquina soldadora industrial.

2.1.4.1 Componentes del mecanismo de arrastre del alambre

El mecanismo en mención se compone de un carrete, el cual se encuentra en la parte superior del cabezal. En el mismo se coloca el alambre de suelda para ser “arrastrado” mediante un mecanismo de engranajes acoplados a la caja reductora del motor DC.

El alambre después de pasar por los engranajes se acopla al terminal de la pistola para llevar a cabo en conjunto con el fundente el proceso de soldadura.

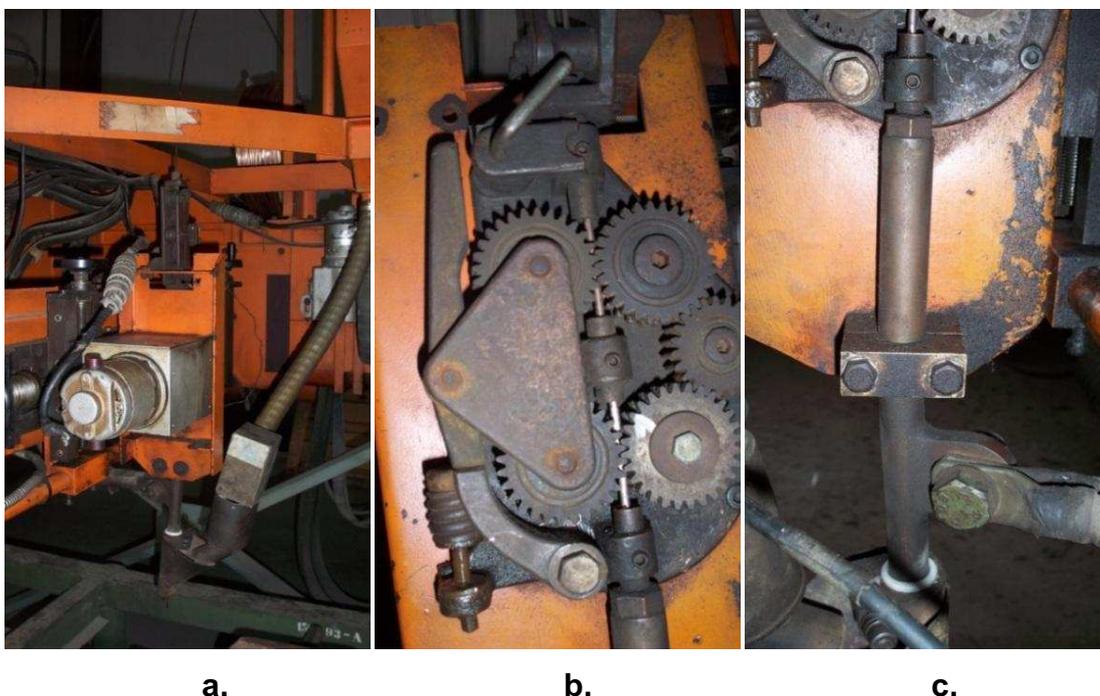


Figura 2.7. (a).Mecanismo de arrastre del alambre**(b).**Mecanismo engranajes**(c).**Conexión del cable de fuerza.

En la Figura 2.8 se numeran los componentes del mecanismo de arrastre del alambre:

- 1.- soporte del carrete donde se coloca el alambre
- 2.- pieza base a ser soldada
- 3.- alambre para suelda
- 4.- carrete

- 5,6.- aislamiento
- 7,8.- pistola o tubo de contacto
- 9.- conexión de cable de fuerza a la pistola de solda
- 10,11,12.- engranajes acoplados al motor para el avance del alambre
- 16.- conducto que permite la caída del fundente por delante del arco
- 18.- palanca que permite ajustar o aflojar el alambre a los engranajes
- 19.- caja reductora acoplada al motor DC

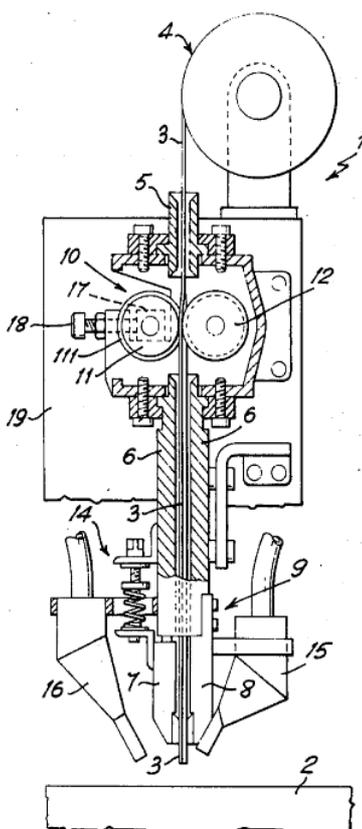


Figura 2.8. Componentes del sistema de arrastre del alambre. (Tomado de [6]).⁴⁰

Los datos de placa del motor DC de arrastre del alambre son:

- Fabricante: Lamb Electric.
- Modelo: IS14849-145903.
- Voltaje Nominal: 32 [V].

⁴⁰ [6] "PROCESS AND APPARATUS FOR THE PERFORMANCE OF ARC WELDING AND OVERLAYING, PREFERABLY SUBMERGED ARC", Inventor: UgoCannata, Patent number: 3936654, Filing date: Apr 5, 1974, Issue date: Feb 3, 1976, http://www.google.com/patents/about?id=M_YyAAAAEBAJ&dq=welding+ARCOS+ITALY

- Potencia: $\frac{3}{8}$ [HP].
- Corriente Nominal: 15 [A].
- Temperatura de operación: 4 – 73 [°C].

2.1.4.2 Componentes del mecanismo de avance del cabezal

El mecanismo de avance del cabezal se compone de un sistema de cadena – piñón el cual posee una cadena sin fin (cerrada) cuyos eslabones engranan con una rueda dentada (piñón) que está unida al eje de una caja reductora correspondiente al motor DC acoplado para el avance, cuyos datos de placa son:

- Fabricante: Lamb Electric.
- Modelo: IS14849-124176.
- Voltaje Nominal: 32 [V].
- Potencia: $\frac{3}{8}$ [HP].
- Corriente Nominal: 15 [A].
- Temperatura de operación: 10 – 70 [°C].

2.1.4.3 Componentes del dosificador de fundente

El dosificador de fundente se compone de una tolva de almacenamiento. A través de una manguera se conecta la parte inferior del recipiente al sistema péndulo – bobina, el cual se acciona al momento de iniciar el proceso de soldadura. El sistema péndulo – bobina se acopla a la pistola de suelda.

Todo el sistema se encuentra aislado para que el operador no sufra ningún shock eléctrico, pero es recomendable que durante el proceso no se tenga contacto con la pieza a soldar.

Los datos de la bobina que permite el paso del fundente son:

- Marca: Westool
- Tipo: Soreng TT6 Solenoid
- Voltaje: 23 – 25 [V]
- Frecuencia: 50 [Hz]



Figura 2.9. Componentes del dosificador de fundente.

2.1.5 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

2.1.5.1 Circuitos de avance del cabezal

2.1.5.1.1 Circuito de control de avance del cabezal

El circuito de control para el avance de cabezal posee 5 entradas, los cuales son pulsadores que se detallan a continuación:

- Un pulsador normalmente cerrado de paro de emergencia.
- Un pulsador normalmente abierto para inicio de avance.
- Un pulsador normalmente abierto para el restablecimiento después de haber accionado el paro de emergencia.
- Fines de carrera izquierdo y derecho. Cada uno consta de dos contactos, uno normalmente cerrado y otro normalmente abierto.

Este circuito alimenta al contactor Z9, cuyos contactos principales permiten la alimentación de la armadura y campo del motor DC encargado del avance del cabezal.

El sentido de avance del cabezal se escoge al accionar los fines de carrera, los mismos que permiten la activación del contactor Z10 para movimiento hacia la derecha y Z11 para movimiento hacia la izquierda. Cada fin de carrera al ser accionado envía dos señales que permiten escoger el sentido de movimiento y el paro del cabezal cuando se detecta un tope o se activa manualmente el fin de carrera pertinente. Se cuenta con dos luminarias para verificar el sentido de avance del cabezal.

Para iniciar el movimiento del cabezal necesariamente se debe seguir los siguientes pasos: selección del sentido del movimiento del cabezal a través del accionamiento de cualquiera de los fines de carrera, activación del contactor Z12-RESTART a través del pulsador de restablecimiento y por último la activación del contactor Z9 debido al accionamiento del pulsador de inicio de avance del cabezal. Si se desea cambiar el sentido del movimiento se acciona el fin de carrera pertinente y se presiona el pulsador de inicio de avance.

El circuito de control de avance del cabezal se encuentra en el **ANEXO A**.

2.1.5.1.2 Circuito de potencia de avance del cabezal

El circuito de potencia de avance del cabezal comprende: el circuito de alimentación al campo y el de alimentación a la armadura del motor DC. Donde se aprecia, la inversión de giro a través del cambio de polaridad en la fuente fija de alimentación al campo del motor DC y el control de velocidad a través de la variación del voltaje de armadura del motor DC.

El circuito para la alimentación del campo del motor DC se compone de un puente rectificador y un filtro capacitivo para alimentar al motor DC. A través de los contactos principales de los contactores Z10 y Z11, en configuración de puente H

se invierte el sentido de giro del motor, el mismo que se lo selecciona a través de los fines de carrera en el circuito de control.

El control de velocidad se lo hace al variar el voltaje de alimentación a la armadura del motor DC, por medio de un regulador de voltaje conectado antes del puente rectificador. El voltaje DC varía entre 0 y 32 [V] y se lo puede visualizar en un voltímetro análogo paralelo a los terminales de la armadura.

El circuito de potencia de avance del cabezal se encuentra en el **ANEXO B**.

2.1.5.2 Circuitos de arrastre del alambre y control de proceso de soldadura

2.1.5.2.1 Circuito de control de arrastre del alambre y del proceso de soldadura

El circuito de control para arrastre del alambre cuenta con tres entradas, las cuales se detallan a continuación:

- Un interruptor de dos posiciones WELDING, que permite activar o desactivar la opción de soldadura.
- Un interruptor sin auto-enclavamiento de tres posiciones IFB – UP/DOWN, que permite subir o bajar el alambre de suelda, solo si no se ha activado la opción de inicio de soldadura.
- Un interruptor de dos posiciones CONTINUO/INTERMITENTE, el cual permite seleccionar el modo de suelda.

Si el interruptor WELDING, se halla en posición OFF, solo se puede maniobrar el arrastre del alambre a través del interruptor IFB. Se activa el contactor Z7 si se desea subir el alambre y el contactor Z6 si la selección es bajar el alambre.

Uno de los componentes de este circuito de control es el relé ZB, este solo se activa cuando ha iniciado el proceso de soldadura, en el cual únicamente es permitido el arrastre del alambre hacia abajo a través del contactor Z1.

Es por ello que existe un bloqueo entre los contactores Z6 y Z1 que realizan la misma tarea. Se evidencia que se está llevando a cabo el proceso de soldadura debido al accionamiento de la luz de trabajo.

Para comenzar la soldadura se debe seleccionar en primera instancia el modo de operación entre continuo e intermitente. Se procede a iniciar el proceso de soldadura colocando el interruptor de WELDING en la posición ON, el alambre de cobre debe estar en contacto o suficientemente cerca del material base para que se lleve a cabo la primera chispa que permite el arranque del proceso de soldadura. Una vez iniciado se alimentan el contactor ZPB y el relé Z8.

El contactor ZPB permite la activación de los circuitos de fuerza de soldadura y por ende el paso de la corriente hacia la pistola que permite llevar a cabo el proceso de soldadura, estos circuitos se explican más adelante.

El relé Z8 corresponde a un relé de tiempo OFF-DELAY, el mismo que permite la activación del sistema de dosificación del fundente y la temporización para el modo de suelda en modo intermitente.

La máquina soldadora cuenta con la opción FOTOCELL, la misma que permite activar un sensor óptico ubicado en la parte inferior de la caja de control. Si el interruptor se encuentra en la posición OFF, el sensor no trabaja y el contactor ZS se halla activado, por tanto se puede llevar a cabo el proceso indicado anteriormente para iniciar el proceso de soldadura.

Si la opción FOTOCELL se encuentra en posición ON, el contactor ZS no se activa, de esta forma no se puede llevar a cabo el proceso de soldadura. Se requiere abrir el circuito interrumpiendo el paso de la luz en el sensor óptico para que se active el contactor ZS a través del contacto NC del relé fotocell, permitiendo soldar ya sea en modo continuo o intermitente.

Cabe mencionar que el contactor ZPB y el relé ZB se activan siempre que se de arranque al proceso de suelda, sin importar que modo de operación se ha seleccionado o si se trabaja o no en modo FOTOCELL.

Los circuitos de control de arrastre del alambre y control de proceso de soldadura se encuentran en los **ANEXOS A, C y E**.

2.1.5.2.2 Control del Transformador – Rectificador

El transformador es de núcleo móvil, por tanto para elevar o reducir la corriente de soldadura se desplaza el núcleo del mismo, ya sea de forma local a través del movimiento de una manivela o de forma remota por medio del interruptor ICB de tres posiciones sin enclavamiento, el mismo que activa dos contactores que se encuentran en la caja del transformador y que permiten el movimiento en ambos sentidos del motor de inducción monofásico que desplaza el cabezal. Se tiene acceso a estos contactores a través de la regleta de señales de control y alimentaciones.

El circuito de control del Transformador - Rectificador se encuentra en el **ANEXO C**.

2.1.5.2.3 Circuito de potencia de arrastre del alambre

El circuito de potencia del motor DC encargado del arrastre del alambre comprende la alimentación con inversión de giro a los terminales de la armadura del motor DC y la alimentación a los bobinados del campo del mismo.

El circuito de control por armadura se compone de un puente H formado por los contactos principales de los contactores Z6 y Z7 que permiten la inversión de sentido de giro en el motor, según se escoja subir o bajar el alambre de suelda a través del interruptor de tres vías UP-DOWN siempre y cuando no se haya activado el interruptor WELDING.

También consta de un puente rectificador que entra en funcionamiento cuando se ha iniciado el proceso de soldadura, el cual a través de los contactos principales

del contactor Z1 provee el voltaje variable al motor que arrastra el alambre siempre hacia abajo. La variación del voltaje se la realiza a través del regulador que en un principio permite fijar el voltaje de arco, cuando el proceso de soldadura se lleva a cabo este voltaje permite mantener el arco de soldadura a una distancia adecuada.

La alimentación del campo del motor DC depende del cierre de cualquiera de los contactos auxiliares (13-14) de los contactores Z1, Z6 y Z7.

El circuito de potencia de arrastre del alambre se encuentra en el **ANEXO D**.

2.1.5.3 Circuito del dosificador de fundente

El relé Z8 OFF-DELAY permite la activación de la bobina del sistema de dosificación desde el momento que inicia el proceso de soldadura. También se puede activar la bobina del dosificador a través del pulsador Dosificador Fundente CB normalmente abierto.

El circuito de dosificador del fundente se encuentra en el **ANEXO F**.

2.1.5.4 Circuitos de fuerza de soldadura

El cabezal en su tablero principal tiene un switch auxiliar trifásico el cual al cerrarlo alimenta a través de un contacto principal (3-4) del contactor ZPB con dos fases al secundario del autotransformador, se induce un voltaje de arco en el primario del autotransformador el cual está en paralelo a dos placas conductoras que permiten el paso de corriente para alimentar al primario del transformador de suelda.

El circuito de fuerza de soldadura posee una fuente de corriente continua, la cual varía su amperaje de acuerdo a la posición del núcleo móvil del transformador. En serie se encuentra una resistencia shunt y en paralelo a la resistencia shunt un amperímetro, sigue a través del secundario del transformador de suelda y termina en la pistola de suelda. En paralelo se encuentra un condensador y un voltímetro para poder medir el voltaje de arco de suelda.

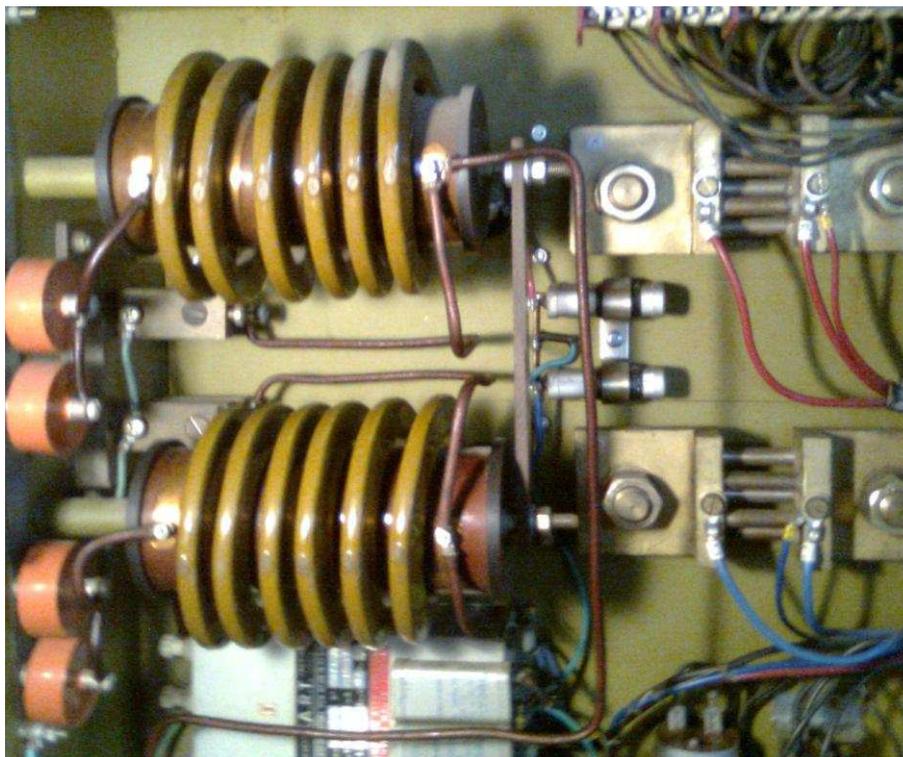


Figura 2.10.Elementos de los circuitos de fuerza de soldadura. Transformador de corriente y resistencia shunt.

El transformador de suelda en su bobinado primario posee pocas vueltas, es decir bajo voltaje y alta corriente, en su bobinado secundario posee muchas vueltas, es decir alto voltaje y baja corriente, por lo tanto, el transformador de suelda es elevador de corriente.

Los circuitos de fuerza de soldadura se encuentran en los **ANEXOS G y H**.

2.2 VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA DE LA MÁQUINA INSTALADA EN LA METALMECÁNICA SAN BARTOLO

Debido a la construcción de la máquina se descartan varios de los parámetros que ya no influyen en el proceso de soldadura como son: Polaridad de la fuente,

que en este caso es directa, e inclinación del alambre que es siempre vertical. Por lo tanto, las variables que se van a tomar en cuenta para la automatización de la máquina soldadora industrial instalada en la Metalmecánica San Bartolo dependen del espesor del material base a ser soldado y estas son:

- Amperaje de soldadura
- Voltaje de soldadura
- Velocidad de avance de soldadura
- Diámetro del alambre para electrodo

Además de ello no se deben olvidar las recomendaciones que permitirán tener una soldadura de calidad, como son el estado del material a soldar, una correcta conexión a tierra y el tipo y cantidad de fundente. En la Tabla 2 se muestra una referencia de los parámetros anteriormente mencionados:

Espesor del material	Diámetro del electrodo	Amperaje	Voltaje	Velocidad de avance
[mm]	[mm]	[A]	[V]	[m/min]
4	2,4	375	30	1
5	2,4	425	35	1
6	3,2	480	35	0,9
7	3,2	550	30	0,88
8	4	550	35	0,9
10	4	600	35	0,9
12	4,8	750	35	0,8
16	4,8	800	36	0,55
20	4,8	925	38	0,45
25	6	925	36	0,45
30	6	925	36	0,35
35	6	1000	34	0,28

Tabla 2. Tabla de regulación para soldadura en aceros. (Tomado de [8]).⁴¹

⁴¹[8] "SOLDADURAS", <http://www.slideshare.net/NsBoy/soldaduras-presentation>

Una vez terminado el estudio de la máquina soldadora, se decide que elementos se van a retirar y cuales se van a mantener para integrarlos con el sistema de control que se va a diseñar. Por lo tanto, se concluye que es necesario realizar el control de los siguientes sistemas antes mencionados:

- Control de velocidad con inversión de giro en los motores encargados del avance del cabezal y del arrastre del alambre.
- Dosificación del fundente y control del circuito de fuerza de soldadura.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SOLDADORA EN LÍNEA RECTA

Después de estudiar el proceso de soldadura por arco sumergido y analizar la máquina soldadora industrial en línea recta instalada en la Metalmecánica San Bartolo y la secuencia para puesta en marcha de la misma, se decidió utilizar una técnica de control por módulos basado en microcontroladores.

3.1 CONTROL MODULAR

Tanto en software como en hardware, el control modular tiene ventajas, por ejemplo: en software, la programación es mucho menos compleja que en el caso de programar todo el sistema para un solo microcontrolador. En cuanto al hardware el beneficio se refleja en lo económico, ya que si algo llegara a fallar en una de las tarjetas solo habría que verificar y reparar o en su defecto reponer solo la tarjeta que falló y no todo el sistema de control.

Otras de las ventajas de este tipo de sistema son:

- Desarrollo de sistemas a base de módulos (en hardware y software) que facilitan los cambios, el aislamiento y localización de averías.
- Redundancia de equipos.
- Fácil mantenimiento.⁴²

⁴²[10] Nelson Sotomayor O., MsC., 2009, "Publicación de la materia Control con Microprocesadores",
<http://ciecfie.epn.edu.ec/CCControlC/materias/cmicos/CONTROL%20CON%20MICROPROCESADORES.pdf>

El objetivo del diseño modular para controlar el proceso de soldadura es garantizar el funcionamiento del sistema en todo momento, proporcionar información en tiempo real y controlar las variables de interés de forma más manejable y flexible, utilizando para ello varios microcontroladores, cada uno de los cuales gobierna una tarea específica dentro del proceso de soldadura. De esta manera se optimiza el rendimiento del proceso y se facilitan las tareas de mantenimiento del sistema.

La información en tiempo real es captada por los microcontroladores, en este caso es la información proveniente del sensor encoder, sensor de nivel y de los elementos de maniobra como son: marcha, paro y pulsadores para control.

El control modular permite la integración de las funciones específicas a través de la comunicación entre controladores según convenga para la aplicación; de esta manera se consigue llevar a cabo la supervisión de la planta donde se efectúan diferentes procesos.⁴³

En el caso de la soldadora industrial el control modular se divide en los siguientes procesos:

- Avance del cabezal, monitoreo y visualización de las variables del proceso.
- Arrastre del alambre de suelda.
- Tareas de soldadura y monitoreo de estas tareas.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO - HARDWARE

3.2.1 ANÁLISIS DEL ENCODER

El encoder, transductor rotativo que genera señales digitales en respuesta al movimiento angular de un disco graduado, en este caso se mueve debido al mecanismo de arrastre ligado al desplazamiento del cabezal de soldadura. Las

⁴³[9] "SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO", http://www.slideshare.net/ptah_enki/sistemas-de-control-distribuidos

señales digitales generadas son llevadas a un OPTO-INTERRUPTOR, compuesto por un FOTODIODO y un FOTOTRANSISTOR, y procesadas por el microcontrolador para llevar a cabo la soldadura por tramos.

El encoder empleado da un determinado número de impulsos por vuelta (15 impulsos por revolución), los mismos que serán utilizados para controlar los tramos de suelda y no suelda en el proceso. Los pulsos que entrega el encoder al microcontrolador son captados por el Timer en modo counter, detectando el flanco de subida o bajada de acuerdo a la configuración del registro.

Algunas de las características técnicas de este encoder son:

- El disco del encoder genera 15 pulsos por revolución. Lo que implica una resolución de 24 grados y 1 cm de recorrido lineal.
- El opto-interruptor a utilizar es el ECG3100 que emplea lógica normal digital, es decir TTL (0-5 [V]). Está compuesto por un FOTODIODO y un FOTOTRANSISTOR.



Figura 3.1. Encoder montado en el cabezal de suelda.

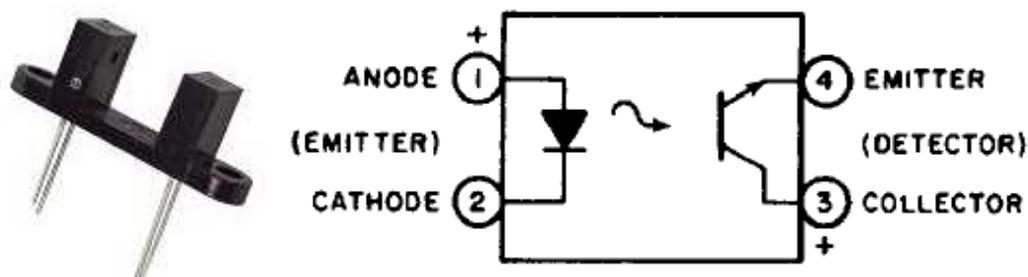


Figura 3.2. Opto-interruptor ECG3100 (Tomado de [16]).⁴⁴

El encoder para esta aplicación no necesita tener un gran número de slots (impulsos / revolución), 1 cm de recorrido lineal es la mínima medida para soldar y se puede considerar aceptable si se desea puntear la soldadura. Obtener 0 o 5 [V] como respuesta del opto-interruptor dependerá de la ubicación de la resistencia R_T , que puede ser en el emisor o en el colector del transistor.

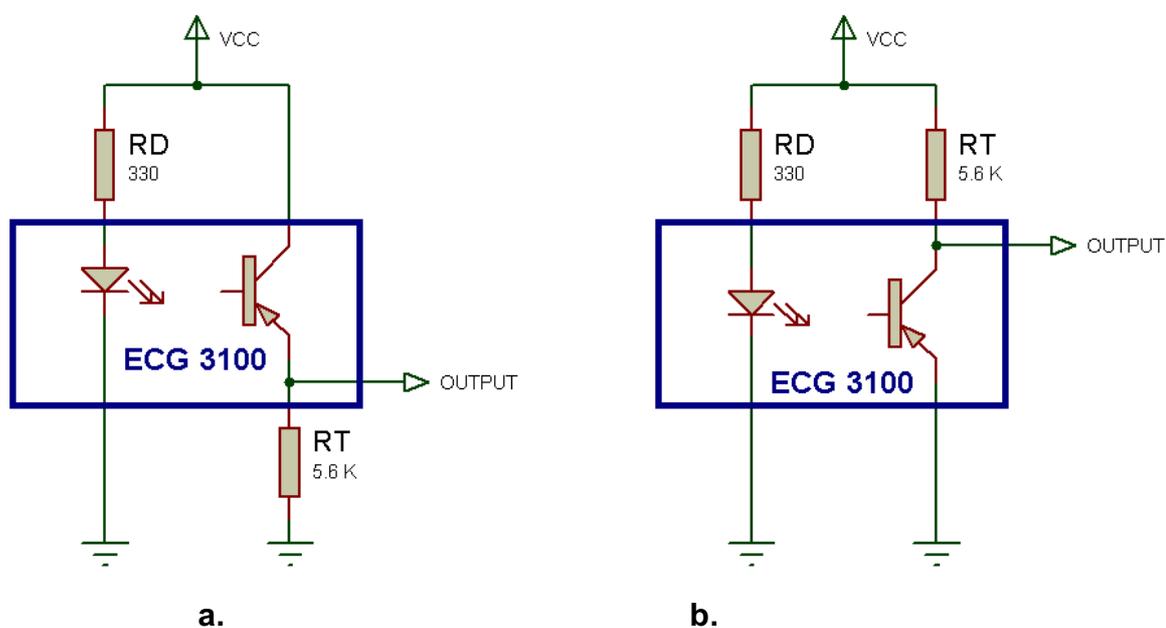


Figura 3.3. Posibles conexiones del opto-interruptor ECG3100. (Tomado de [21]).⁴⁵ **(a).** Resistencia R_T en el emisor. **(b).** Resistencia R_T en el colector.

⁴⁴ [16] Datasheet ECG3100, <http://www.datasheetarchive.com/ECG3100-datasheet.html>

⁴⁵[21] Acuña Carlos, Paredes Edwin, Sotomayor Nelson, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL QUE PUEDA DESPLAZARSE DENTRO DE UN LABERINTO", <http://ciecfe.epn.edu.ec/JIEE/historial/XX%20JIEE/31%20Dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20robot%20m%C3%B3vil%2008-11-2006.pdf>

OPTO-INTERRUPTOR ECG3100			
Característica			
LED	Corriente de polarización directa máxima	I_F	60 [mA]
	Voltaje de ruptura inversa del diodo	V_R	6 [V]
SALIDA	Voltaje colector – emisor	V_{CE}	55 [V]
	Corriente de colector	I_C	100 [mA]
	Potencia total de disipación	P_T	250 [mW]
	Configuración de transistor de salida		NPN

Tabla 3. Características del opto-interruptor ECG3100. (Tomado de [16]).⁴⁶

3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL DISPLAY ALFANUMÉRICO – LCD 20 x 4

Una pantalla de cristal líquido o LCD, es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora⁴⁷. Cada píxel de un LCD típicamente consiste de una capa de moléculas, las mismas que actúan opacándose o manteniéndose transparentes de acuerdo con el voltaje aplicado.

En un display alfanumérico se puede mostrar caracteres formados con una matriz de 5 x 8 puntos. En este tipo de display se puede representar mayor información que en el caso de un display de 7 segmentos. De los caracteres que se pueden representar 240 ya están grabados en los controladores del display, estos representan las letras mayúsculas, minúsculas, signos de puntuación, números, etc. Existe también la posibilidad de representar caracteres definidos por el usuario⁴⁸. A los LCD se los conoce por el número de caracteres por fila y el número de filas, en el caso del proyecto es de 20 x 4.

⁴⁶ [16] Datasheet ECG3100, <http://www.datasheetarchive.com/ECG3100-datasheet.html>

⁴⁷ [25] "PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO"

http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristal_l%C3%ADquido

⁴⁸ [24] "DISPLAYS DE CRISTAL LIQUIDO, MANUAL DE REFERENCIA DEL LCD", <http://www.todorobot.com.ar/documentos/display.pdf>

3.2.2.1 Interfaz del display alfanumérico y distribución de pines

Las señales necesarias para el funcionamiento y control del display son:

- Alimentación de 5[V], con un consumo menor de 5[mA].
- Transmisión de datos, a través de un bus de 8 bits o 4 bits.
- Para el control del display son necesarios 3 bits: una señal de enable (E), una para indicar lectura/escritura (RW) y otra para seleccionar uno de los dos registros internos (RS). RS=0 selecciona el registro de control o de ejecución de comandos. RS=1 el registro de datos.

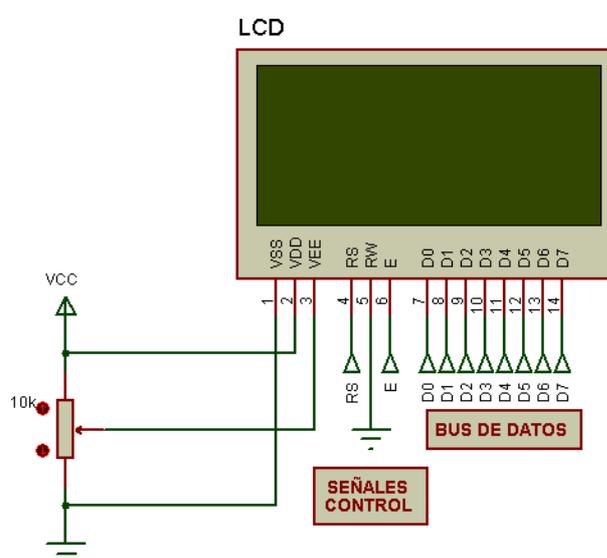


Figura 3.4. Señales para el funcionamiento y control de un LCD.

Generalmente solo se va a escribir en el LCD, es por ello que la línea de control RW puede ser conectada directamente a tierra.

Si se configura el bus de datos a 8 bits, se utilizan 10 líneas de microcontrolador. Utilizar el bus multiplexado de 4 bits es una opción muy útil para ahorrar bits en el sistema de control. En vez de utilizar 10 bits en total, se utilizarán 6.

Distribución de pines LCD		
PIN	Símbolo	Descripción
1	VSS	Ground
2	VDD	Fuente Alimentación, 5[V]

3	VEE	Contraste
4	RS	Señal selección de registro
5	RW	Selección lectura / escritura
6	E	Señal de habilitación
7	DB0	Línea bus de datos, LSB
8	DB1	Línea bus de datos
9	DB2	Línea bus de datos
10	DB3	Línea bus de datos
11	DB4	Línea bus de datos
12	DB5	Línea bus de datos
13	DB6	Línea bus de datos
14	DB7	Línea bus de datos, MSB
15	ÁNODO	Alimentación Back light, 5[V]
16	CÁTODO	Ground

Tabla 4. Distribución de pines de LCD. (Tomado de [24]).⁴⁹

Para encender el back light se recomienda usar una resistencia de 150[Ω], debido a que debe circular una corriente de aproximadamente 33[mA] a través del led⁵⁰. En algunos LCDs ya incluye la resistencia necesaria para encender el backlight y solamente se conecta los pines 15 y 16 según corresponda al ánodo o cátodo.

3.2.3 CONTROL ELECTRÓNICO PARA MOTORES DC

Los dos motores de la máquina soldadora industrial son de excitación independiente, el control en ambos casos se lleva a cabo en la armadura. El campo está permanentemente alimentando si se ha iniciado el proceso.

⁴⁹[24] "DISPLAYS DE CRISTAL LIQUIDO, MANUAL DE REFERENCIA DEL LCD", <http://www.todorobot.com.ar/documentos/display.pdf>

⁵⁰[10] Nelson Sotomayor O., MsC., 2009, "Publicación de la materia Control con Microprocesadores", <http://ciecfie.epn.edu.ec/CCControlC/materias/cmicos/CONTROL%20CON%20MICROPROCESADORES.pdf>

De acuerdo al estudio realizado a la máquina soldadora industrial, el control para los motores DC de avance del cabezal y arrastre del alambre exige el giro en ambos sentidos: avance y retroceso.

Para la operación del motor DC encargado del avance del cabezal es necesario también el control de velocidad, por ello se utiliza un arreglo de 4 interruptores que trabajan en conmutación, en configuración de puente H, para lo cual se requiere dos señales PWM generadas por el microcontrolador.

Para el motor encargado del arrastre del alambre, el puente H a base de interruptores alimenta al motor para que funcione en ambos sentidos y la alimentación variable a los terminales de la armadura se la controla con el variador de tensión propio de la máquina, el cual es necesario para controlar de manera análoga el aporte de material durante el proceso de solda.

El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito mostrado en la Figura 3.5.

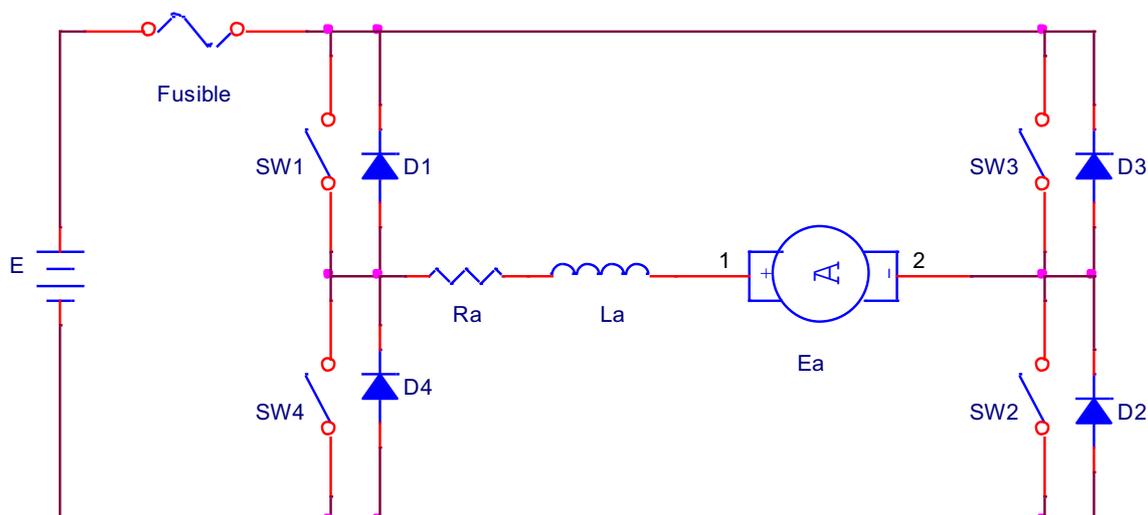


Figura 3.5. Configuración puente H.

Un puente H se construye con 4 interruptores. Cuando los interruptores S1 y S2 están cerrados (S3 y S4 abiertos), se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido. Se invierte el sentido del giro al invertir el voltaje

de alimentación a los terminales del motor, cuando se activan S3 y S4 (S1 y S2 abiertos).

Con la nomenclatura empleada, los interruptores S1 y S4 nunca podrán estar cerrados al mismo tiempo, porque de esta manera se cortocircuitaría la fuente de voltaje. Lo mismo sucede con S2 y S3.

Lo más habitual en este tipo de circuitos es emplear interruptores de estado sólido (como Transistores, MOSFETs e IGBTs), puesto que sus tiempos de vida y frecuencias de conmutación son mucho más altos. Los interruptores se acompañan de diodos, conectados a ellos en anti-paralelo. Los diodos permiten circular a las corrientes en sentido inverso cada vez que se conmute la tensión, puesto que el motor está compuesto por bobinados que durante breves períodos de tiempo se oponen a que la corriente varíe.⁵¹

Cabe recalcar que en el sistema a implementar no es necesario realizar un frenado o una parada brusca del motor DC, por lo tanto, para detener el motor solamente se deja de alimentarlo abriendo los elementos de switcheo, el frenado se lleva a cabo por la propia inercia de la carga.

3.2.3.1 Diseño del circuito de potencia para el manejo de los motores DC

Los requerimientos necesarios para realizar un buen diseño contemplan el conocimiento de la carga que se va a manejar, es decir, el dato de placa del motor de DC. Los dos motores, tanto el de arrastre del alambre, como el de avance del cabezal, tienen los mismos datos de placa, las especificaciones técnicas son:

- Voltaje Nominal: 32 [V].
- Potencia: $\frac{3}{8}$ [HP], equivalente a 285[W]
- Corriente Nominal: 15 [A].

En el diseño se dimensionan los interruptores, los diodos que se conectan en anti-paralelo a estos y el fusible; se conservan varios de los elementos originales de la

⁵¹[18] "PUENTE H", [http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica))

máquina, tales como son: transformadores de alimentación, puente de diodos rectificador y el capacitor a la salida del puente, que servirán de fuente DC para la armadura y el campo. En el caso del motor de arrastre del alambre también se conserva el variador de tensión, el mismo que permite variar la velocidad del motor, lo que incide en la cantidad de material de aportación.

Considerando la potencia, frecuencia de operación y la técnica de conmutación (PWM), los elementos semiconductores de potencia seleccionados para comandar el puente H serán IGBTs.

El sistema de control tiene por objeto permitir que el proceso de soldadura se lleve a cabo en tramos, por lo tanto, es necesario tomar en cuenta que el servicio de operación al que van a estar sometidos los motores y por ende los semiconductores es generalmente intermitente con gran influencia en el arranque; es por ello que en el dimensionamiento de los elementos de potencia se considera este parámetro como el más crítico.

Se dimensiona el IGBT para un mínimo de 4 veces la corriente nominal del motor debido al arranque que es el parámetro más crítico al que van a estar sometidos los elementos de switcheo, es decir, para una corriente mayor a 60[A].

El voltaje que debe soportar el elemento semiconductor debe ser mayor a $\sqrt{2} \times V_{nominal}$. Es decir $V_{IGBT} \gg 45,5$ [V].

La velocidad de conmutación de los IGBT es muy alta, siendo del orden de los nanosegundos, por tanto no existirá problema alguno con la frecuencia de trabajo, la misma que se ha escogido alrededor de 2 [KHz]; en el mercado nacional no se encontró IGBT o MOSFET de la corriente necesaria para el manejo de los motores; los proveedores internacionales tampoco disponían de IGBTs con la capacidad de corriente calculada en el dimensionamiento ya que no los fabrican

continuamente, pero se encontró disponibilidad y además de fabricación continua el IGBT FGA180N33ATD en un distribuidor en Estados Unidos.⁵²

Con los parámetros establecidos, el IGBT FGA180N33ATD es el adecuado para el circuito de potencia que controla a los motores. El IGBT FGA180N33ATD tiene las siguientes especificaciones: $V_{CE}=330V$ / $I_C=180A$.



Figura 3.6. IGBT FGA180N33ATD.

Diagrama esquemático interno. (Tomado de [28]).⁵³

El IGBT seleccionado cuenta con un diodo interno conectado en anti-paralelo de capacidad de corriente directa de conducción $I_F= 180$ [A], esto hace de esta serie de IGBT's aptos para el control de motores.

IGBT FGA180N33ATD			
Característica			Valores
I G B T	Voltaje Colector - Emisor máximo	V_{CE}	330 [V]
	Corriente de colector máxima	I_C	180 [A]
	Voltaje Gate - Emisor máximo	V_{GE}	30 [V]
	Pulso de corriente máxima en colector	I_C	450 [A]
	Temperatura máxima de operación	T	150[°C]
	Características Switching	$t_{d(ON/OFF)}$	300 [ns]

Tabla 5. Características del IGBT FGA180N331TD. (Tomado de [28]).⁵⁴

⁵²[31] DIGIKEY, distribuidor de componentes electrónicos en Estados Unidos, <http://search.digikey.com/scripts/DkSearch/dksus.dll?lang=en&site=US&KeyWords=FGA180&x=0&y=0>

^{53,54} [28] Datasheet IGBT FGA180N331TD, <http://www.fairchildsemi.com/ds/FG/FGA180N33ATD.pdf>

A continuación se presentan los esquemas originales obtenidos de los circuitos de potencia que se implementan tanto para el motor de avance del cabezal como para el motor DC de arrastre del alambre. El campo de los motores está permanentemente alimentado. En los diagramas consta el etiquetado de los cables.

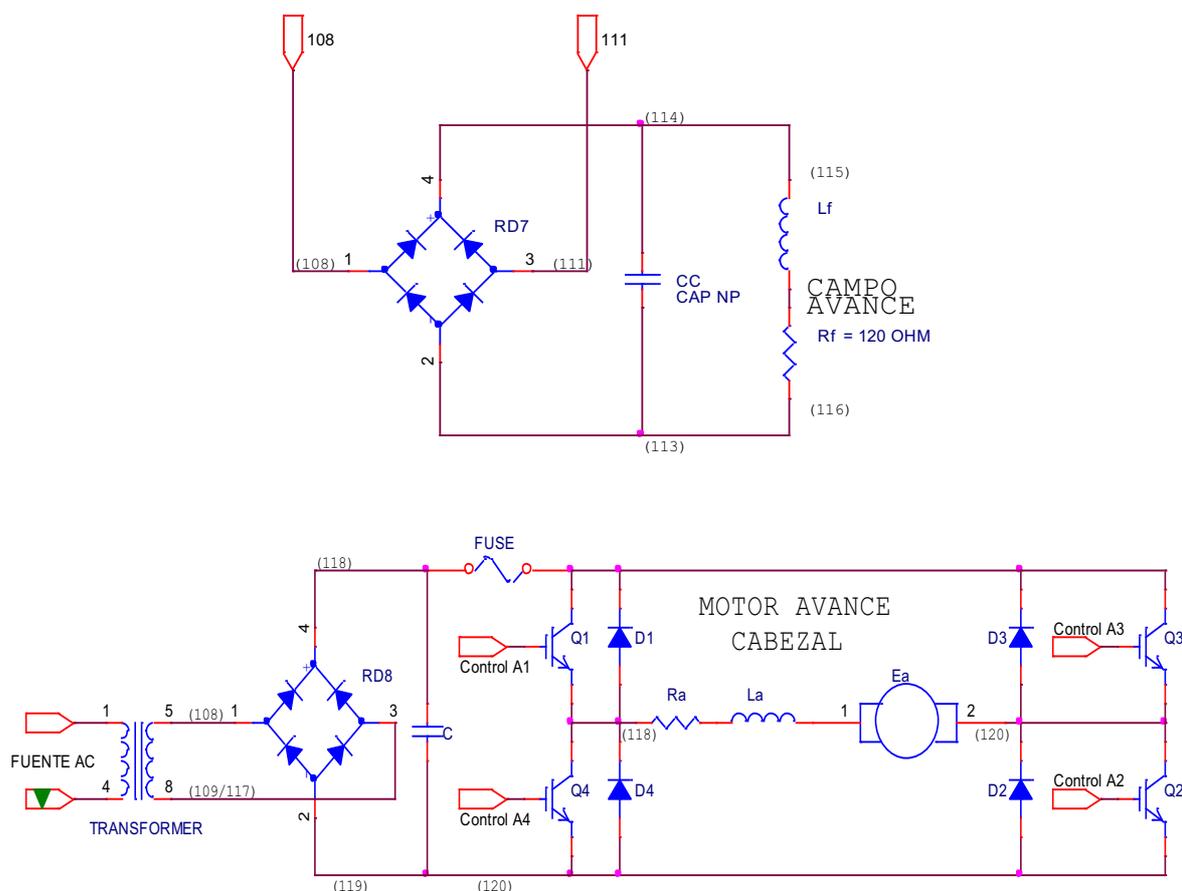


Figura 3.7. Esquema del circuito de potencia para el motor de avance.

Para dimensionar el fusible que protege tanto al motor como a los IGBTs se toma en cuenta la corriente pico que debe soportar el motor en el arranque. Ya que no se conoce el valor de la inductancia de armadura para el dimensionamiento, entonces se toma como referencia el valor de la corriente nominal. Como mínimo se estableció 1,5 veces la corriente nominal del motor, es decir, un fusible de 22,5[A] (valor no comercial) con extinción de arco para evitar efectos en los circuitos externos debido al nivel de corriente que circula en un corto circuito.

Además el fusible protege en caso de sobre carga al motor. En el mercado no se encuentra este valor de fusible, el valor próximo a este es de 25[A].

Se debe tomar en cuenta que el fusible que protege al motor sea de la corriente adecuada, además de acuerdo al esquema de un puente H este fusible protege tanto al motor como a los elementos de switcheo.

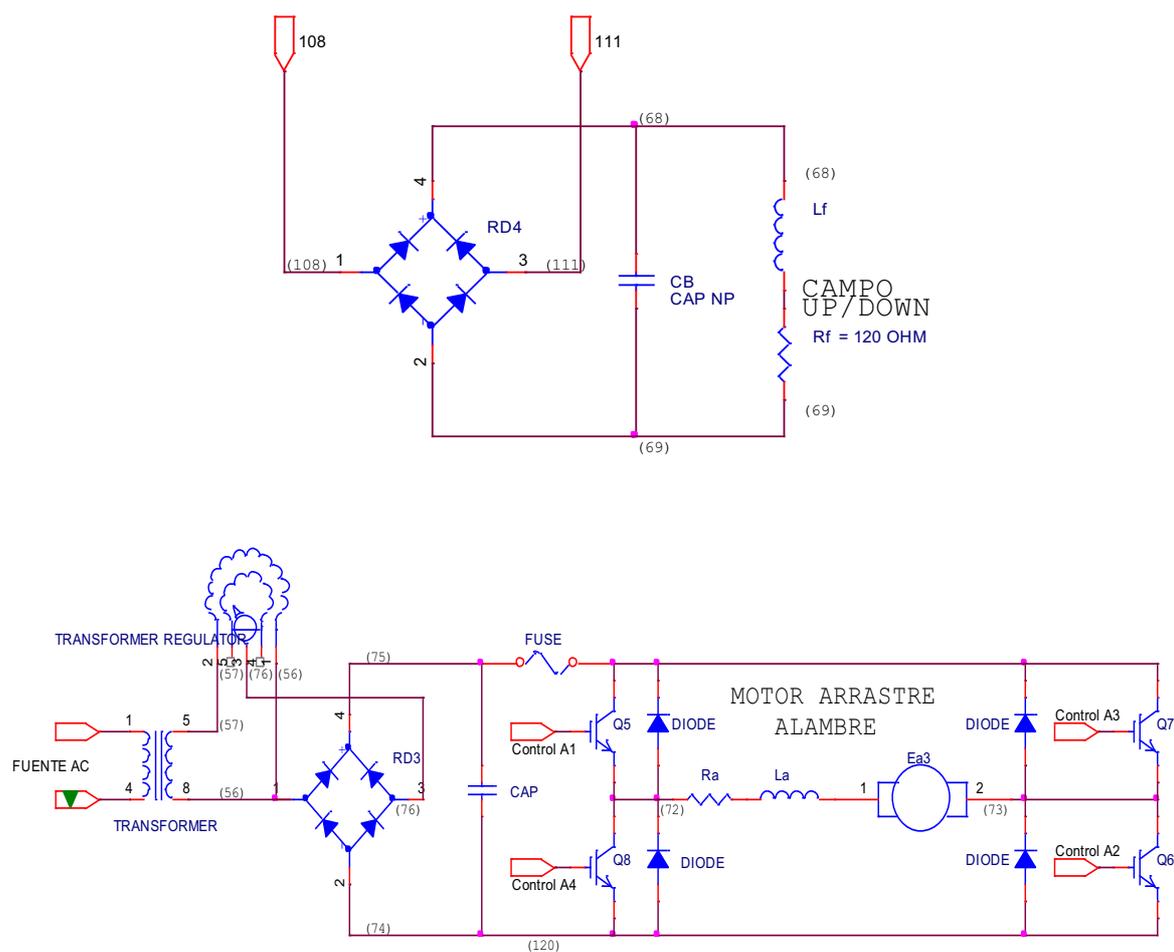


Figura 3.8. Esquema del circuito de potencia para el motor de arrastre.

3.2.4 DESCRIPCIÓN DEL SENSOR DE NIVEL

Para medir el nivel de fundente existente en la tolva, se decide utilizar un fin de carrera que actúa como un sensor ON/OFF. La conexión del fin de carrera es igual a la de cualquier pulsador o interruptor, asociado a una red RC.

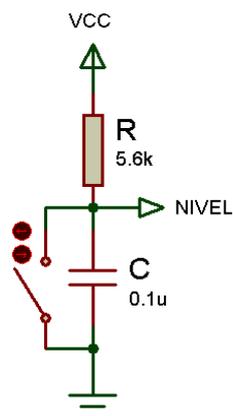


Figura 3.9. Esquema de conexión del fin de carrera.

El fin de carrera de la marca CAMSCO seleccionado cuenta con un contacto normalmente abierto y un contacto normalmente cerrado; permite trabajar máximo a los siguientes valores de continua: 0.8 A – 125 V / 0.4 A – 250 V / 0.1 A – 600 V.



Figura 3.10. Fin de carrera CAMSCO.

3.2.5 SELECCIÓN DE LOS MICROCONTROLADORES

3.2.5.1 Análisis de periféricos de IN / OUT y asignación de recursos a los microcontroladores

Debido a que se ha elegido una técnica modular de control se seleccionan tres microcontroladores que se adecuan a las necesidades del proyecto, un microcontrolador master y dos esclavos.

Para seleccionar apropiadamente cada uno de los microcontroladores, se realiza un análisis de los periféricos de entrada y salida que se requiere conectar,

además de los recursos de los que disponen cada uno de ellos. Por tanto, la selección se basa en el número de pines necesarios y requeridos para la aplicación.

3.2.5.1.1 Funciones del Microcontrolador MASTER

Las funciones que desempeña el microcontrolador Master son: Manejo del LCD, control del motor de avance del cabezal, lectura de la señal del Encoder y comunicación con los dos microcontroladores esclavos.

En la Tabla 6 se muestra el análisis de periféricos de entrada y salida para el microcontrolador master.

Microcontrolador MASTER			
INTERFAZ Y AVANCE			
Periférico	IN	OUT	Señal
LCD		6	Digital
Comunicación		4	Digital
Botón A	1		Digital
Botón B	1		Digital
Enter	1		Digital
Encoder	1		Digital
Motor DC Avance		4	Digital
Fines de Carrera	2		Digital
Indicadores Avance		2	Digital
Paro de Emergencia	1		Digital
	7	16	
TOTAL PINES:	23		

Tabla 6. Periféricos de entrada y salida al microcontrolador MASTER.

Por consiguiente se escoge el ATMEGA164P como microcontrolador master, el mismo que posee 32 pines configurables, entre los cuales se tiene interrupciones y timers configurables necesarios para la aplicación. Las principales características del microcontrolador seleccionado son:

ATmega164P es un microcontrolador AVR de 8 bits, de alto rendimiento y bajo consumo, el cual posee arquitectura avanzada RISC. (Tomado de [11]).⁵⁵

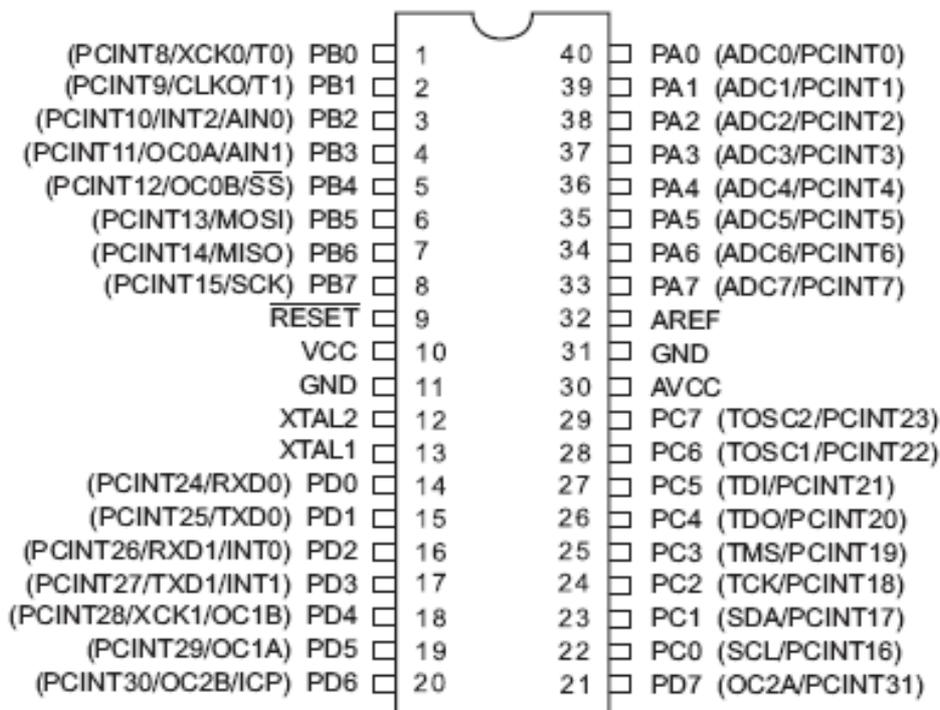


Figura 3.11. Configuración de pines del ATMEGA164P. (Tomado de [11]).

- Capacidad de procesamiento de 20 MIPS a 20 MHz.
- Memorias de programa y de datos no volátiles de alta duración.
- 16 Kbytes de FLASH en el sistema auto-programable.
- 512 bytes de EEPROM.
- 1 Kbyte de SRAM Interna.
- 32 líneas de E/S programables.
- Chip PDIP de 40 pines.

Características de los periféricos:

- Dos Timer/Counter de 8 bits con pre-escalamiento separado y modo comparación.
- Un Timer/Counter de 16 bits con pre-escalamiento separado, modo comparación y modo de captura.

⁵⁵ [11] Datasheet ATMEGA164P, http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/219592_DS.pdf

- 6 Canales para PWM.
- 8 canales ADC de 10 bits.
- Varias opciones para realizar comunicación serial.
- Watchdog Timer programable con oscilador independiente, dentro del mismo chip.
- Comparador Analógico dentro del mismo chip.

Características especiales del microcontrolador:

- Power-on Reset (en el encendido) y detección de Brown-out (pérdida de polarización) programable.
- Oscilador interno calibrado RC.
- Fuentes de interrupción externas e internas.

Voltajes de Operación:

- 1.8 – 5.5 [V] para el ATMEGA 164P/324P/644PV.
- 2.7 – 5.5 [V] para el ATMEGA 164P/324P/644P.

Del análisis realizado aún se dispone de 9 pines configurables como entradas o salidas que aún pueden ser utilizados en caso de ser requeridos. En la Tabla 7 se muestra el análisis de asignación de recursos para el microcontrolador ATMEGA164P. Debido a que todas las señales son digitales, los recursos especiales que se van a utilizar del microcontrolador son: Timers, tanto en modo contador como PWM, e Interrupciones Externas.

Microcontrolador MASTER			
PIN μC	Nombre	IN/OUT	Descripción
PA.0	-	-	-
PA.1	-	-	-
PA.2	-	-	-
PA.3	-	-	-
PA.4	D4	OUT	Bus de datos LCD
PA.5	D5	OUT	Bus de datos LCD
PA.6	D6	OUT	Bus de datos LCD

PA.7	D7	OUT	Bus de datos LCD
PB.0 / T0	Encoder	IN	Encoder / Timer 0_Counter
PB.1	-	-	-
PB.2 / INT2	Paro	IN	Pulsador PARO / Interrupción Externa
PB.3	Enter	IN	Pulsador ENTER
PB.4	C1	OUT	Comunicación μ C Esclavo 1
PB.5	C2	OUT	Comunicación μ C Esclavo 1
PB.6	C3	OUT	Comunicación μ C Esclavo 2
PB.7	C4	IN	Comunicación μ C Esclavo 2
PC.0	Led_Izq	OUT	Indicador de Avance del Cabezal
PC.1	Led_Der	OUT	Indicador de Avance del Cabezal
PC.2	-	-	-
PC.3	-	-	-
PC.4	-	-	-
PC.5	-	-	-
PC.6	RS	OUT	Señal de Control LCD (Selección Registro)
PC.7	E	OUT	Señal de Control LCD (Habilitación)
PD.0	Botón_A	IN	Pulsador A
PD.1	Botón_B	IN	Pulsador A
PD.2	FC_Izq	IN	Fin de Carrera Izquierdo
PD.3	FC_Der	IN	Fin de Carrera Derecho
PD.4 / PWM1b	A_Der1	OUT	Avance de cabezal_Der / PWM
PD.5 / PWM1a	A_Izq1	OUT	Avance de cabezal_Izq. / PWM
PD.6	A_Der2	OUT	Avance de cabezal_Der.
PD.7	A_Izq2	OUT	Avance de cabezal_Izq.

Tabla 7. Asignación de recursos del microcontrolador MASTER, ATMEGA164P.

3.2.5.1.2 Funciones de los Microcontroladores Esclavos

Debido a que el sistema a implementar es desarrollado a base de módulos tanto en hardware como en software, se elige dos microcontroladores auxiliares para realizar tareas dedicadas, los dos recibirán señales del microcontrolador Master.

La función del primer microcontrolador esclavo es realizar el control del motor de arrastre del alambre. En la Tabla 8 se muestra el análisis de periféricos de entrada y salida para el microcontrolador esclavo encargado del envío de señales para el arrastre del alambre de suelda.

Microcontrolador para arrastre del alambre			
Periférico	IN	OUT	Señal
Motor DC Arrastre		4	Digital
Indicadores		2	Digital
Comunicación	2		Digital
	2	6	
TOTAL PINES:		8	

Tabla 8. Periféricos de entrada y salida al microcontrolador de arrastre.

Se elige el microcontrolador ATMEGA168P; un microcontrolador AVR de 8 bits, de alto rendimiento y bajo consumo, el cual posee arquitectura avanzada RISC, 1 Kbyte de SRAM Interna, 23 líneas de E/S programables, encapsulado PDIP de 28 pines.⁵⁶

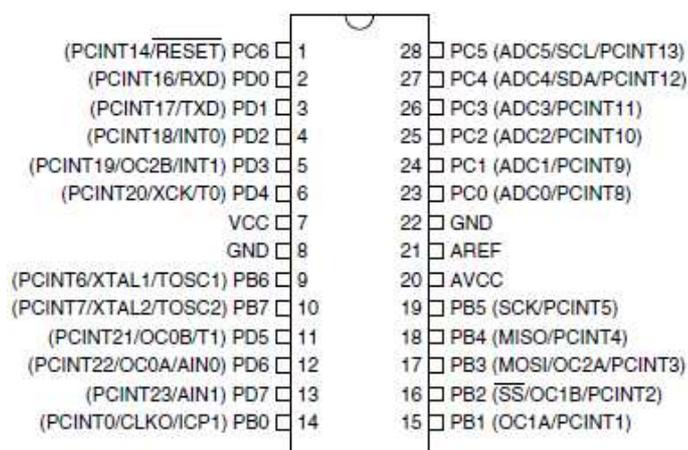


Figura 3.12. Configuración de pines del ATMEGA168P. (Tomado de [12]).

En la Tabla 9 se muestra el análisis de asignación de recursos para el microcontrolador ATMEGA168P cuya función principal es el control del motor de arrastre del alambre.

Microcontrolador para arrastre del alambre			
PIN	Nombre	IN/OUT	Descripción
PC	-	-	-

⁵⁶ [12] Datasheet ATMEGA168, http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/219592_DS.pdf

PB.0	I_Down	OUT	Indicador Arrastre del alambre
PB.1	-	-	-
PB.2	MD2	OUT	Arrastre del alambre _DOWN
PB.3	MD1	OUT	Arrastre del alambre _DOWN
PB.4	MU2	OUT	Arrastre del alambre_UP
PB.5	MU1	OUT	Arrastre del alambre_UP
PB.6	-	-	-
PB.7	-	-	-
PD.0	C1	IN	Comunicación con μ C Master
PD.1	C2	IN	Comunicación con μ C Master
PD.2 / PD.5	-	-	-
PD.6	I_Up	OUT	Indicador Arrastre del alambre
PD.7	-	-	-

Tabla 9. Asignación de recursos al microcontrolador μ C_1, ATMEGA168P.

La tarea del segundo microcontrolador es realizar las tareas de soldadura, como son activación del transformador de suelda, dosificación del fundente y detección de nivel en la tolva. En la Tabla 10 se muestra el análisis de periféricos de entrada y salida.

Microcontrolador para suelda			
Periférico	IN	OUT	Señal
Transformador de Suelda		1	Digital
Dosificador Fundente		1	Digital
Comunicación	1	1	Digital
Indicador de trabajo		1	Digital
Sensor de Nivel	1		Digital
Indicador de Nivel		1	Digital
	2	5	
TOTAL PINES:		7	

Tabla 10. Periféricos de entrada y salida al microcontrolador encargado del proceso de suelda.

En la Tabla 11 se detalla el análisis de asignación de recursos para el microcontrolador ATMEGA168P encargado de las tareas de soldadura.

Microcontrolador para suelda (μC_2)			
PIN μC	Nombre	IN/OUT	Descripción
PB.0	T_Suelda	OUT	Transformador de Suelda
PB.1	Fundente	OUT	Dosificador de fundente
PB.2 / PB.7	-	-	-
PC.0	-	-	-
PC.1	-	-	-
PC.2	-	-	-
PC.3	-	-	-
PC.4	Nivel	IN	Sensor de nivel bajo en tolva
PC.5	Buzzer_Nivel	OUT	Indicador Buzzer de Nivel Bajo
PC.6	-	-	-
PD.0	C3	IN	Comunicación con μC Master
PD.1	C4	OUT	Comunicación con μC Master
PD.2	-	-	-
P.D3	Led _ Work	OUT	Indicador LED de Suelda
PD.4 / PD.7	-	-	-

Tabla 11. Asignación de recursos al microcontrolador μC_2 , ATMEGA168P.

Entre los dos microcontroladores esclavos existen 31 pines disponibles configurables como entradas o salidas, los mismos que pueden ser utilizados en caso de ser requeridos.

3.2.5.2 Diseño de los circuitos de control

La máquina soldadora instalada en la MSB, está compuesta de dos partes claramente diferenciadas. La primera corresponde a la parte existente; es decir, la estructura y mecanismos, el cabezal, los motores, el transformador, los mismos que son la base del proyecto y los cuales deben ser integrados con la parte electrónica. Por tanto, la segunda parte corresponde al diseño de los componentes electrónicos de control, como son: las placas de control, los controladores de potencia de los motores y suelda.

Conociendo al detalle los periféricos que se conectarán a los microcontroladores se procede a diseñar los circuitos de control.

3.2.5.2.1 Diseño del circuito de control del microcontrolador MASTER

Pulsadores: Para el dimensionamiento de la resistencia de los pulsadores, se consideró las características eléctricas del ATmega164P, las mismas especifican que la corriente de entrada a un pin, la misma que no debe sobrepasar el 1 [mA]. Haciendo los cálculos con la ley de ohm se tiene:

$$V = I \cdot R$$

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

$$R = \frac{5[V]}{1[mA]}$$

$$R = 5000[\Omega]$$

Se escoge el valor comercial de 5.6 [k Ω] para asegurar que la corriente no sobrepase el 1[mA]. Para evitar sobre picos debido al ruido que producen los pulsadores se colocan condensadores cerámicos de 0.1 [μ F] en paralelo.

En esta configuración se encuentran conectados los pulsadores A, B, ENTER, PARO y RESET. También se incluyen los fines de carrera.

Indicadores led: La activación de los led se la hará con 0L, de esta manera se evita consumir corriente proveniente del μ C, el mismo que en modo “current sink”, no debe sobrepasar los 20[mA] por pin. Para encender un led es necesario 15[mA], si la fuente es de 5V, se tiene:

$$V = I \cdot R$$

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

$$R = \frac{5[V]}{15[mA]}$$

$$R = 333.33[\Omega]$$

Las resistencias en valor comercial para la activación de los led serán de 330[Ω]. Se comprueba que la corriente no sobrepasa el valor de 20 [mA] que recomienda el fabricante:

$$V = I \cdot R$$

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

$$I = \frac{5[V]}{330[\Omega]}$$

$$I = 15.15[mA]$$

En la Figura 3.13 se muestra el esquema del hardware diseñado para el Microcontrolador Master.

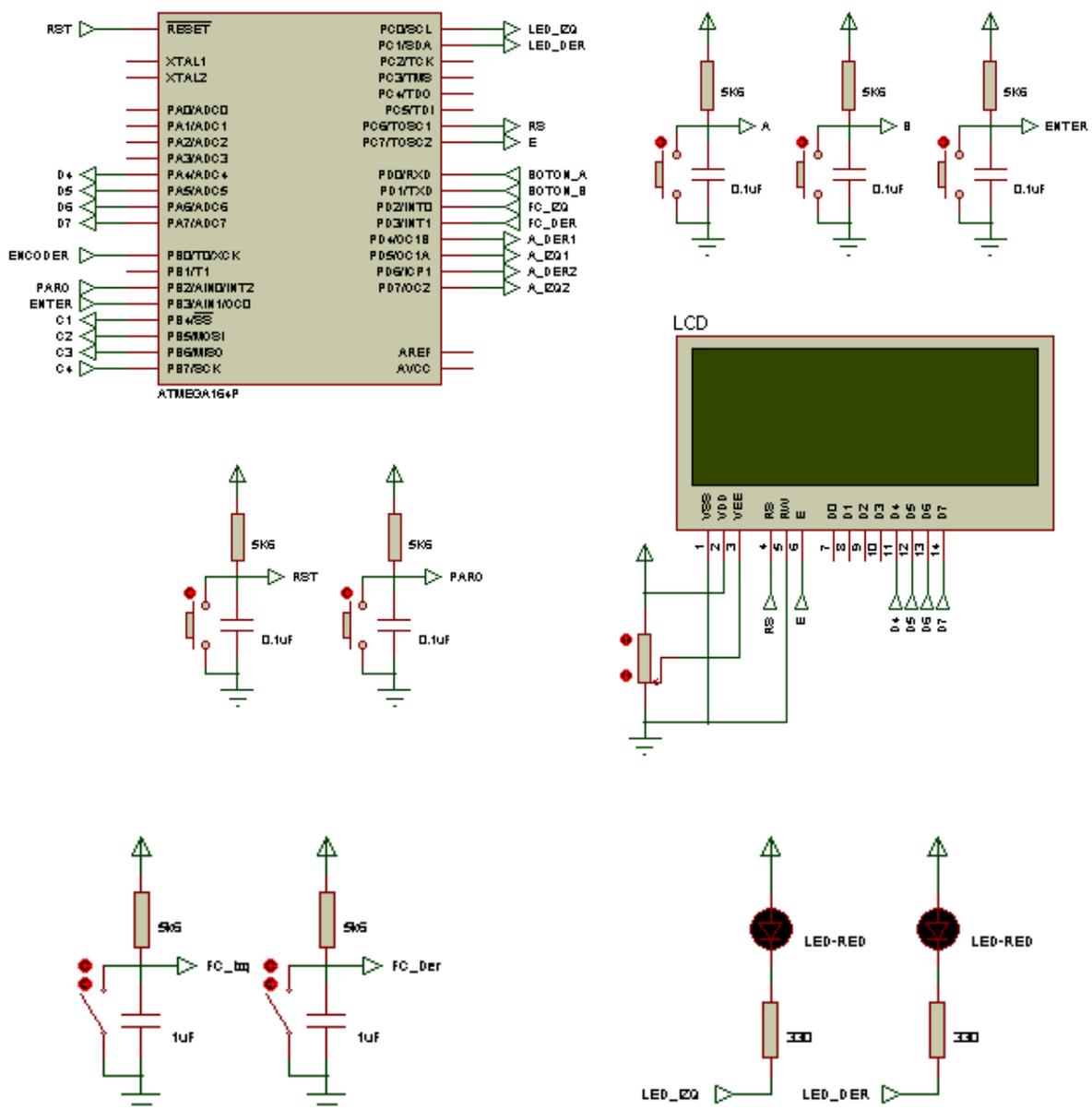


Figura 3.13. Esquema del hardware. Microcontrolador MASTER.

Control electrónico de motores: Para el acople de los pulsos entre el microcontrolador y los IGBTs se usará el opto acoplador rápido de un solo canal 6N135. Estos son integrados de acoplamiento óptico que combinan un diodo emisor de luz y un foto detector integrado de alta ganancia.

Los optoacopladores 6N135 poseen una capa de aislamiento entre el led y el foto-detector, para proporcionar un aislamiento eléctrico entre la entrada y la salida; por lo tanto, se tienen voltajes de polarización separados para el fotodiodo y el foto-detector.

Un acoplamiento óptico con la configuración del 6N135 aumenta la velocidad de recepción de pulsos de los fototransistores con respecto a los optoacopladores convencionales, este acoplamiento también permite reducir a la vez la capacitancia parásita base-colector del fototransistor.

El 6N135 tiene un aislamiento de ruido interno que proporciona un rechazo superior de modo común de $10\text{kV}/\mu\text{s}$. El empaquetado permite un aislamiento para un voltaje de 480V de trabajo, lo cual permite trabajar con voltajes industriales.⁵⁷

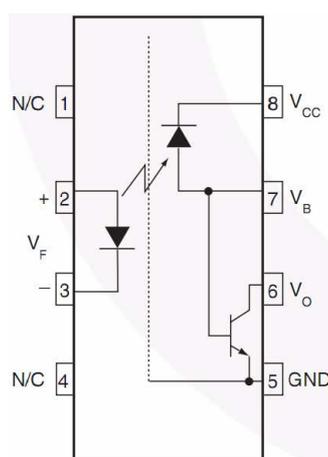


Figura 3.14. Esquema del opto-acoplador 6N135. (Tomado de [23]).⁵⁷

⁵⁷[23] Datasheet OPTOACOPLADOR ÓPTICO RÁPIDO 6N135, <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/hp/HCPL-0530.pdf>

⁵⁷[23] Datasheet OPTOACOPLADOR ÓPTICO RÁPIDO 6N135, <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/hp/HCPL-0530.pdf>

OPTO-ACOPLADOR 6N135			
Característica			Valores
L E D	Corriente de polarización directa	I_F	25 [mA]
	Voltaje de ruptura inversa del diodo	V_R	5 [V]
	Potencia de disipación del diodo	P_D	45 [mW]
S A L I D A	Corriente de salida	I_O	8 [mA]
	Voltaje de alimentación	VCC	15 [V]
	Voltaje de salida	V_O	15 [V]
	Voltaje de ruptura inversa EMISOR – BASE	V_{EB}	5 [V]
	Potencia de disipación de salida	P_O	100[mW]
	Temperatura máxima de operación	T	100 [°C]

Tabla 12. Características del opto-acoplador 6N135. (Tomado de [23]).⁵⁷

En el manual se recomienda conectar un condensador de 0,1[μ F] entre los pines 8 y 5 (VCC y GND) como condensador de bypass.

En el modo de “current source”, la máxima corriente que puede proporcionar el microcontrolador es de 20[mA] por pin y para encender el led del opto-acoplador 6N135son necesarios 25[mA] para asegurar un funcionamiento correcto.

Consecuentemente, se decide conectar el ánodo del led a la fuente de 5V común con el microcontrolador, a través de la resistencia adecuada para excitar al led. La señal de control se conecta directamente del pin del microcontrolador al cátodo del led.

Los cálculos de la resistencia serie para excitar al led son:

$$V = I \cdot R$$

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

$$R = \frac{5[V]}{25[mA]}$$

$$R = 200[\Omega]$$

Los $200[\Omega]$ corresponden al valor de resistencia necesario para excitar apropiadamente al led. Sin embargo, en los circuitos de prueba expuestos en la hoja de datos del opto-acoplador 6N135 se recomienda utilizar una resistencia de $100[\Omega]$ para alimentar al led adecuadamente. Después de realizar las pruebas de funcionamiento en los circuitos diseñados, se optó por utilizar el valor de resistencia recomendado.

A la salida del opto-acoplador 6N135 es necesario conectar una resistencia R_L entre VCC y la salida, de un valor tal que no se obtenga una señal de salida desplazada o con un retardo de propagación considerable.

En la hoja de datos del opto-acoplador 6N135 se especifican las características de switcheo del elemento. Basados en las recomendaciones, se elige usar una resistencia R_L de $1.8[K\Omega]$; con este valor de resistencia mediante pruebas, se verificó que a la salida se obtiene una forma de onda cuadrada sin desplazamientos.

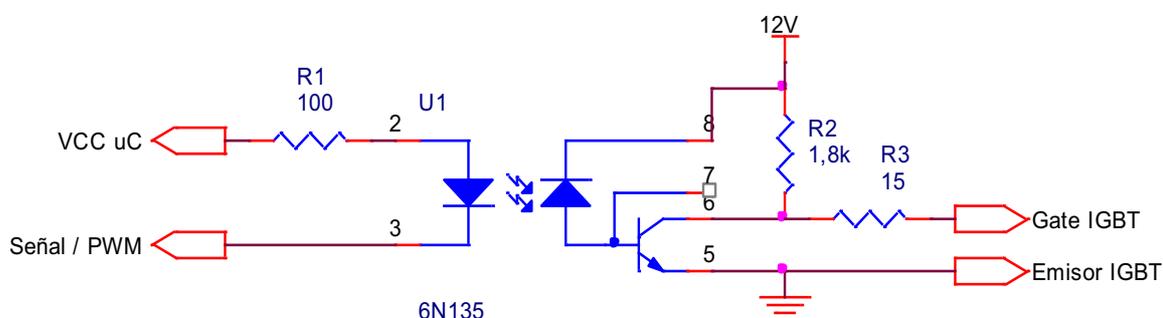


Figura 3.15. Conexión para el opto-acoplador 6N135.

Para la excitación de los IGBTs se debe conectar una resistencia de valor bajo hacia la base de cada IGBT, ya que se lo maneja en corte y saturación igual a un MOSFET convencional activado por voltaje.

En la Figura 3.16 se puede observar el circuito de potencia del motor avance del cabezal.

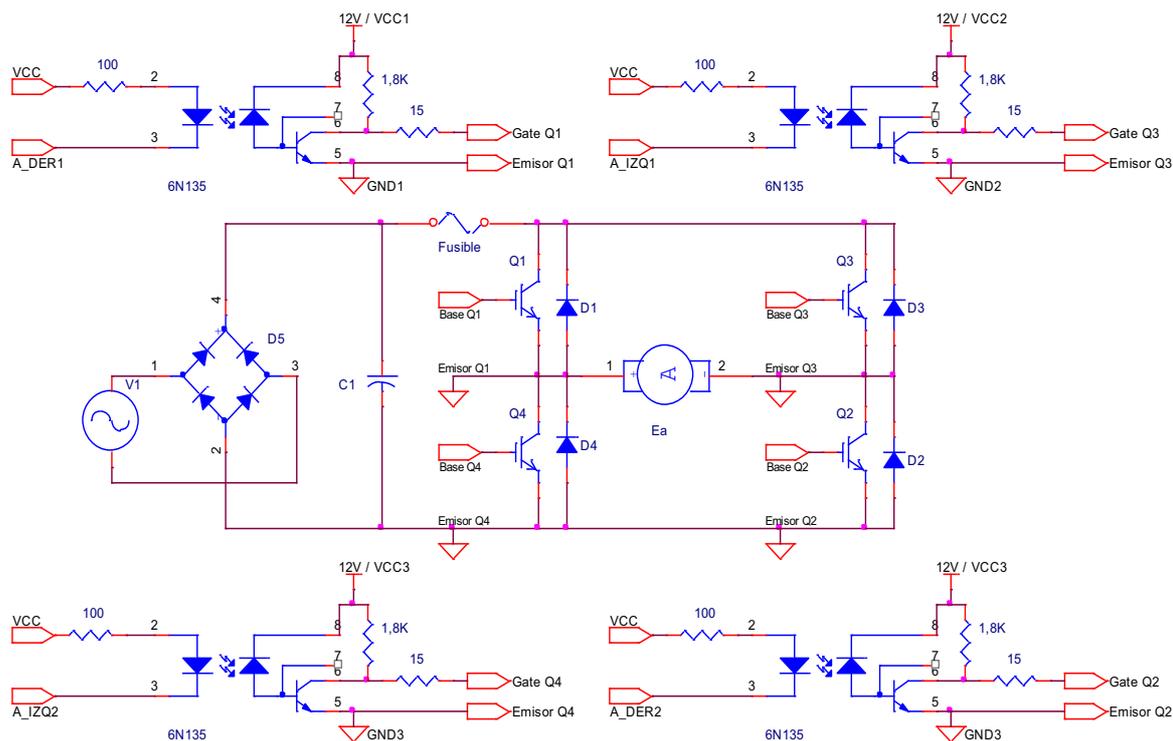


Figura 3.16. Esquema del hardware. Circuito de potencia del motor avance del cabezal.

Sensor ECG3100: Para la conexión del sensor ECG3100 se escogió la siguiente configuración, por tanto las resistencias a utilizar serán $R_D=330 [\Omega]$ y $R_T=5,6[K\Omega]$, las cuales no permiten que se supere las corrientes máximas permitidas tanto en el led como en el transistor. De esta manera al verse interrumpido el sensor se obtiene un 0L como señal.

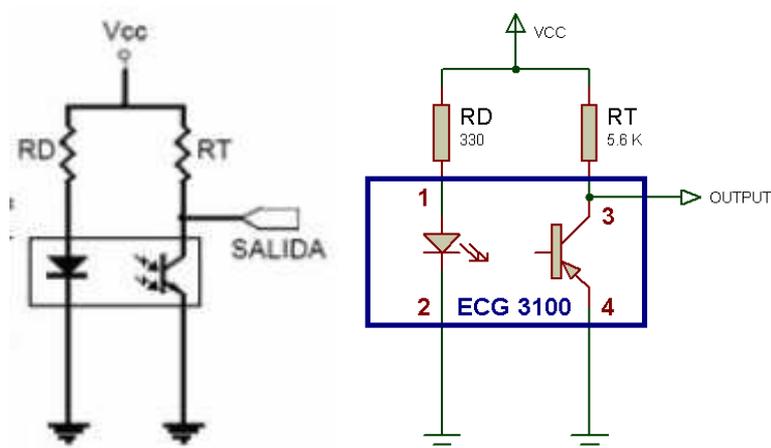


Figura 3.17. Esquema de conexión del sensor ECG3100.

3.2.5.2.2 Diseño del circuito de control del microcontrolador de arrastre del alambre

Las características eléctricas del microcontrolador ATmega168, encargado del control del motor de arrastre del alambre, son las mismas que las del ATmega164P.

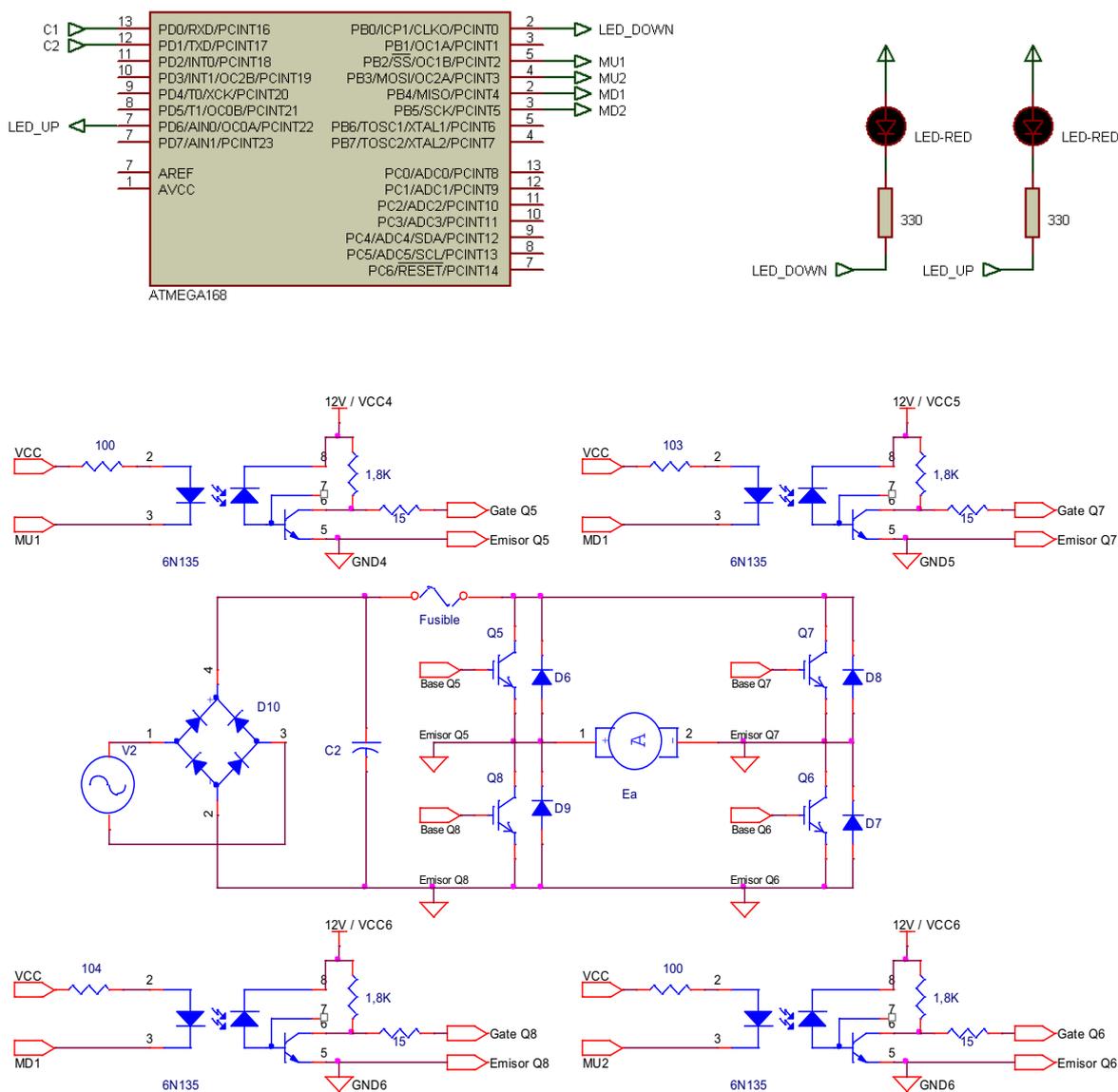


Figura 3.18. Esquema del Microcontrolador esclavo encargado del arrastre del alambre.

Por lo tanto, los cálculos para los valores de resistencias son los mismos, ya que también se utiliza el opto-acoplador 6N135 para la activación de los IGBTs.

Entonces el valor de la resistencia serie requerida para activar el led es de $100[\Omega]$ y el valor de R_L entre V_{CC} y V_{OUT} es de $1.8 [K\Omega]$.

Se activan dos indicadores led para indicar la operación del microcontrolador de UP/DOWN; por tanto, se requiere utilizar resistencias de $330[\Omega]$.

3.2.5.2.3 Diseño del circuito de control del microcontrolador de suelda

Led Indicador: Tomando en cuenta las características eléctricas del ATmega168 y los cálculos anteriores, se determina que la resistencia necesaria para activar un led con el microcontrolador en configuración de “current sink” es de $330[\Omega]$.

Relés: Para la activación de los relés que conectan el transformador de suelda y la bobina del dosificador de fundente, se decide aislar a los relés del microcontrolador, a través de un opto-acoplador rápido de un solo canal 6N137. Los relés a usarse en este sistema son de $5[V]$ a $220[V]$.

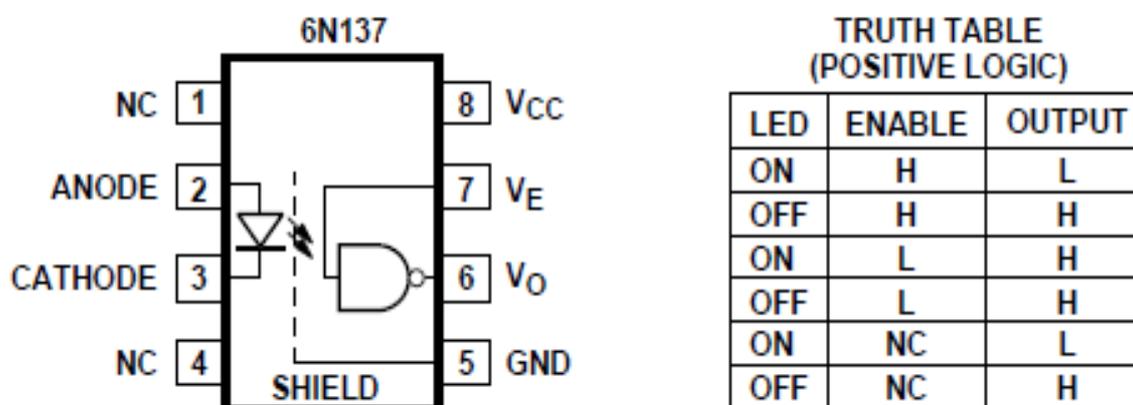


Figura 3.19. Esquema del opto-acoplador 6N137. (Tomado de [27]).⁵⁸

Para encender el led del opto-acoplador 6N137 son necesarios $5[mA]$ mínimo y $15[mA]$ máximo; para un funcionamiento correcto se recomienda $15[mA]$. Los cálculos de la resistencia serie para excitar al led son:

$$V = I \cdot R$$

⁵⁸[27] Datasheet OPTOACOPLADOR ÓPTICO RÁPIDO 6N137, <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/hp/HCNW2611.pdf>

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

$$R = \frac{5[V]}{15[mA]}$$

$$R = 333.33[\Omega]$$

El valor estándar de la resistencia es de 330[Ω].

En el manual del fabricante se indica que se necesita conectar una resistencia R_L entre VCC y la salida del opto-acoplador. Se recomienda usar una resistencia R_L de valor bajo, ya que de esta forma se obtiene un menor tiempo de reacción del elemento. Se decide utilizar una resistencia R_L de 330 [Ω], la misma que se encuentra entre las que recomendaciones del fabricante. La salida del opto acoplador se conecta a un transistor NPN, que permite la alimentación de la bobina del relé. Para que el transistor 2N3904 trabaje en la región de saturación se necesita una $I_{BASE}=20[mA]$ de acuerdo a los datos del fabricante. Entonces los cálculos son:

$$V = I \cdot R$$

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

$$R = \frac{5[V]}{20[mA]}$$

$$R = 250[\Omega]$$

El valor comercial de esta resistencia es de 270[Ω].

OPTOACOPLADOR 6N137			
	Característica		Valores
LED	Corriente de polarización directa	IF	5 - 15[mA]
SALIDA	Voltaje de alimentación	VCC	4.5 - 5.5 [V]
	Voltaje de salida	VO	0 - VCC [V]
	Resistencia de salida	R_L	330[Ω] - 4[kΩ]
	Temperatura máxima de operación	T	85 [°C]

Tabla 13. Características del opto-acoplador 6N137. (Tomado de [27]).

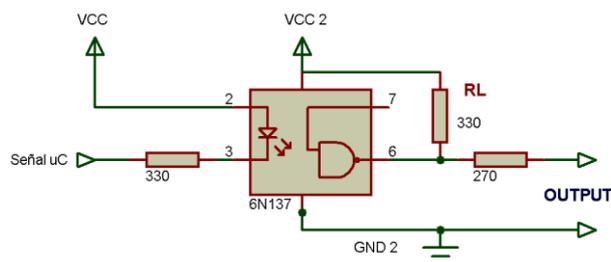


Figura 3.20. Conexión para el opto-acoplador 6N137.

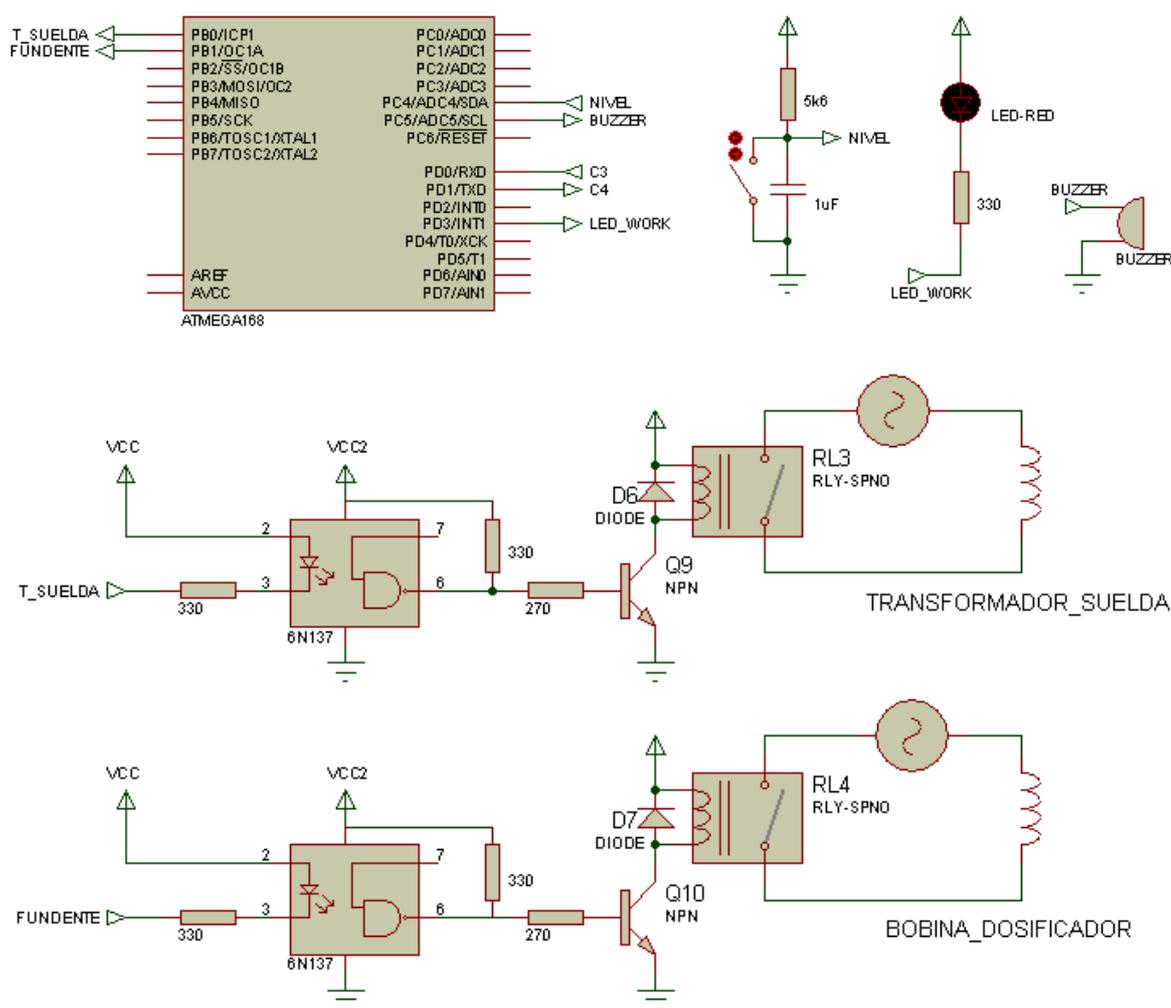


Figura 3.21. Esquema del Microcontrolador esclavo de solda.

3.2.6 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

La fuente trifásica de la que dispone la Metalmecánica San Bartolo proviene de la EEQ y a través de esta fuente se alimenta a todos los equipos que posee la

Metalmecánica; entre ellos soldadoras, tornos, prensas, etc. Todos estos equipos introducen ruido a la línea trifásica y además producen caídas de voltaje en el arranque de cada uno de los equipos.

Al tomar en cuenta todas estas condiciones la dirección de la Metalmecánica San Bartolo optó por la compra de un transformador de aislamiento, el cual posee filtro de ruidos, protección contra sobre picos de voltaje dv/dt , protección contra sobre picos de corriente di/dt y jaula de Faraday. A través de este transformador de aislamiento se realiza la alimentación para los circuitos de control del sistema diseñado.

Para la alimentación de las tres placas de control, donde se hallan los microcontroladores y el sensor encoder, se utilizó una fuente switching con las siguientes características:

Modelo: S – 60 –5

Input AC: 110 V – 1.2 A– 60 Hz

Output: 5V – 12 A



Figura 3.22. Fuente Switching de 5V – 12A.

Para alimentar los relés que permiten accionar el transformador de suelda y la bobina de dosificación de fundente se utilizan dos fuentes switching de las siguientes características:

Modelo: VOF 10 – 5

Potencia: 10 W

Input AC: 110 V – 0.2 A– 60 Hz

Output: 5V – 2.0 A

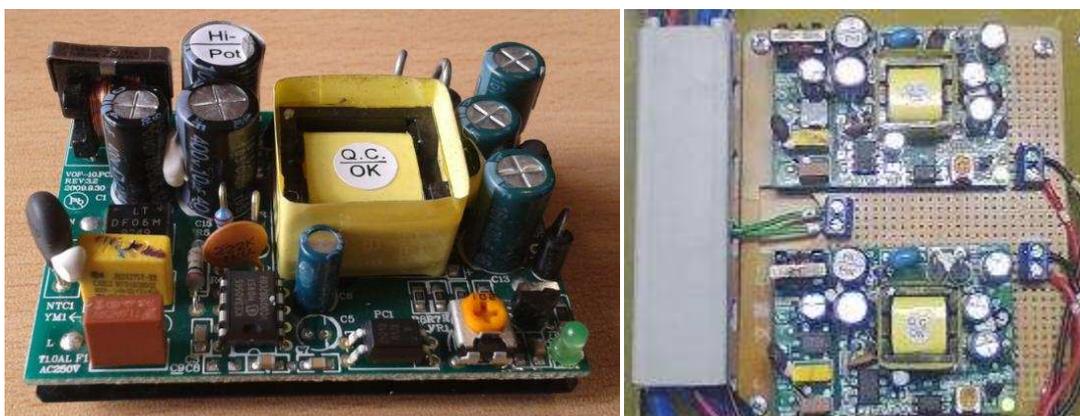


Figura 3.23. Fuentes Switching de 5V – 2A.

Para alimentar a los acoplamientos de señal que permiten el disparo de los IGBTs de los dos puentes H que comandan los motores DC, se utilizan fuentes switching de 12 [V] de 2A.

Debido a la configuración de puente H adoptada para el control de los motores, es necesario utilizar diferentes referencias para los elementos semiconductores que forman parte del puente.

Los IGBTs de la parte superior del puente utilizan una fuente cada uno y los dos de la parte inferior usan una fuente común, ya que tienen la misma referencia. Por lo tanto, para el manejo de cada puente H se requieren 3 fuentes.

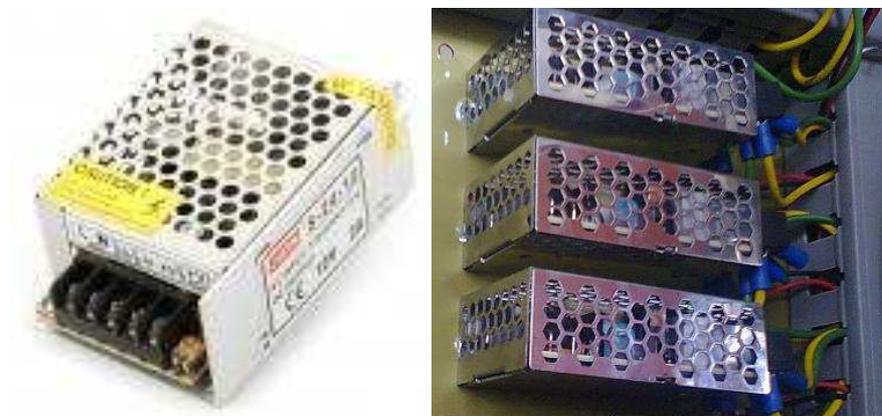


Figura 3.24. Fuentes Switching de 12V – 2A.

3.2.7 DISEÑO DE LAS PROTECCIONES

3.2.7.1 Transformador de aislamiento de grado médico

Debido a la inestabilidad del sistema de control basado en microcontroladores, se decide utilizar un transformador de aislamiento, con el fin de evitar tierras compartidas y de esta manera lograr que el sistema de control tenga su propia tierra. El transformador de aislamiento posee aislamiento galvánico entre el primario y el secundario con una relación 1:1, de manera que se consigue una alimentación con tierra "flotante". Este transformador se utiliza como medida de protección debido a que todo el equipo, tanto potencia como control, trabajan directamente con la tensión de red. Se encontró en el mercado el transformador de aislamiento IS1800HG.

El transformador de aislamiento de grado médico IS1800HG ofrece aislamiento de línea, filtrado continuo de ruidos y supresión mejorada de sobretensiones en modo común, es de baja impedancia interna con blindaje Faraday.



Figura 3.25. Transformador de Aislamiento IS1800HG. (Tomado de [22]).⁵⁹

⁵⁹ [22] Transformador de Aislamiento IS1800HG, <http://www.tripplite.com/shared/product-pages/en/IS1800HG.pdf>

- Elimina el ruido EMI/RFI, cambios transitorios del suministro de línea y armónicos generados por otras cargas del lugar y sobretensiones relacionadas con la alimentación de línea o rayos.

Los datos de placa del transformador de aislamiento IS1800HG son:

INPUT: 120 VAC / 15,8 A / 60 HZ.

OUTPUT: 120 VAC / 1800 W / 60 HZ.

Protección de sobre corriente: Breaker de 20 A.

3.2.7.2 Protección de semiconductores de potencia y motores de corriente continua

Protección de temperatura: Todo elemento semiconductor debe ser montado sobre disipadores, los cuales permiten extraer el calor de la juntura al exterior.

Tomando en cuenta el encapsulado del elemento semiconductor TO-3P, se selecciona un disipador de aluminio, el mismo que es montado en el elemento semiconductor solo a través de la pasta térmica, la misma que permite que entre las dos superficies no existan espacios de aire, mejorando de esta manera la conductividad térmica.

Protección de sobrecarga y cortocircuito: El circuito de potencia que comprende a los IGBTs y al motor están protegidos de cortocircuitos y sobrecargas a través de un fusible dimensionado adecuadamente en este capítulo en la sección 3.2.3.1 correspondiente al diseño del circuito de potencia.

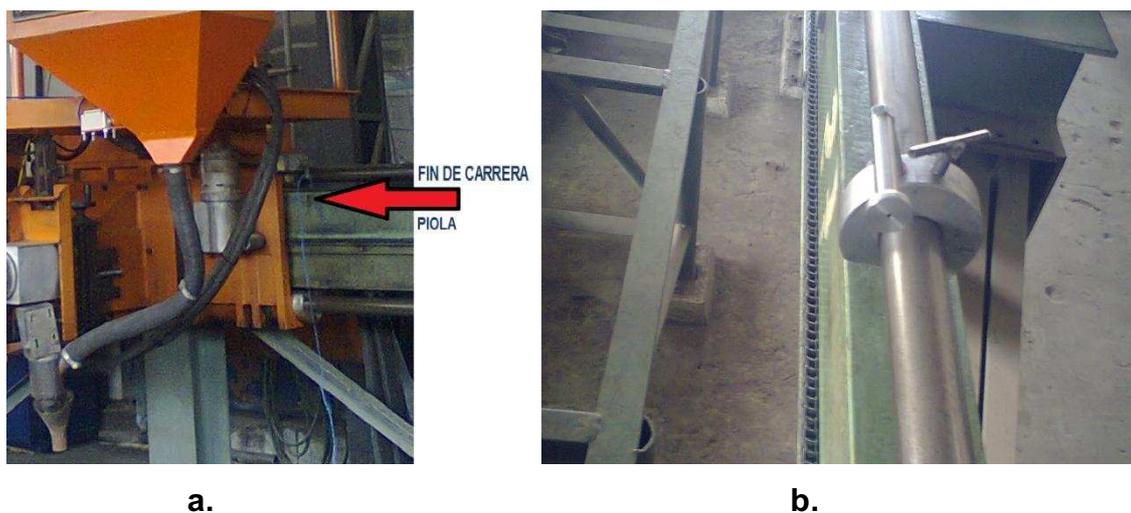
3.2.8 DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y ELABORACIÓN DE TOPES PARA FINES DE CARRERA

Se diseñó la tapa del tablero frontal para adaptar los elementos de maniobra e informativos que se van a utilizar para poner en funcionamiento a la soldadora industrial.



Figura 3.26. Instalación del panel frontal.

Los fines de carrera debían ser accionados con una piola para provocar el paro del avance del cabezal. En la Metalmecánica San Bartolo se elaboraron unos topes de acero que pueden ser desplazados a lo largo de la guía por donde se traslada el cabezal de soldadura.



a.

b.

Figura 3.27. (a). Accionamiento del fin de carrera con piola. (b).Tope de acero de fin de carrera.

3.3 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA ELECTRÓNICO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA SOLDADORA EN LÍNEA RECTA

Ya se mencionó que el diseño del sistema de control de la soldadora industrial se desarrolla en módulos, es por ello que se utilizan tres microprocesadores, cada uno dedicado a una tarea específica.

El microcontrolador principal comanda al LCD y administra los periféricos de entrada, además proporciona las señales de control a los dos microcontroladores esclavos y al motor encargado del avance del cabezal.

Un segundo microcontrolador se dedica al arrastre del alambre para la suelta y un tercer microcontrolador se encarga de la activación del transformador de suelta y dosificación del fundente.

Adicionalmente se desarrolla un programa de verificación y mantenimiento de hardware, a través del cual se puede comprobar si las señales de los pulsadores y las de comunicación entre los microcontroladores se encuentran funcionando adecuadamente.

Para la simulación del sistema de control diseñado se usa el paquete de software Proteus; es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica, desarrollado por Labcenter Electronics que consta de dos programas principales, Ares e Isis y de dos módulos VSM y Electra. El programa ISIS (Intelligent Schematic Input System), sistema de enrutado de esquemas inteligente, permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes variados, desde simples resistencias hasta microprocesadores, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en ISIS pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

3.3.1 DISEÑO DE LOS DIAGRAMAS DE FLUJO Y SIMULACIÓN

3.3.1.1 Diagramas de flujo para el microcontrolador MASTER

Para iniciar la operación de la soldadora industrial se requiere de claves de cuatro caracteres para ingresar, ya sea al programa de proceso de suelda o al programa de verificación y mantenimiento de hardware.

Para ingresar la clave se utilizan combinaciones de 4 caracteres solo entre las teclas A y B. La clave no puede ser modificada por el usuario, únicamente puede modificarse vía software.

La clave ABAB permite el acceso al programa de soldadura y la clave AABA permite el ingreso a la rutina de verificación.

La Figura 3.28 corresponde al diagrama de flujo de la rutina de control de ingreso de clave del microcontrolador MASTER.

La Figura 3.29 indica la interfaz con el usuario para la solicitud de ingreso de clave.



Figura 3.29. Solicitud de ingreso de clave.

En caso de ingresar una clave incorrecta se visualizará la siguiente pantalla:

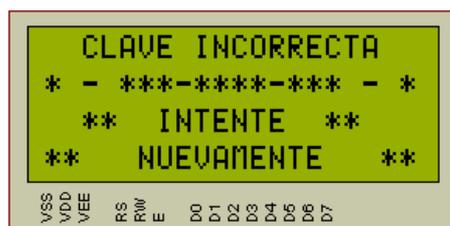


Figura 3.30. Solicitud de ingreso de clave correcta.

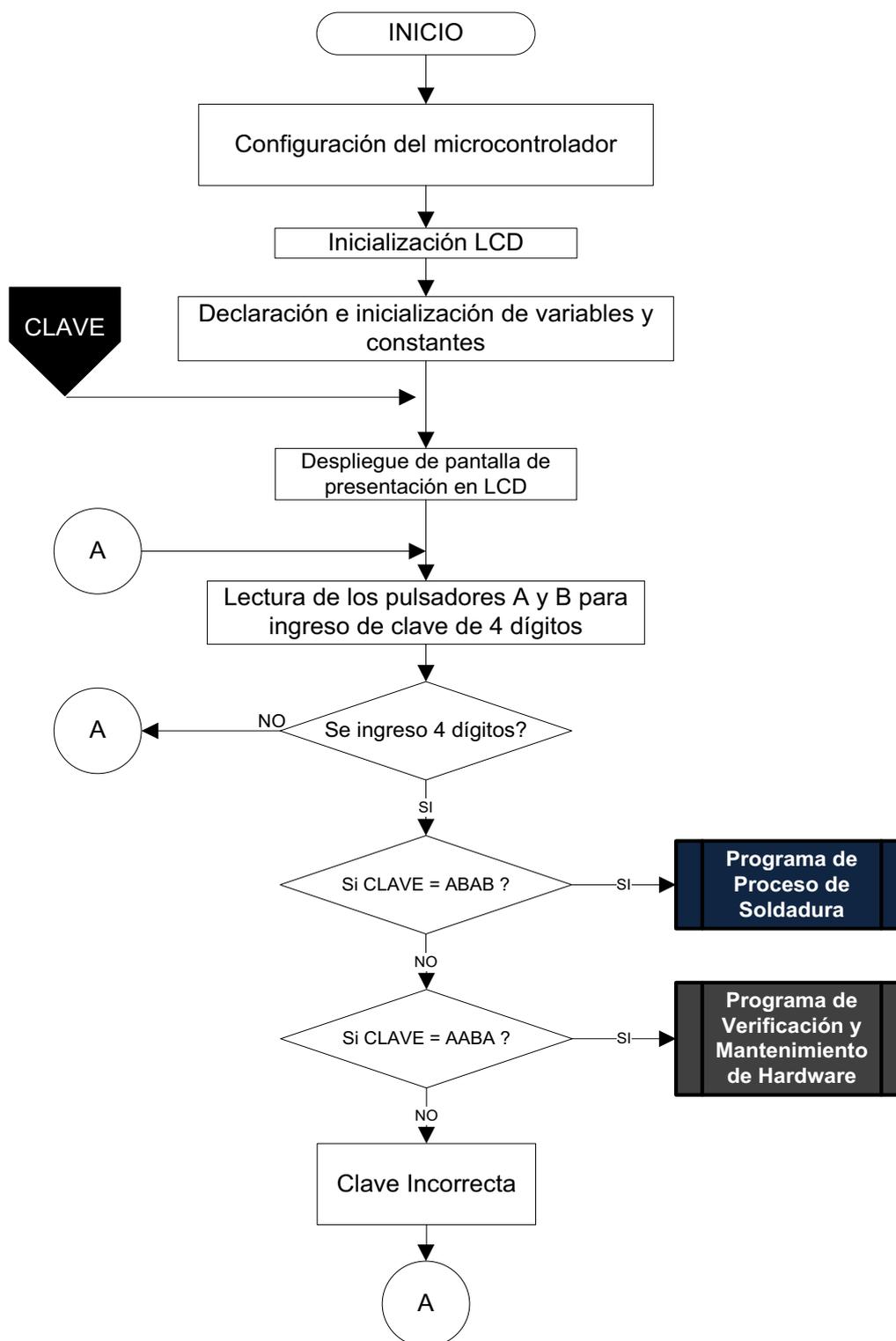


Figura 3.28. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo correspondiente a la rutina de control de ingreso de clave.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Configuración del Microcontrolador

- Configuración de pines de entrada y/o salida.
- Configuración y habilitación de la interrupción externa INT2, paro de emergencia.
- Configuración de Timer 1 en modo PWM para los canales A y B, comanda el puente H del motor de avance del cabezal.
- Configuración de Timer 0 en modo Counter, conteo de los pulsos del sensor encoder.

Fin de Tarea

Inicialización LCD

- Inicialización del LCD de 20 x 4 con bus de datos de 4 bits.

Fin de Tarea

Declaración e inicialización de variables y constantes

- Declaración e inicialización de variables y constantes tipo Integer, Byte, Word, Single y String.

Fin de Tarea

Clave Incorrecta

- Despliega en la pantalla LCD la interfaz de clave incorrecta.
- Encera las variables para reintentar ingresar la clave.
- Retorno a la lectura de los pulsadores A y B.

Fin de Tarea

Se utiliza la interrupción externa INT2, a través del pulsador PARO, para detener cualquier proceso que se esté llevando a cabo, retornando desde cualquier parte del programa a la rutina de ingreso de clave.

Programa de Proceso de Soldadura: La rutina principal de este segmento del programa se basa en un llamado secuencial a subrutinas, las cuales permiten modificar la posición del cabezal y del alambre de suelda, setear los parámetros de suelda, chequear los mismos y llevar a cabo el proceso de soldadura.

Después del retorno de cada subrutina se requiere limpiar las variables, debido a que la mayoría de ellas cumplen tareas en cada una de las subrutinas.

El sistema está compuesto de tres pulsadores (Botón A, Botón B y Enter); por lo tanto, en el LCD se despliegan menús secuenciales y solo se pasa de cada uno

de ellos cuando la opción seleccionada sea aceptada por el pulsador Enter dentro de cada subrutina. Las subrutinas son las siguientes:

- Subrutina de seteo de velocidad, selección del sentido de giro y ubicación del cabezal.
- Subrutina de comunicación con microcontrolador encargado del arrastre del alambre, UP/DOWN.
- Subrutina de selección del tramo de suelda y no suelda.
- Subrutina de verificación y cambios de parámetros de soldadura.
- Subrutina de comunicación con microcontrolador encargado del proceso de suelda y bobina dosificadora de fundente, comunicación con microcontrolador encargado del arrastre del alambre y avance del Cabezal.

Si se ha detenido el proceso de soldadura en la última subrutina a través del pulsador ENTER, el programa realiza un retorno a la rutina de ingreso de clave.

La Figura 3.31 corresponde al diagrama de flujo de la rutina principal del proceso de suelda del microcontrolador Atmega164P, donde se aprecia los pasos que se deben llevar a cabo a través de un llamado secuencial a subrutinas.

Se visualiza la siguiente interfaz con el usuario después ingresar correctamente la clave requerida para el proceso de suelda:

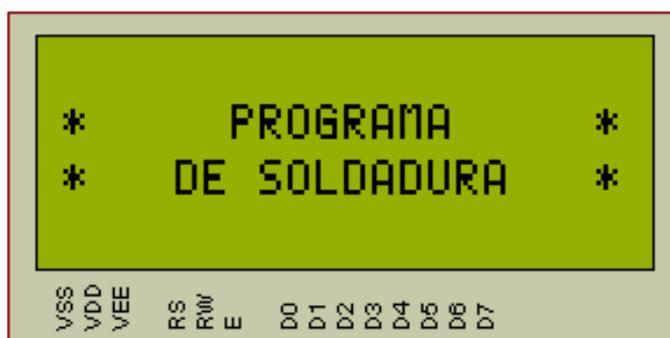


Figura 3.32. Pantalla de presentación del Programa de Proceso de Suelda.

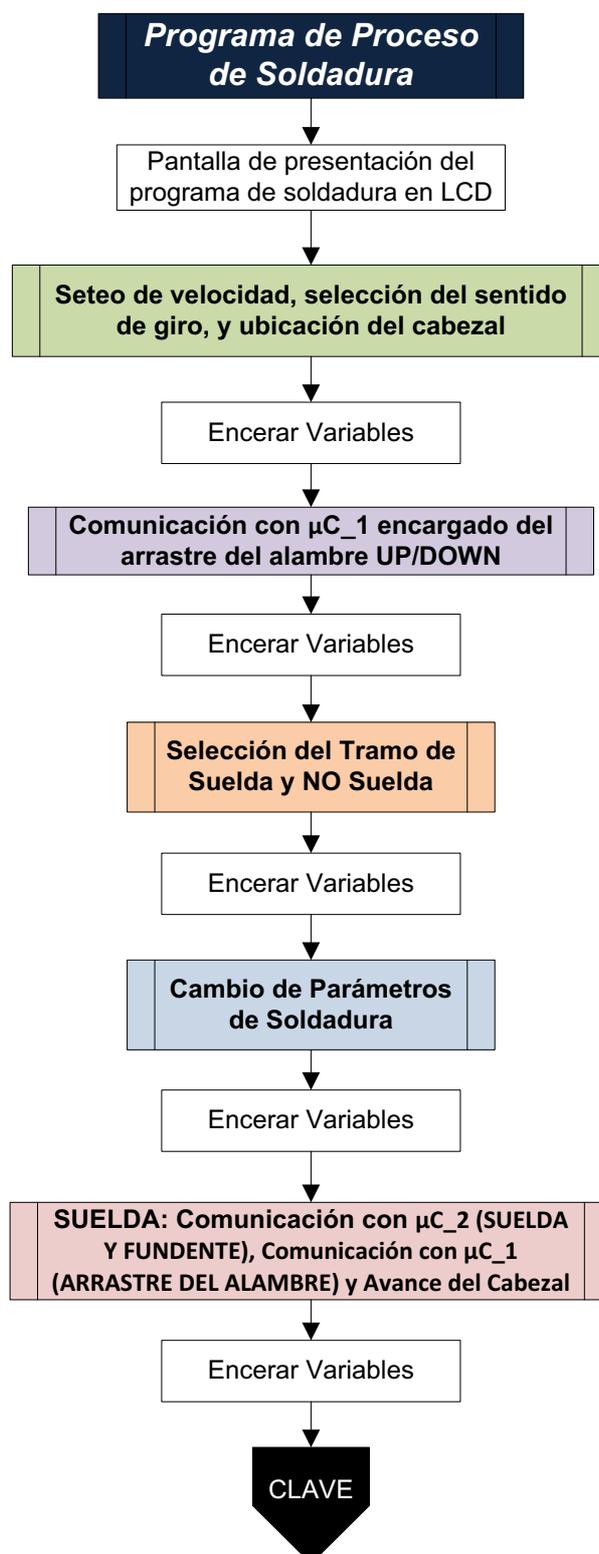


Figura 3.31. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la rutina principal de la puesta en marcha del proceso de suelda, llamado secuencial a subrutinas.

3.3.1.1.1 Subrutina de seteo de velocidad, selección del sentido de giro y ubicación del cabezal

En la primera subrutina del proceso de soldadura, se procede a setear la velocidad de avance del cabezal, se utiliza el Timer1 en modo PWM (Pwm1a y Pwm1b para los dos sentidos de giro del cabezal). Se varía el ancho del pulso de la señal PWM a través de los pulsadores A y B, subir y bajar, respectivamente. En la pantalla se muestra el valor del ancho del pulso en [%] con incrementos y decrementos del 5%. Por default la velocidad esta seteada a una relación de trabajo $k=0.5$; es decir, 50% de la velocidad máxima.

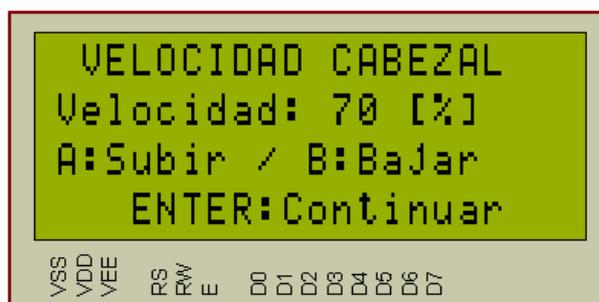


Figura 3.33. Interfaz de seteo y variación de velocidad del cabezal.

Se configura el Timer1 como PWM en Modo de Fase Correcta, debido a que este proporciona una alta resolución en la generación de ondas. El contador se incrementa repetitivamente desde 0x0000 hasta el valor TOPE y decrementa desde TOPE hasta 0x0000, formando una onda triangular “dualslope”.⁶⁰

Para esta aplicación, el PWM se configura con una resolución de 8 bits, un prescalador de 8, un valor TOPE de 255. Para la frecuencia del reloj externo de 8 [MHz], se tiene que la frecuencia del PWM es de:

$$f_{OC_{nx}PWM} = \frac{f_{clk}}{2 \cdot N \cdot TOPE}$$

$$f_{OC_{nx}PWM} = \frac{8000000}{2 \cdot 8 \cdot 255}$$

$$f_{OC_{nx}PWM} = 1960,8 \text{ [Hz]}$$

⁶⁰ [11] Datasheet ATMEGA164P, http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/219592_DS.pdf

Para cambiar la frecuencia del PWM, se puede cambiar el valor del prescalador o el valor de TOPE, lo cual conlleva a un cambio en los registros de configuración del Timer1.

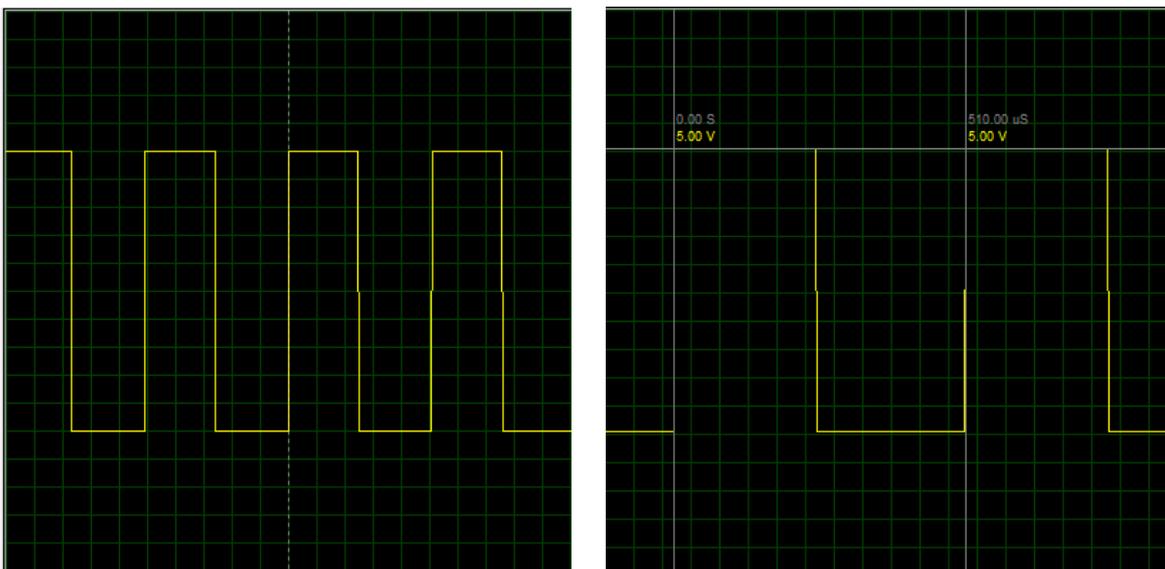


Figura 3.34. Señal PWM al 50%.

Una vez seteada la velocidad, se determina el sentido de giro del cabezal: el pulsador A determina el movimiento hacia la izquierda y el pulsador B hacia la derecha.

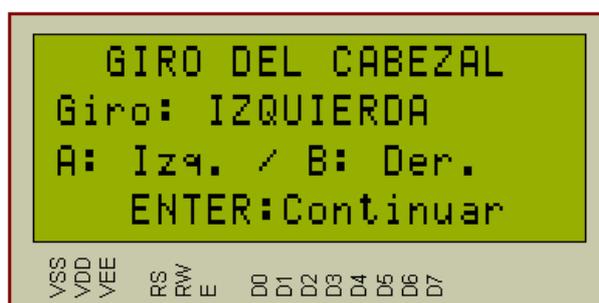


Figura 3.35. Interfaz de selección del sentido de giro del cabezal.

Con los parámetros seleccionados se procede a la ubicación del cabezal, por lo tanto, se activan las salidas pertinentes en el microcontrolador que comandan el puente H del motor de avance.

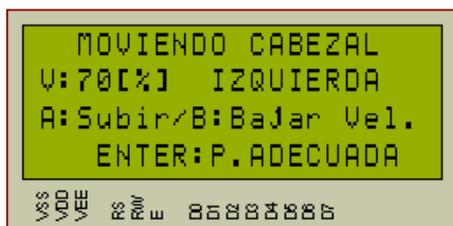


Figura 3.36. Interfaz del movimiento del cabezal con visualización de velocidad y sentido de giro.

El movimiento del cabezal puede detenerse voluntariamente si se ha alcanzado la ubicación deseada a través del botón Enter, en este caso la subrutina de avance del cabezal llega a su fin y se retorna a la rutina principal del programa de suelda.

Si se han accionado cualquiera de los fines de carrera se desactivan las salidas del microcontrolador pertinentes al avance del cabezal y se salta dentro de la misma subrutina hacia el movimiento de sentido contrario al presionar Enter.

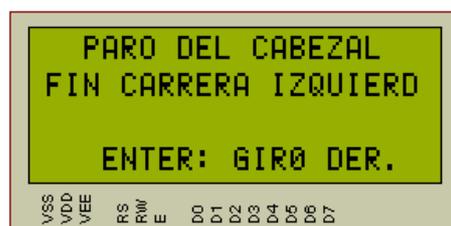


Figura 3.37. Paro de cabezal debido a un fin de carrera.

El proceso también puede ser detenido al activar la interrupción externa del microcontrolador a través del Paro de Emergencia.

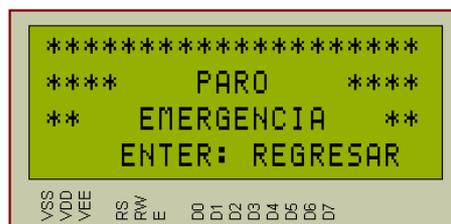


Figura 3.38. Paro de Emergencia.

En la Figura 3.39 se aprecia el diagrama de flujo de la subrutina de seteo de velocidad de avance y sentido de giro del cabezal. Además, de la ubicación del mismo en la posición adecuada.

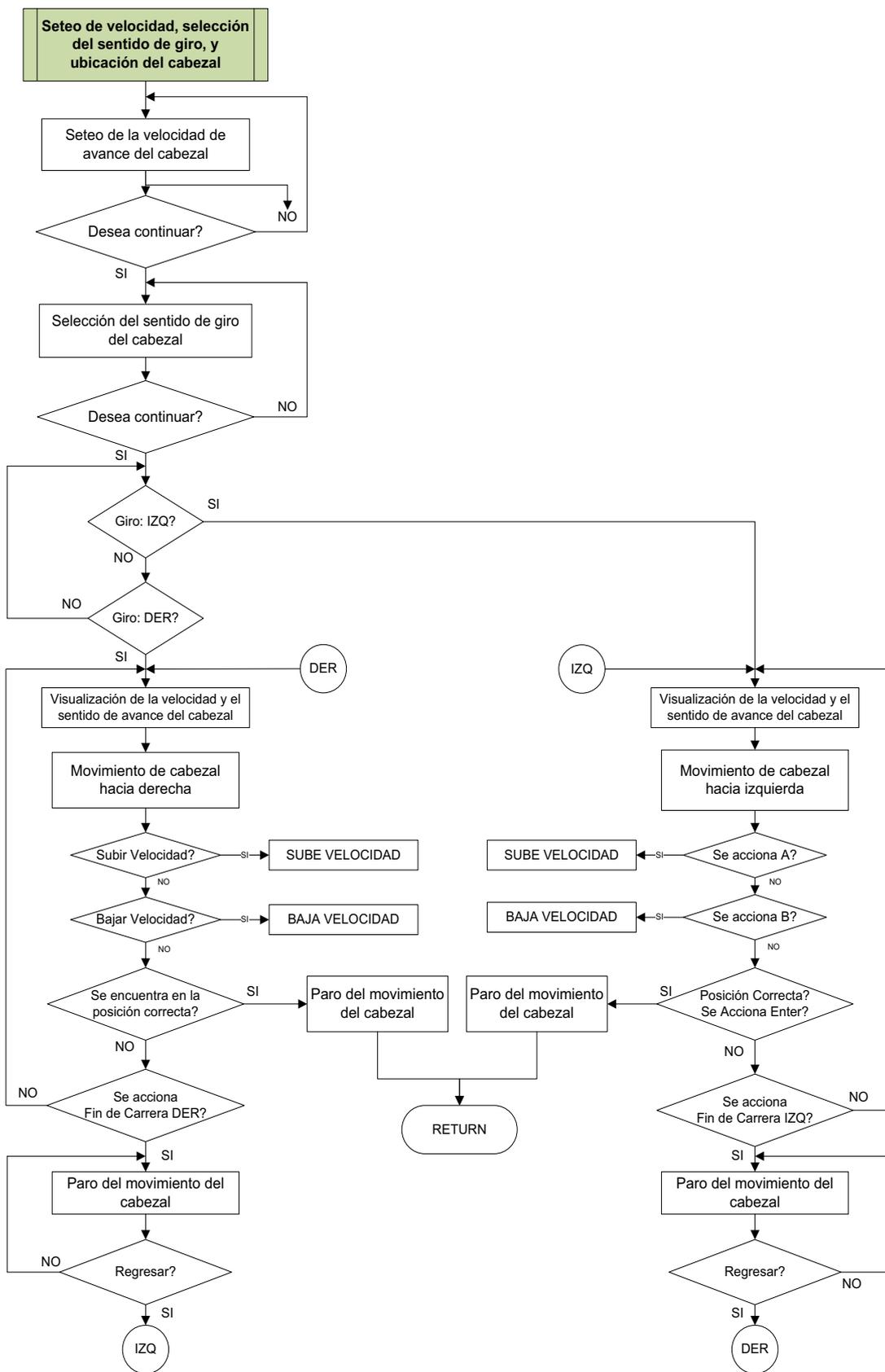


Figura 3.39. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de seteo de velocidad, selección del sentido de giro y ubicación del cabezal.

Cada una de las transiciones mencionadas es registrada en el LCD, donde se explica que acción se llevará a cabo si se presiona cualquiera de los pulsadores.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Seteo de la velocidad del cabezal

Variación del ancho de pulso del PWM en intervalos de 5 [%], utilizando: Tecla A para subir la velocidad de avance y tecla B para bajar la velocidad del cabezal.

Fin de Tarea

Selección del sentido de giro del cabezal

Tecla A: Selecciona el giro del cabezal hacia IZQUIERDA y Tecla B: Selecciona el giro hacia DERECHA.

Fin de Tarea

Movimiento del cabezal

Si se ha seleccionado giro hacia derecha: Se activan las salidas adecuadas que comandan el puente H y se enciende el indicador led derecho.

Si se ha seleccionado giro hacia izquierda: Se activan las salidas adecuadas que comandan el puente H y se enciende el indicador izquierdo.

Barrido de teclas: A para aumentar la velocidad, B para disminuir la velocidad y ENTER para detener el cabezal en la posición deseada.

Detección de fines de carrera en ambos sentido para detener el cabezal.

Fin de Tarea

Paro del movimiento del cabezal

Desactivación de las señales que controlan el puente H del motor de avance y desactivación de los indicadores led.

Fin de Tarea

3.3.1.1.2 Subrutina de comunicación con el microcontrolador encargado del arrastre del alambre, UP/DOWN

Después de posicionar adecuadamente el cabezal, se debe colocar el alambre de suelda a una distancia tal que el voltaje de arco sea suficiente para dar inicio al proceso de suelda.

En la segunda subrutina se envían señales al microcontrolador encargado del arrastre del alambre, con el fin de colocarlo en una posición adecuada y dejarlo a punto para iniciar el proceso de soldadura; mediante los pulsadores A y B el sistema permite subir o bajar el alambre.

Si ninguna tecla está siendo presionada se envía el dato 00 por los canales de comunicación.

Si la tecla presionada es A / UP se envía 10 por los canales de comunicación.

Si la tecla presionada es B / DOWN se envía 01 por los canales de comunicación.

Para realizar un arrastre prolongado del alambre es necesario mantener presionado el botón apropiado. Si el alambre se encuentra ya en la posición deseada y se desea salir de la presente subrutina es necesario presionar el pulsador ENTER.



Figura 3.40. Interfaz de arrastre del alambre.

Para el arrastre del alambre, el microcontrolador esclavo de UP/DOWN envía señales digitales para el control del motor con inversión de giro. El control de voltaje para aportación del material, se lo hace a través de un variador de voltaje analógico, ya que es necesario mantener este control durante el proceso de suelda.



Figura 3.41. Interfaz que indica al usuario el sentido de arrastre de alambre.

La Figura 3.42 corresponde al diagrama de flujo de la subrutina de comunicación entre el microcontrolador MASTER y el esclavo de UP/DOWN.

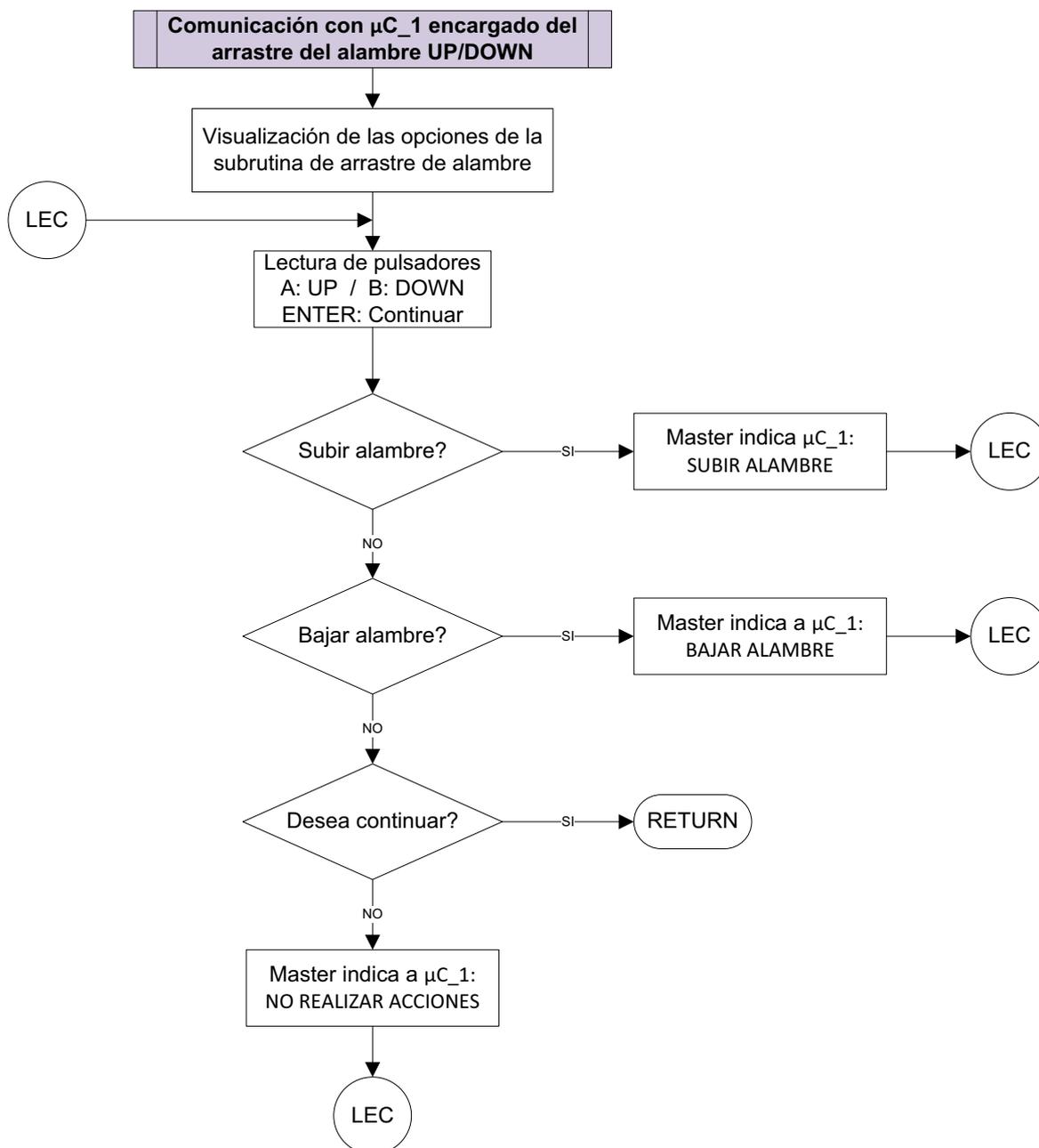


Figura 3.42. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de comunicación con el microcontrolador esclavo encargado del arrastre del alambre

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Visualización de las opciones de la subrutina de arrastre de alambre

Las opciones son: *A: Subir alambre*, *B: Bajar alambre* y *ENTER: Continuar*.

Fin de Tarea

Master indica a μC_1 : SUBIR ALAMBRE

El microcontrolador master envía el dato 10 por los canales de comunicación si se selecciona subir el alambre a través de la tecla A.

Fin de Tarea

Master indica a μC_1 : BAJAR ALAMBRE

El microcontrolador master envía el dato 01 por los canales de comunicación si se selecciona bajar el alambre a través de la tecla B.

Fin de Tarea

Master indica a μC_1 : NO REALIZAR ACCIONES

El microcontrolador master envía el dato 00 por los canales de comunicación si no se toma ninguna acción.

Fin de Tarea

3.3.1.1.3 Subrutina de selección del tramo de suelda y no suelda

La tercera subrutina permite setear el tramo de suelda y el tramo de NO suelda, en el orden mencionado. Las variaciones se realizan en intervalos de 1cm, debido a que esta es la medida mínima necesaria si se desea puntear la soldadura.

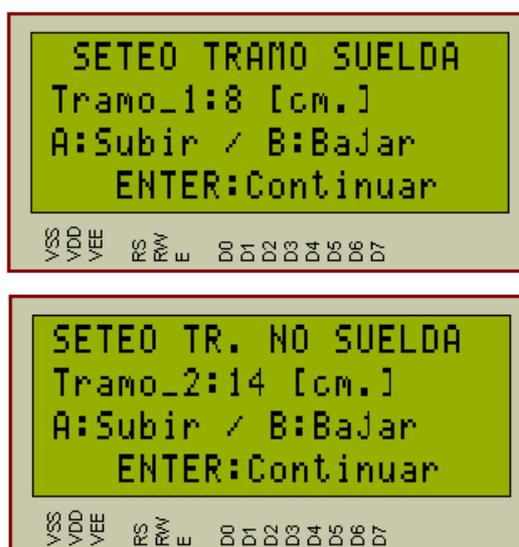


Figura 3.43. Interfaz de selección de tramos de suelda y no suelda

La Figura 3.44 corresponde al diagrama de flujo de la subrutina de seteo de los tramos de suelda.

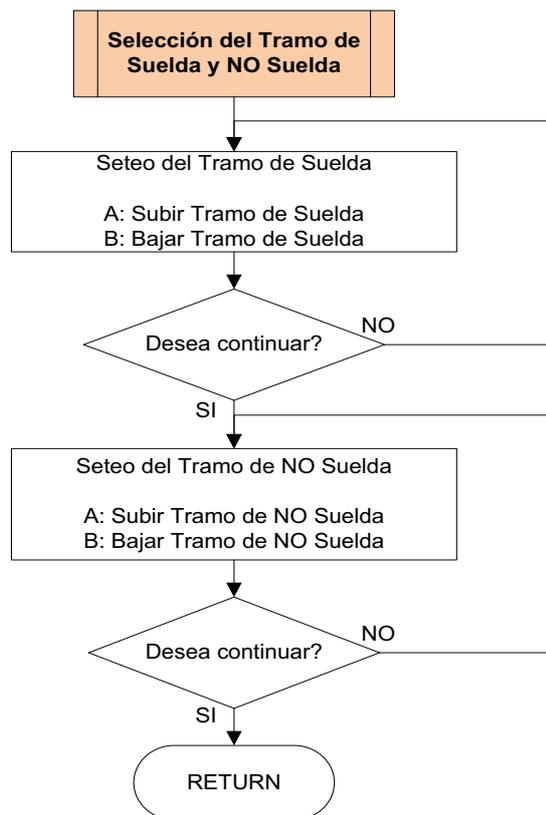


Figura 3.44. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de selección del tramo de suelda y NO suelda.

3.3.1.1.4 Subrutina de verificación y cambios de parámetros de soldadura

En la cuarta subrutina del proceso de soldadura se muestran en el LCD los parámetros seleccionados en las subrutinas anteriores. Si los parámetros son correctos al presionar Enter se abandona la presente subrutina; caso contrario, después de un conteo de 20 números se accede al cambio de los parámetros de suelda.

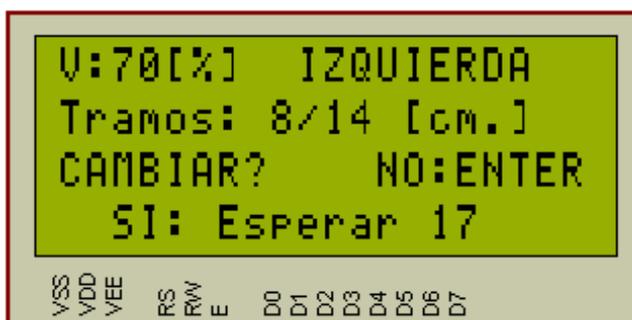


Figura 3.45. Verificación de parámetros de suelda.

La Figura 3.46 corresponde al diagrama de flujo de la subrutina de verificación y cambio de parámetros de suelda.

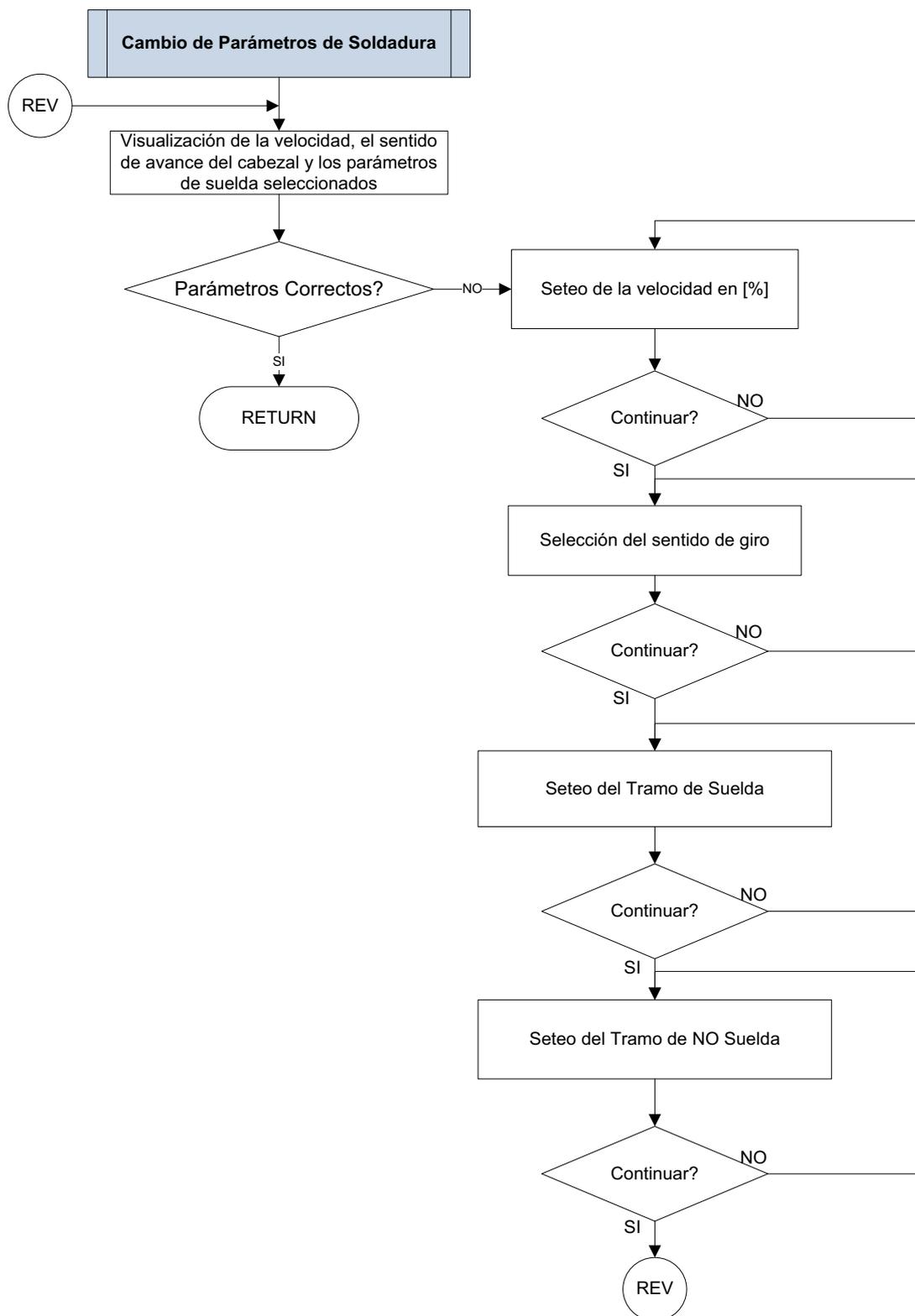


Figura 3.46. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de verificación y cambio de parámetros de suelda.

Si los parámetros fueron elegidos adecuadamente en las anteriores subrutinas, solo se necesita ratificar cada uno de ellos con el botón Enter. Una vez verificados todos los parámetros, se salta al inicio de la presente subrutina, donde se repite el proceso mencionado. Cada uno de los menús que se despliegan en el LCD, muestran las opciones y valores de cada uno de los parámetros y como modificarlos.

3.3.1.1.5 Subrutina de comunicación con el microcontrolador de suelda, comunicación con el microcontrolador de arrastre de alambre y avance del cabezal.

La última subrutina permite llevar a cabo el proceso de soldadura, el mismo que inicia solamente cuando el usuario selecciona a través del pulsador Enter el inicio del proceso. Caso contrario, después de un conteo de cinco números se realiza un salto a la rutina principal del proceso de soldadura.

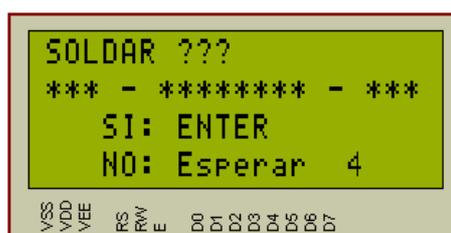


Figura 3.47. Interfaz con el usuario para iniciar con el proceso de suelda.

Si se ha escogido iniciar el proceso de soldadura, se arranca soldando, por tanto, se compara la lectura de los pulsos del Encoder con el valor de distancia seteado para tramo de suelda. Si no son iguales se desvía hacia una subrutina de tramo de suelda. Si los valores se igualan salta hacia la subrutina de tramo de NO suelda, el caso contrario se lleva a cabo cuando el proceso se encuentra en el tramo de NO suelda.

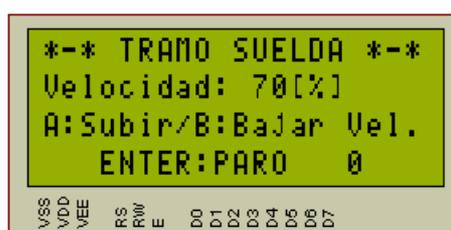


Figura 3.48. Interfaz de tramo de suelda.

Se puede producir un paro del proceso al presionar el botón Enter, esto permite retornar a la rutina principal del programa de soldadura. También se puede parar el proceso a través del botón Paro conectado en la interrupción externa INT2, caso en el cual se retorna a la rutina de seteo de clave del sistema.

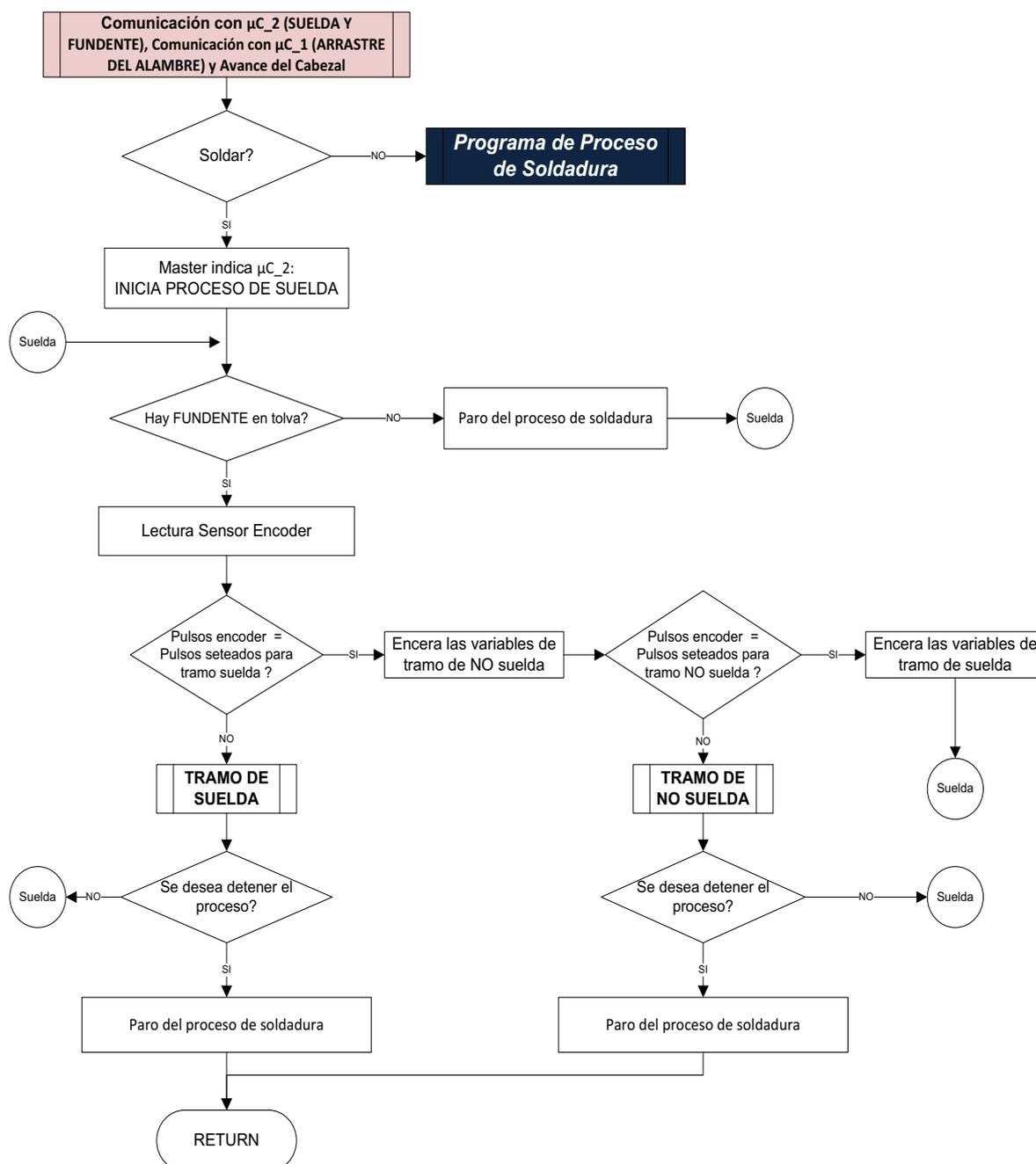


Figura 3.49. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de soldadura, comunicación con el microcontrolador de suelda, comunicación con el microcontrolador de arrastre de alambre y avance del cabezal.

Si el microcontrolador μC_2 ha enviado el aviso de falta de fundente en la tolva, se detienen todas las acciones del microcontrolador principal, hasta que la señal de aviso cambie y retome las acciones en el punto donde terminaron.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Master indica μC_2 : INICIA PROCESO DE SUELDA

El MASTER avisa al μC_2 que inicia el proceso de soldadura a través del dato 00 por los dos canales de comunicación.

A continuación se establecen los pines de transmisión y recepción:

Pin de transmisión, para avisar al esclavo si debe o no llevar a cabo las tareas de soldadura dependiendo del tramo.

Pin de recepción, para que el μC_2 avise al MASTER el estado del nivel de fundente en la tolva.

Fin de Tarea

Lectura Sensor Encoder

Lectura del sensor encoder a través del Timer 0 modo Contador.

Fin de Tarea

Paro del proceso de soldadura

Desactivación de las salidas que comandan el puente H de avance del cabezal y de los indicadores de avance.

El microcontrolador MASTER indica a los esclavos que no se deben realizar acciones.

Fin de Tarea



Figura 3.50. Aviso al operador la falta de fundente.

Luego de un tiempo moderado, aparece la siguiente pantalla en el LCD, donde se expone que para retornar al proceso de suelda se debe presionar el pulsador A, en cambio, si se desea salir del proceso y saltar a la rutina de ingreso de clave, se debe accionar el botón ENTER.

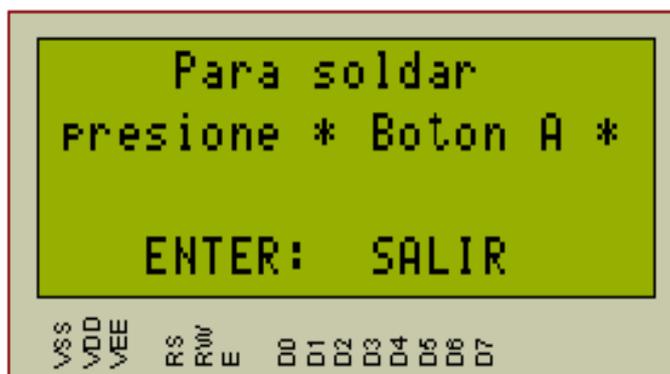


Figura 3.51. Pantalla de detección de nivel bajo de fundente.

Una vez colocado el fundente se continúa el proceso en el tramo de suelda en el que haya quedado la máquina, ya que el sistema al realizar un paro por falta de fundente guarda los parámetros que están establecidos y en ejecución.

Una vez que se ingresa a la subrutina denominada Tramo de Suelda, se distingue entre el giro de avance seleccionado, que pueden ser: giro del cabezal hacia la izquierda o giro hacia la derecha.

Dependiendo del sentido del giro seteado, se activan las salidas que comandan el puente H de avance del cabezal y se realiza la comunicación con los microcontroladores esclavos de manera que: el microcontrolador de arrastre baje constantemente el alambre para proveer el material de aportación al proceso de soldadura (PB4 = 1 y PB5 = 0) y que el microcontrolador de suelda active el transformador de suelda y el dosificador de fundente (PB6 = 1).

Mientras se realiza el proceso, se tiene la opción de variar la velocidad de avance del cabezal.

La Figura 3.52 corresponde al diagrama de flujo del proceso de suelda en tramo de suelda.

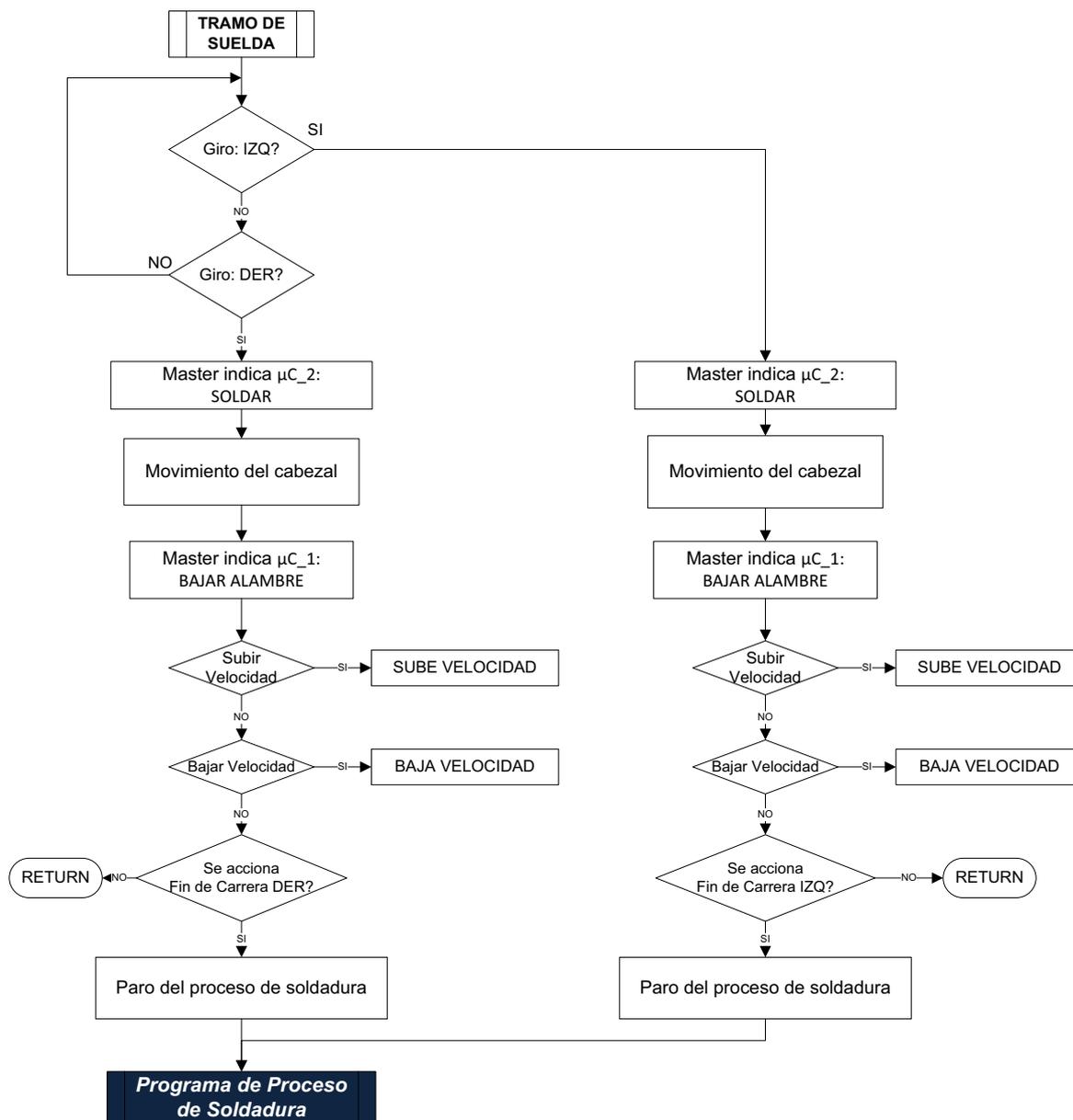


Figura 3.52. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo correspondiente al proceso de suelda en el tramo de suelda.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Master indica μC_2 : SOLDAR

Activación del canal de comunicación con μC_2 para activar el transformador de suelda y la bobina dosificadores de fundente.

Fin de Tarea

Movimiento del cabezal

Si se ha seleccionado giro hacia derecha: Se activan las salidas adecuadas que comandan el puente H y se enciende el indicador led derecho.

Si se ha seleccionado giro hacia izquierda: Se activan las salidas adecuadas que comandan el puente H y se enciende el indicador izquierdo.

Fin de Tarea

Master indica a μ C_1: BAJAR ALAMBRE

El microcontrolador master envía el dato 01 por los canales de comunicación si se selecciona bajar el alambre a través de la tecla B.

Fin de Tarea

Subir Velocidad

Subir velocidad en incrementos de 5[%] a través de la tecla A.

Fin de Tarea

Bajar Velocidad

Bajar velocidad en decrementos de 5[%] a través de la tecla B.

Fin de Tarea

Paro del proceso de soldadura

Desactivación de las salidas que comandan el puente H de avance del cabezal y de los indicadores de avance.

El microcontrolador MASTER indica a los esclavos que no se deben realizar acciones.

Fin de Tarea

Si se activa el fin de carrera concerniente al movimiento, se desactivan las salidas que gobiernan el puente H de avance y se envía señales para detener los procesos en los microcontroladores esclavos. Una vez tomada esta precaución se regresa a la rutina principal del proceso de soldadura, debido a que posiblemente todos los parámetros deban ser cambiados para llevar a cabo un nuevo proceso.

En la subrutina Tramo de NO Suelda solo se requiere el avance del cabezal en el sentido predeterminado, la comunicación hacia los esclavos indica que no se deben realizar acciones.

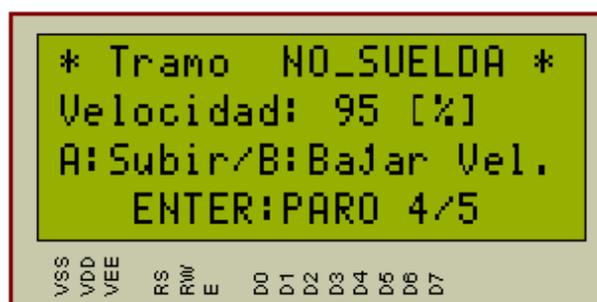


Figura 3.53. Interfaz de tramo de NO suelda.

La Figura 3.54 corresponde al diagrama de flujo del proceso de suelda en tramo de NO suelda

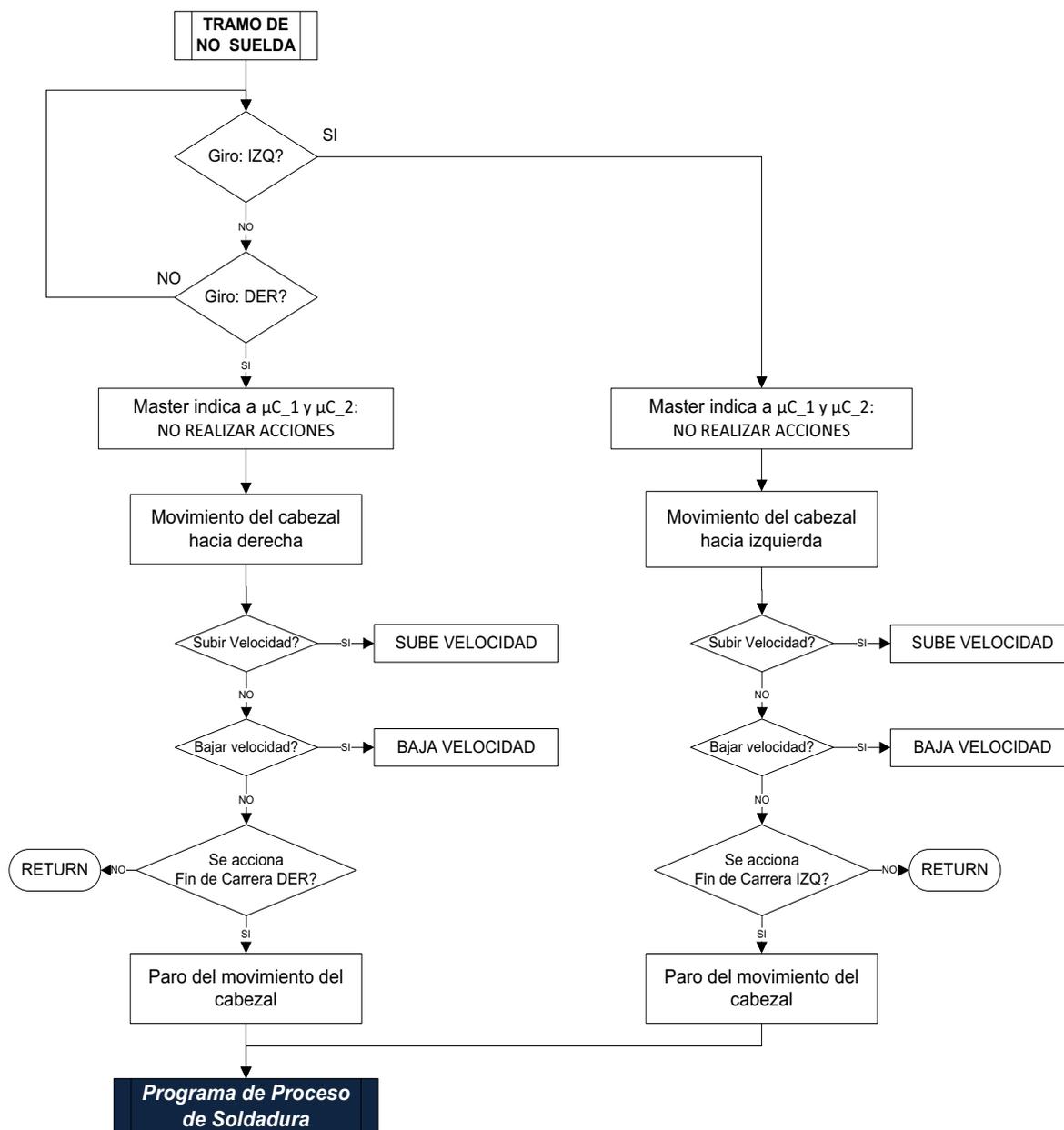


Figura 3.54. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo correspondiente al proceso de suelda en el tramo de NO suelda.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Master indica a los microcontroladores esclavos μC_1 y μC_2 : NO REALIZAR ACCIONES

Desactivación de los canales de comunicación con μC_1 y desactivación del canal de comunicación con μC_2 .

Fin de Tarea

Movimiento del cabezal

Si se ha seleccionado giro hacia derecha: Se activan las salidas adecuadas que comandan el puente H y se enciende el indicador led derecho.

Si se ha seleccionado giro hacia izquierda: Se activan las salidas adecuadas que comandan el puente H y se enciende el indicador izquierdo.

Fin de Tarea**Subir Velocidad**

Subir velocidad en incrementos de 5[%] a través de la tecla A.

Fin de Tarea**Bajar Velocidad**

Bajar velocidad en decrementos de 5[%] a través de la tecla B.

Fin de Tarea**Paro del movimiento del cabezal**

Desactivación de las señales que controlan el puente H del motor de avance y desactivación de los indicadores led.

Fin de Tarea

Programa de verificación y mantenimiento de hardware: Si la clave ingresada al iniciar el sistema es adecuada, se realiza un salto al presente programa, que tiene por objetivo verificar el adecuado funcionamiento de elementos que conforman el hardware del sistema, entre ellos los pulsadores A, B y Enter, y la comunicación entre el microcontrolador principal y los microcontroladores esclavos.



Figura 3.55. Presentación de ingreso a Programa de Verificación.

Para verificar si los pulsadores funcionan correctamente, el microcontrolador master requiere recibir la señal de los pulsadores en el momento que se indique en la pantalla del LCD; de otra forma, transcurrido un conteo regresivo el sistema pide el mantenimiento del pulsador que presente problema. El sistema no sale del

lazo de falla hasta que se compruebe el funcionamiento de cada uno de los pulsadores.

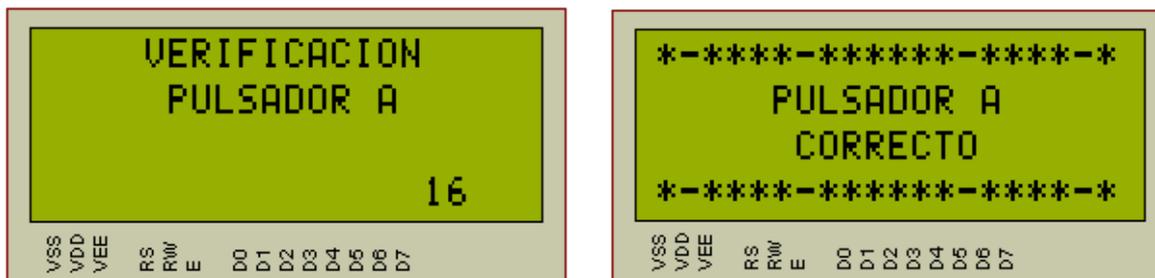


Figura 3.56. Verificación Pulsador A.

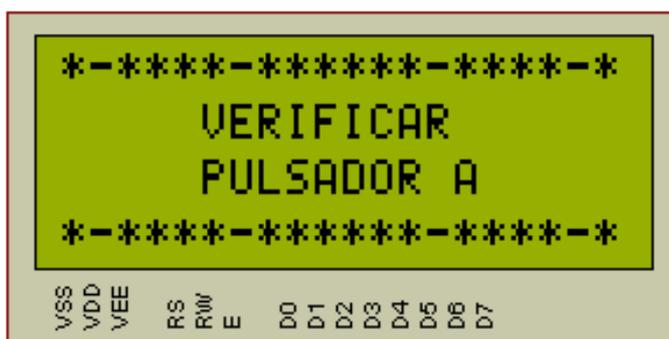


Figura 3.57. Se solicita verificar el Pulsador A.

La Figura 3.58 corresponde al diagrama de flujo de la rutina principal del proceso de verificación y mantenimiento de hardware del microcontrolador ATMEGA164P.

Para comprobar que la comunicación entre los microcontroladores funcione adecuadamente, se declaran los pines de comunicación en un principio como salidas, con el objetivo de notificar a los microcontroladores esclavos que el sistema se encuentra en el proceso de verificación. Luego, se declaran los pines como entradas, con el fin de que el microcontrolador master verifique que las señales llegan apropiadamente.

La Figura 3.59 corresponde al diagrama de flujo de verificación de comunicación con el microcontrolador esclavo encargado del arrastre del alambre.

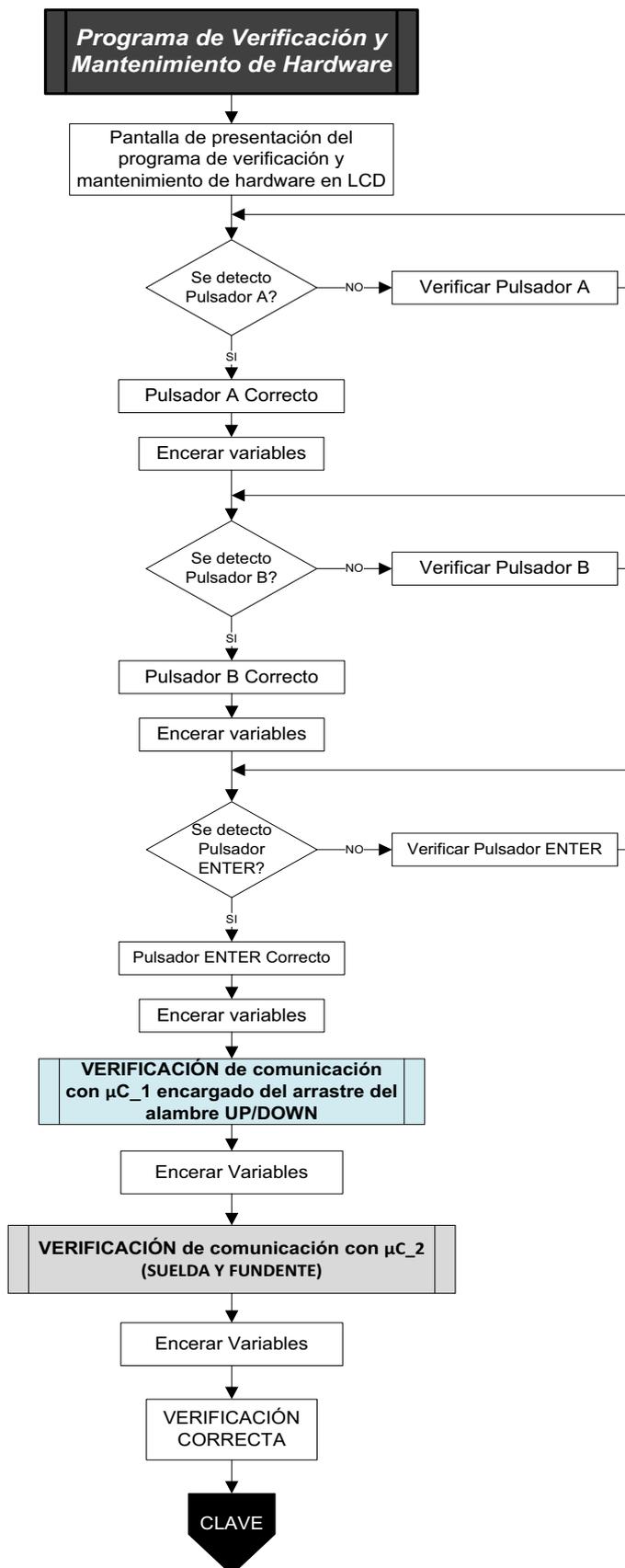


Figura 3.58. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la rutina principal del proceso de verificación y mantenimiento de hardware.

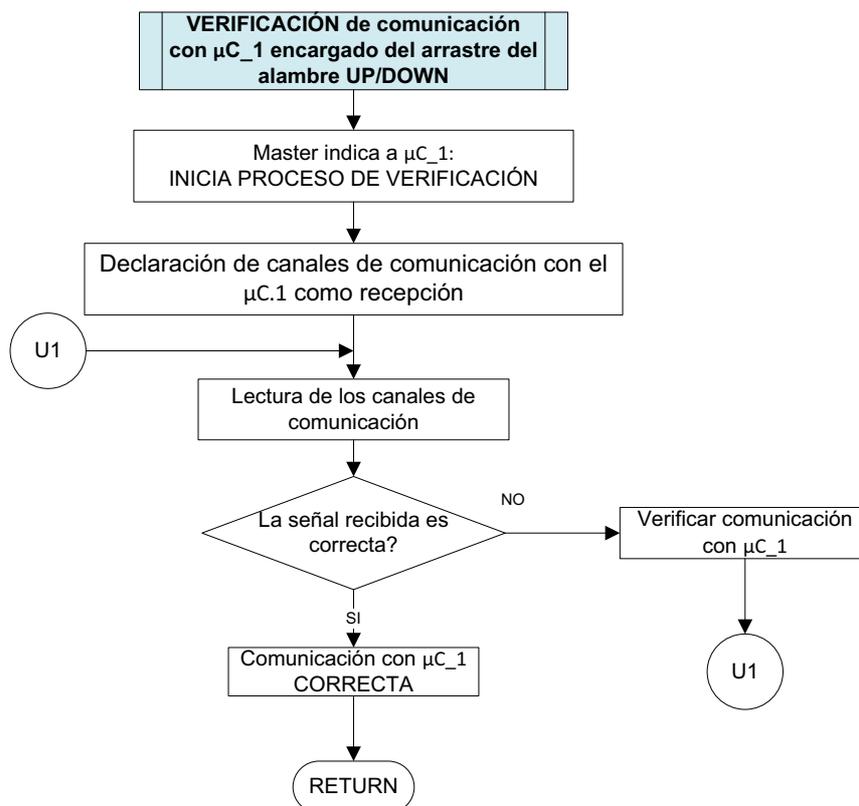


Figura 3.59. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de verificación de comunicación con el microcontrolador de UP/DOWN.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Master indica a μC_1 : INICIA PROCESO DE VERIFICACIÓN

El microcontrolador MASTER envía el dato 11 para indicar al microcontrolador esclavo de UP/DOWN que inicia el proceso de verificación de hardware.

Fin de Tarea

Declaración de pines de comunicación con μC_1 como entradas

A continuación, en el microcontrolador MASTER se establecen los pines para la recepción, con el fin de recibir la respuesta del microcontrolador esclavo.

Fin de Tarea

Lectura de los canales de comunicación con μC_1

Barrido de los pines de comunicación.

Si se recibe 0L, la comunicación funciona correctamente.

Si se mantiene en 1L hasta que termine el conteo, se requiere verificar la comunicación entre los microcontroladores.

Fin de Tarea

Comunicación con μC_1 CORRECTA

Encerar variables.

Desactivación de los pines de comunicación.

Fin de Tarea

La Figura 3.60 corresponde al diagrama de flujo de verificación de comunicación con el microcontrolador esclavo de suelda.

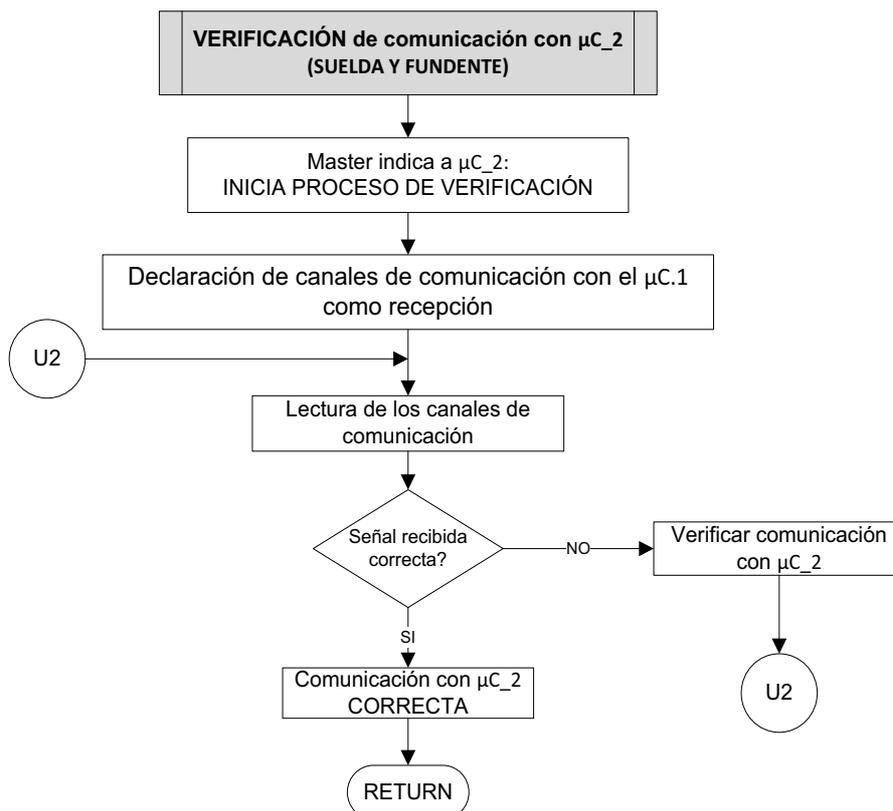


Figura 3.60. Microcontrolador MASTER, diagrama de flujo de la subrutina de verificación de la comunicación con el microcontrolador de suelda.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Master indica a μC_2 : INICIA PROCESO DE VERIFICACIÓN

El microcontrolador MASTER envía el dato 11 para indicar al microcontrolador esclavo de UP/DOWN que inicia el proceso de verificación de hardware.

Fin de Tarea**Declaración de pines de comunicación con μC_2 como entradas**

A continuación, en el microcontrolador MASTER se establecen los pines para la recepción, con el fin de recibir la respuesta del microcontrolador esclavo.

Fin de Tarea

Lectura de los canales de comunicación con μC_2

Barrido de los pines de comunicación.

Si se recibe 0L, la comunicación funciona correctamente.

Si se mantiene en 1L hasta que termine el conteo, se requiere verificar la comunicación entre los microcontroladores.

Fin de Tarea

Comunicación con μC_2 CORRECTA

Encerar variables.

Desactivación de los pines de comunicación.

Fin de Tarea



Figura 3.61. Verificación de comunicación entre microcontrolador MASTER y microcontroladores esclavos.

De igual forma si uno de los microcontroladores esclavos no envía la señal al microcontrolador master, se solicita revisar los cables de comunicación para llevar a cabo correctamente el proceso de solda.

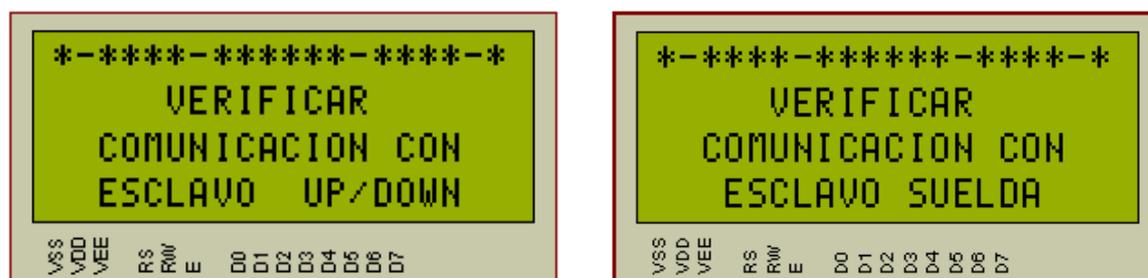


Figura 3.62. Solicitud de verificación de cables de comunicación.

Una vez que se ha revisado el funcionamiento de los tres pulsadores y se ha llevado a cabo la revisión de comunicación entre los microcontroladores, se despliega en el LCD la siguiente pantalla. Para retornar al ingreso de clave se requiere presionar ENTER.

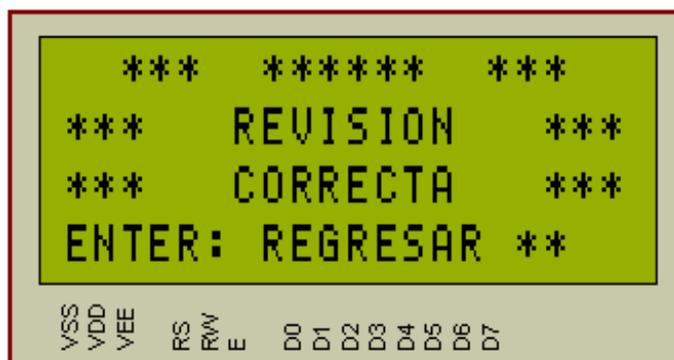


Figura 3.63. Finalización de PROGRAMA DE VERIFICACIÓN.

3.3.1.2 Diagramas de flujo para el microcontrolador encargado del arrastre de alambre

Se eligió al microcontrolador ATmega168P como auxiliar para comandar principalmente el arrastre del alambre en el proceso de soldadura.

El microcontrolador esclavo actúa siempre en función de las indicaciones que recibe del microcontrolador master ATMEGA164P a través de los pines D.0 y D.1, siempre que inicie el sistema se configura a estos pines como entradas para recibir información del microcontrolador master.

Dependiendo de la acción a tomar el programa lleva a verificar comunicación o envío de señales para arrastre del alambre.

Si se decide realizar una verificación los pines D.0 y D.1 se configuran como salidas y se avisa al microcontrolador master la correcta comunicación entre ellos y luego se procede a configurarlos nuevamente como entradas.

En caso de realizar tareas de arrastre del alambre, los canales D.0 y D.1 siempre están configurados como entradas y se envía señales para realizar las tareas de arrastre del alambre a través de las salidas B.2, B.3, B.4, B.5.

También se encienden leds a través de los pines B.0 y D.6 indicando la comunicación entre los microcontroladores y las tareas de arrastre.

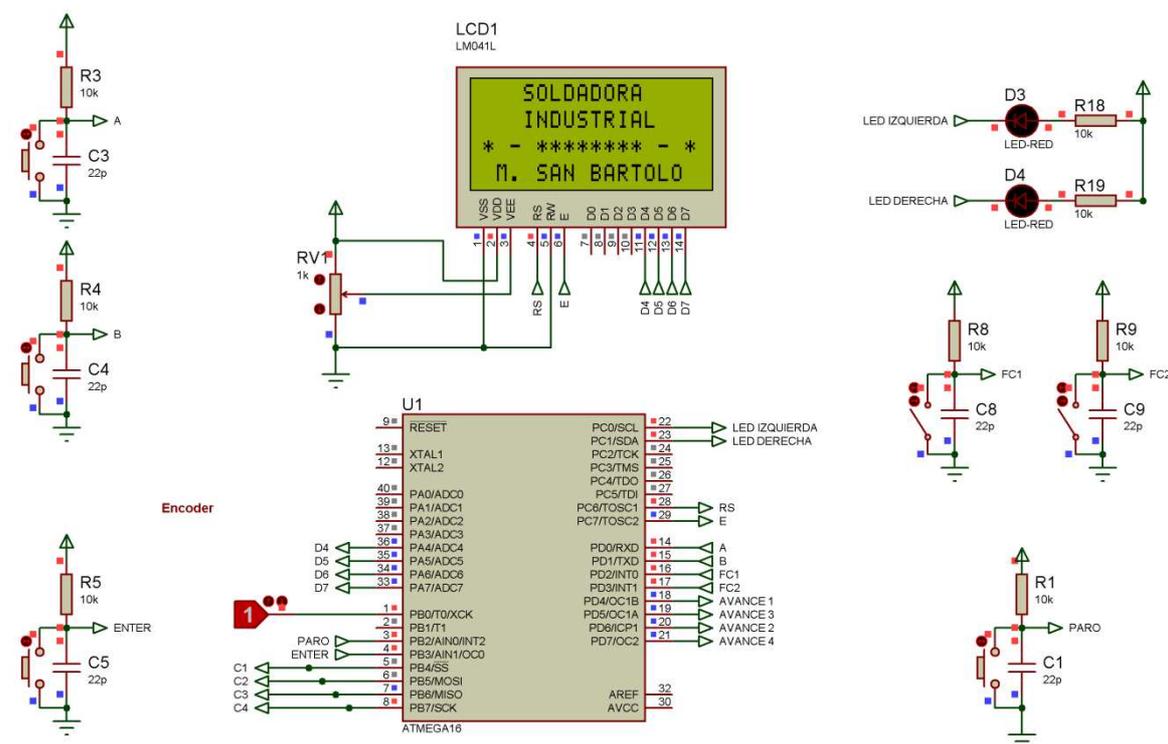


Figura 3.64. Esquema del circuito de control MASTER.

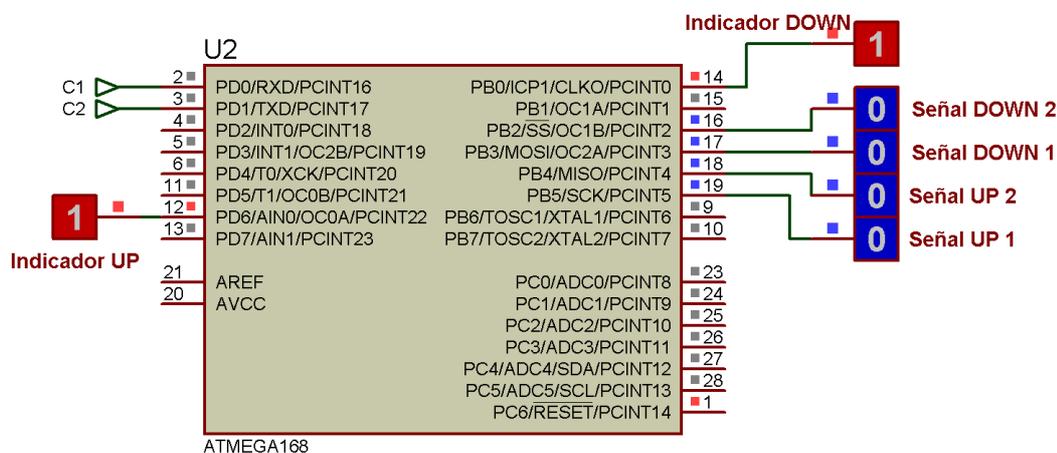


Figura 3.65. Esquema circuito microcontrolador de arrastre de alambre.

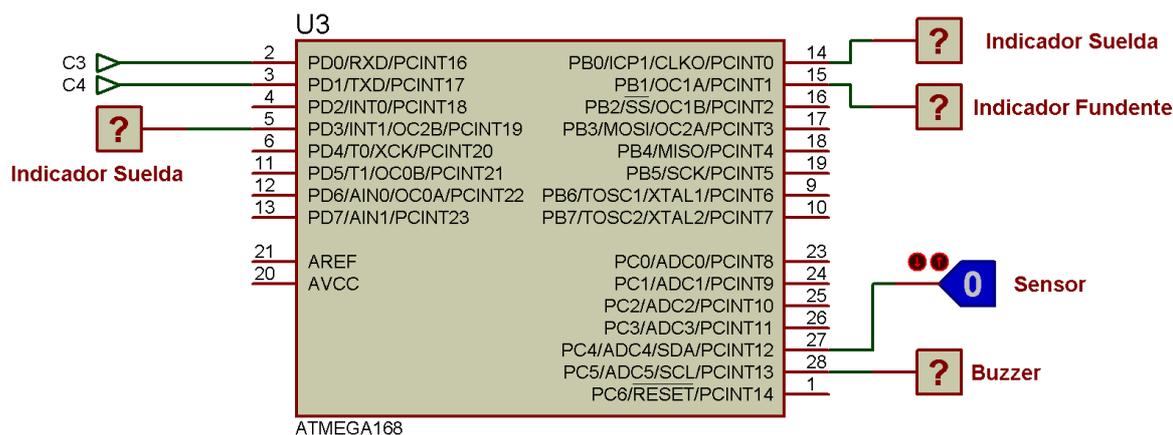


Figura 3.66. Esquema circuito microcontrolador de suelda.

En este punto se hace notorio que el control por módulos simplifica la programación del sistema de control. Por lo tanto, la única tarea del microcontrolador encargado del arrastre de alambre consiste en verificar los pines de comunicación y tomar las acciones pertinentes en las cuatro combinaciones que se indican en el diagrama de flujo.

En el proceso de soldadura y específicamente en el tramo de suelda, solamente se activan los semiconductores de potencia apropiados para que el hilo baje (combinación D.0 = 0 y D.1 = 1).

La Figura 3.67 corresponde al diagrama de flujo de la rutina de control del microcontrolador esclavo encargado del arrastre de alambre.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Selección de microcontrolador y configuración del reloj

- Seleccionar el microcontrolador establecido en el diseño de hardware
- Configurar el oscilador interno del microcontrolador

Fin Tarea

Configuración de puertos de entrada y salida

- Configurar puertos para envío de señales para manejo del puente H en cero lógico

Fin Tarea

Configurar canales de comunicación

- Configurar puertos de entrada para recibir señal de microcontrolador master

Fin Tarea

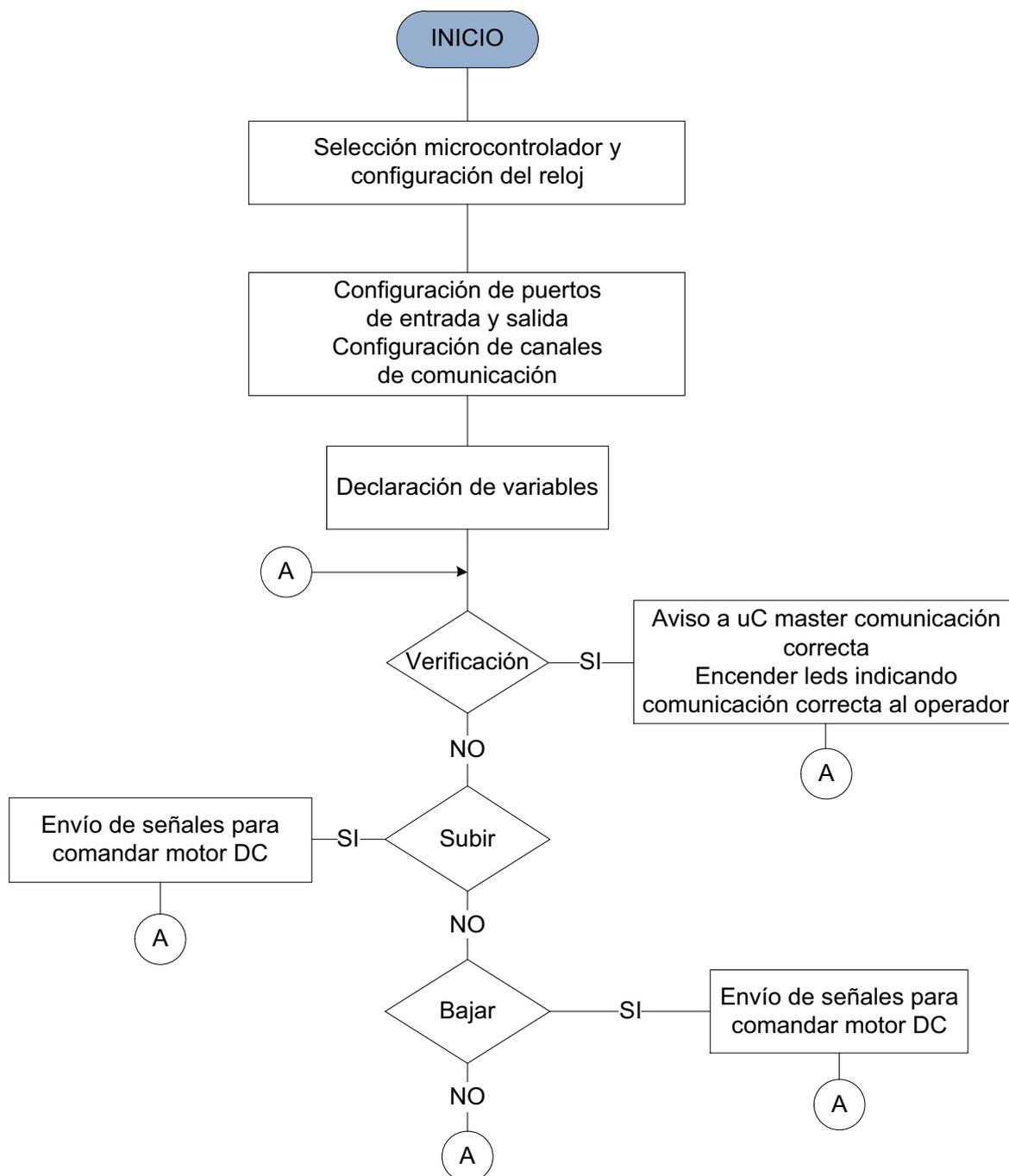


Figura 3.67. Diagrama de flujo de la rutina de control del microcontrolador de UP/DOWN.

Declaración de variables

Declarar variable antes de su uso para diferenciarlas en las subrutinas

Fin Tarea

Verificación

Si verificación

*Comparo con los bits para aviso de comunicación correcta
Si bits son iguales*

Configuro canales de comunicación como salida
Aviso a microcontrolador master con bits establecidos que la
comunicación es correcta
Enciendo leds para aviso al operador que la comunicación es
correcta

Bits no son iguales
Comunicación incorrecta
Espera de bits correctos

No comunicación

Fin Tarea

Subir

Comparo bits para envío de señales para manejo de puente H

Si bits son iguales

Subir Alambre

Bits no son iguales

Fin Tarea

Bajar

Comparo bits para envío de señales para manejo de puente H

Si bits son iguales

Bajar Alambre

Bits no son iguales

Fin Tarea

3.3.1.3 Diagramas de flujo para el microcontrolador encargado del proceso de suelda

El ATmega168 es el microcontrolador auxiliar para la activación del transformador de suelda, activación del dosificador de fundente, lectura del sensor de nivel bajo de fundente y señalización de proceso de suelda.

El programa principal de este microcontrolador se centra en la lectura del sensor de nivel, subrutina del proceso de suelda y aviso del μC principal si se desea detener el proceso de suelda a través de fin de carrera, paro o simplemente no soldar de acuerdo a los tramos de suelda y no suelda.

De igual forma el microcontrolador esclavo actúa siempre en función de las indicaciones que recibe del microcontrolador master ATMEGA164P a través de los canales D.0 y D.1.

Siempre que inicie el sistema se configura a estos pines como entradas para recibir información del microcontrolador master. Dependiendo de la acción a

tomar, el programa lleva a la subrutina de verificación de comunicación o subrutina de suelda.

Si la combinación de los bits es D.0=1 y D.1=1 entonces el programa lleva a la subrutina de verificación.

Si la combinación de los bits es D.0=0 y D.1=0 entonces el programa lleva a la subrutina de suelda.

Por precaución, si la combinación de los bits es D.0=0 y D.1=1 ó D.0=1 y D.1=0 entonces el programa mantiene desactivados tanto el transformador de suelda como la bobina dosificadora de fundente.

La Figura 3.68 corresponde al diagrama de flujo de la rutina de control del microcontrolador esclavo de suelda.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo en lenguaje estructurado se tiene:

Selección de microcontrolador y configuración del reloj

Seleccionar el microcontrolador establecido en el diseño de hardware

Configurar el oscilador interno del microcontrolador

Fin Tarea

Configuración de puertos de entrada y salida

Configurar puertos para envío y recepción de señales para manejo de periféricos

Fin Tarea

Declaración de variables

Declarar variable antes de su uso para diferenciarlas en las subrutinas

Fin Tarea

Configurar canales de comunicación

Configurar puertos de entrada para recibir señal de microcontrolador master

Fin Tarea

Verificar Comunicación

Si verificación

Ir a subrutina de Verificación

Retorno de Subrutina

No comunicación

Fin Tarea

Soldar

Si Soldar

*Ir a subrutina de suelda**Retorno de Subrutina*

No Soldar

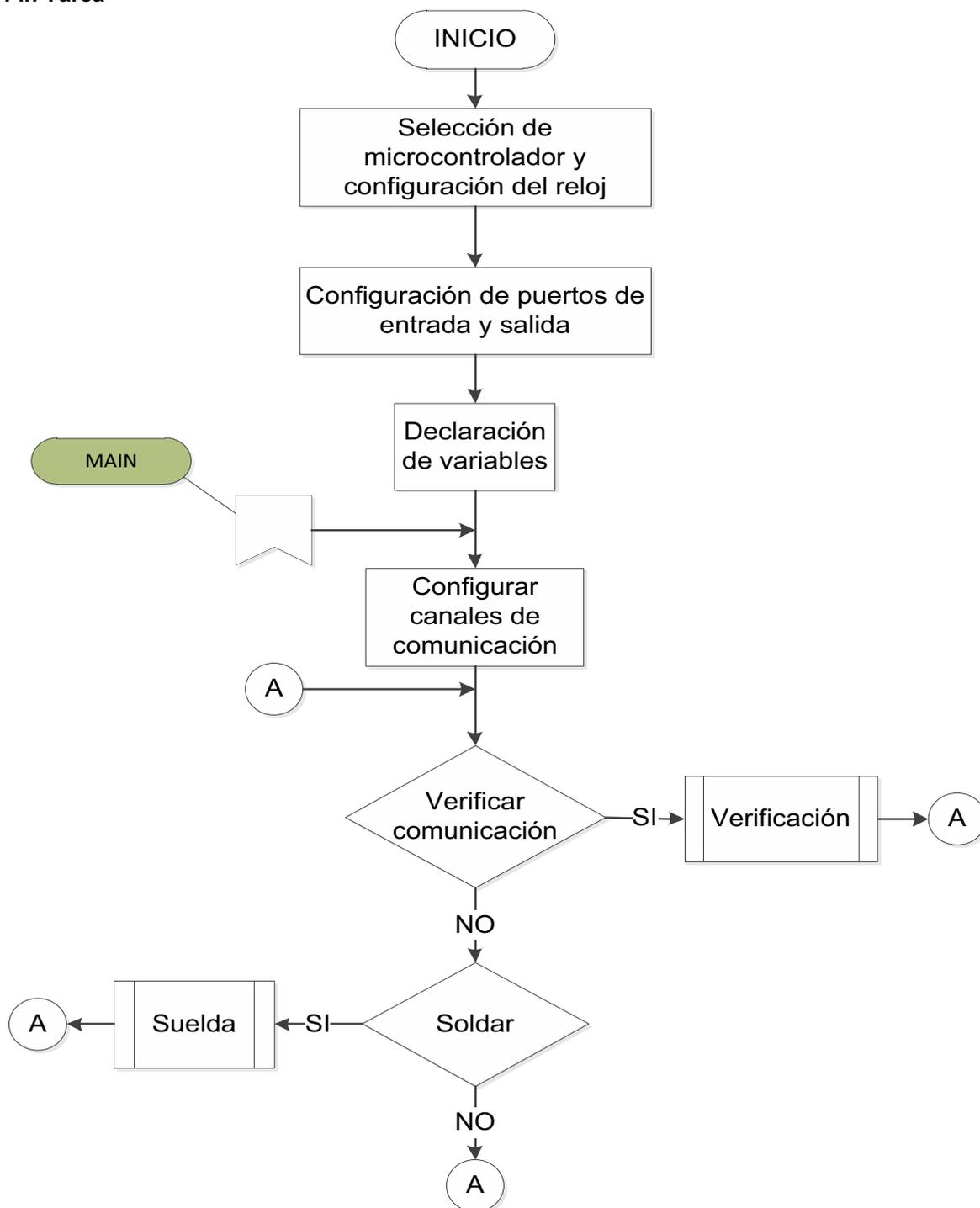
Fin Tarea

Figura 3.68. Diagrama de flujo de la rutina de control principal del microcontrolador de suelda.

En la subrutina de suelda se lee la señal del sensor de nivel, además se lee la señal del microcontrolador principal, por medio del bit C3, que indica los tramos de suelda y no suelda para la activación del transformador de suelda. También se leerá un paro general o un fin de carrera.

En caso de falta de fundente la máquina sigue soldando por un tiempo establecido, el proceso de suelda se detiene si el tiempo establecido se cumple, avisando al microcontrolador principal la falta de fundente. En caso de que se vuelva a llenar la tolva después del tiempo señalado, se envía una señal al microcontrolador principal indicando que se puede volver a iniciar la suelda y nuevamente se retoma el proceso.

La Figura 3.69 corresponde al diagrama de flujo de la subrutina de suelda del microcontrolador esclavo μC_2 .

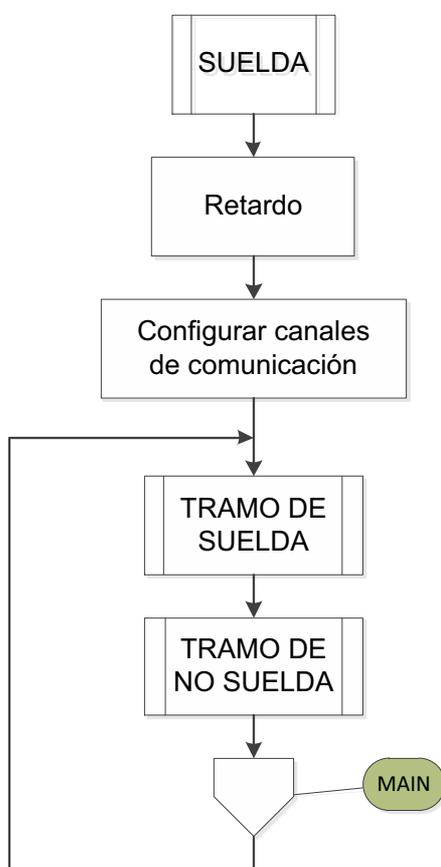


Figura 3.69. Microcontrolador de suelda, subrutina de suelda.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo de subrutina de suelda en lenguaje estructurado se tiene:

Retardo

Espera a configurar canales de comunicación

Fin Tarea

Configurar Canales de Comunicación

Comparar bits para activación de suelda y desactivación de suelda

Si bits indican soldar

Vaya a subrutina Tramo de Suelda

Fin subrutina

Si bits indican no suelda

Vaya a subrutina Tramo de No Suelda

Fin subrutina

Retorno a programa principal

Fin Tarea

Si el microcontrolador esclavo recibe la orden de soldar, el programa salta a la subrutina de suelda. En esta subrutina el microcontrolador se encarga de activar la suelda, la bobina dosificadora de fundente, encender el led indicador de suelda y de la lectura del sensor de nivel.

Si el nivel de fundente es el adecuado, el microcontrolador lleva a cabo el proceso de suelda; caso contrario, avisa al microcontrolador master la falta de fundente a través del canal D.1 configurado como salida y también avisa al operario de la máquina a través de un buzzer activado por el bit 5 del puerto C. Durante el proceso de suelda, la lectura del sensor de nivel es continua.

Detallando brevemente las tareas de la subrutina de Tramo de Suelda en lenguaje estructurado se tiene:

Configurar Canales de Comunicación

Configurar canales de entrada para comparación de bits

Fin Tarea

Soldar

Si bits indican soldar

Manejo de periféricos para proceso de suelda

Activar bit para flujo de fundente

Activar bit para alimentar el transformador de suelda

Activar bit para encender led indicador de trabajo

Periférico de entrada para sensor de fundente

Aviso a microcontrolador master el nivel de fundente

Bits indican no soldar
 Ir a subrutina Tramo de no suelda

Fin Tarea

Sensor de nivel

Si sensor de nivel activado
 Manejo de periféricos para desactivar suelda
 Desactivar bit para flujo de fundente
 Desactivar bit de alimentación al transformador de suelda
 Desactivar bit de led indicador de trabajo
 Activar bit para alarma de aviso de falta de fundente
 Aviso a microcontrolador falta de fundente
 Leer sensor de nivel

Sensor de nivel desactivado
 Leer sensor de nivel

Fin Tarea

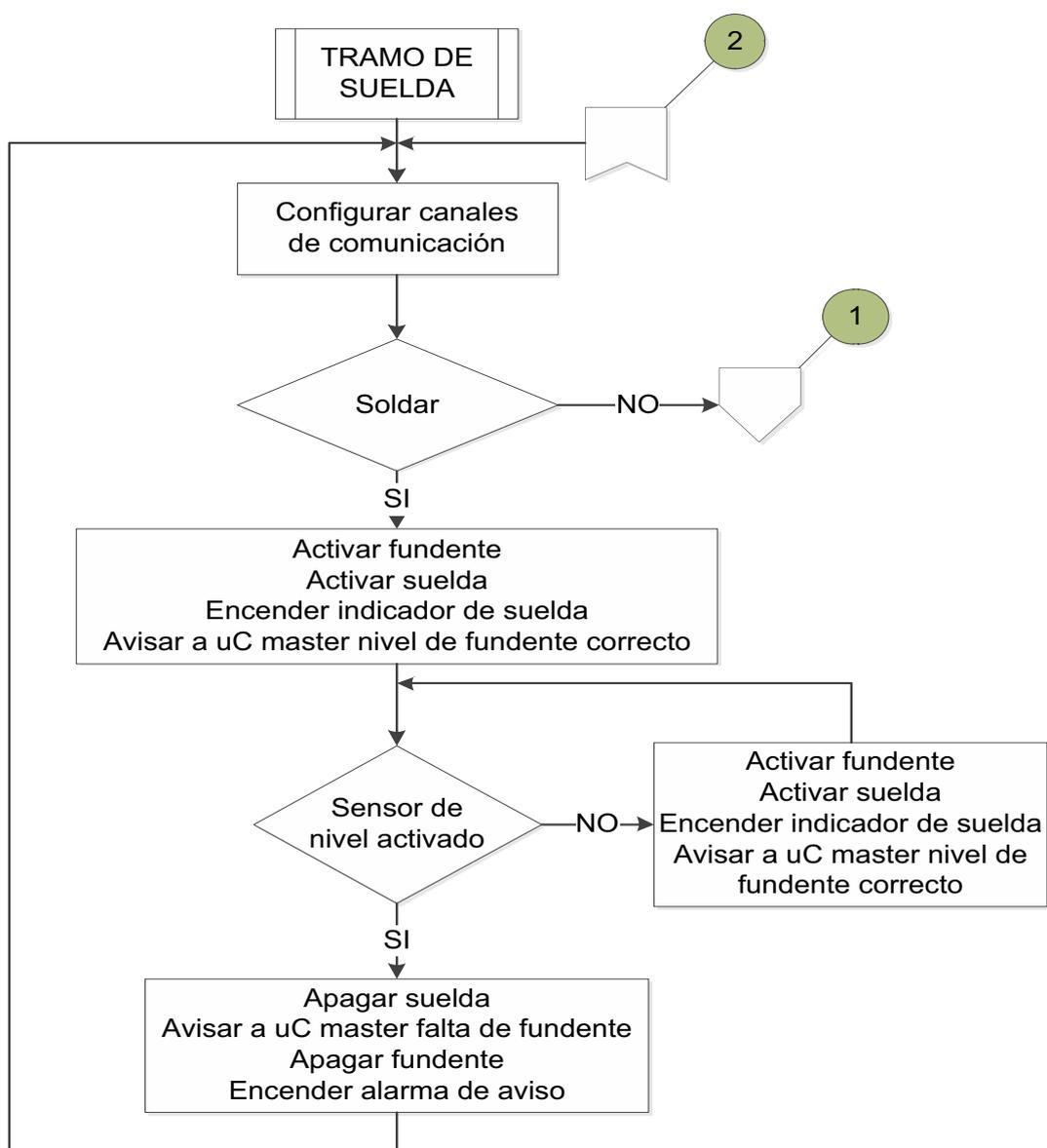


Figura 3.70. Microcontrolador de suelda, subrutina en tramo de suelda.

Si se da la orden de no suelda el programa lleva a cabo a la subrutina Tramo de NO Suelta.

En el tramo de NO suelda se desactiva el transformador de suelda, la bobina dosificadora de fundente, el led indicador de suelda, además se configura a los canales D.0 y D.1 nuevamente como entradas en caso de que se detenga el proceso para realizar la verificación de comunicación o iniciar nuevamente el proceso de suelda.

La Figura 3.71 corresponde al diagrama de flujo de la subrutina de suelda en el tramo de NO suelda para el microcontrolador esclavo μC_2 .

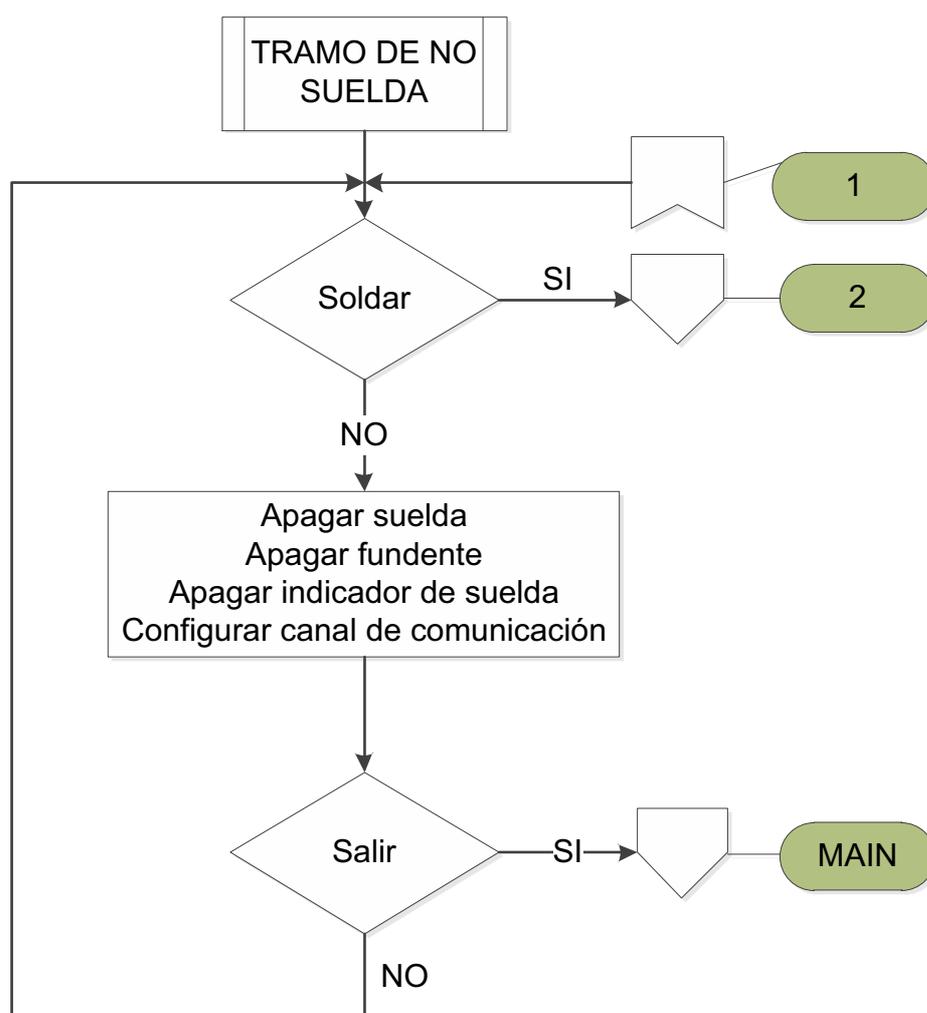


Figura 3.71. Microcontrolador de suelda, subrutina en tramo de NO suelda.

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo de la subrutina de Tramo de NO Suelda en lenguaje estructurado se tiene:

Soldar

Si bits indican no soldar

Manejo de periféricos para proceso de suelda

Desactivar bit para flujo de fundente

Desactivar bit para alimentar el transformador de suelda

Desactivar bit para encender led indicador de trabajo

Configurar canales de comunicación

Bits indican soldar

Ir a subrutina Tramo de suelda

Fin Tarea

Salir

Si Salir

Ir a programa principal de suelda

No Salir

Retorno a condicional Soldar

Fin Tarea

En la subrutina de verificación, al recibir los bits 00 los canales D.0 y D.1 son configurados como salidas y se avisa al microcontrolador master mediante los canales D.0=1 y D.1=1.

La Figura 3.72 corresponde al diagrama de flujo de la subrutina de verificación de comunicación del microcontrolador esclavo μC_2 .

Detallando brevemente las tareas del diagrama de flujo de la subrutina de verificación en lenguaje estructurado se tiene:

Configurar Canales de Comunicación

Establecer puertos de entrada para comparación de bits

Fin Tarea

Comunicación correcta

Si comunicación correcta

Aviso a microcontrolador master comunicación correcta

Retorno a programa principal

Comunicación no correcta

Retorno a programa principal

Fin Tarea

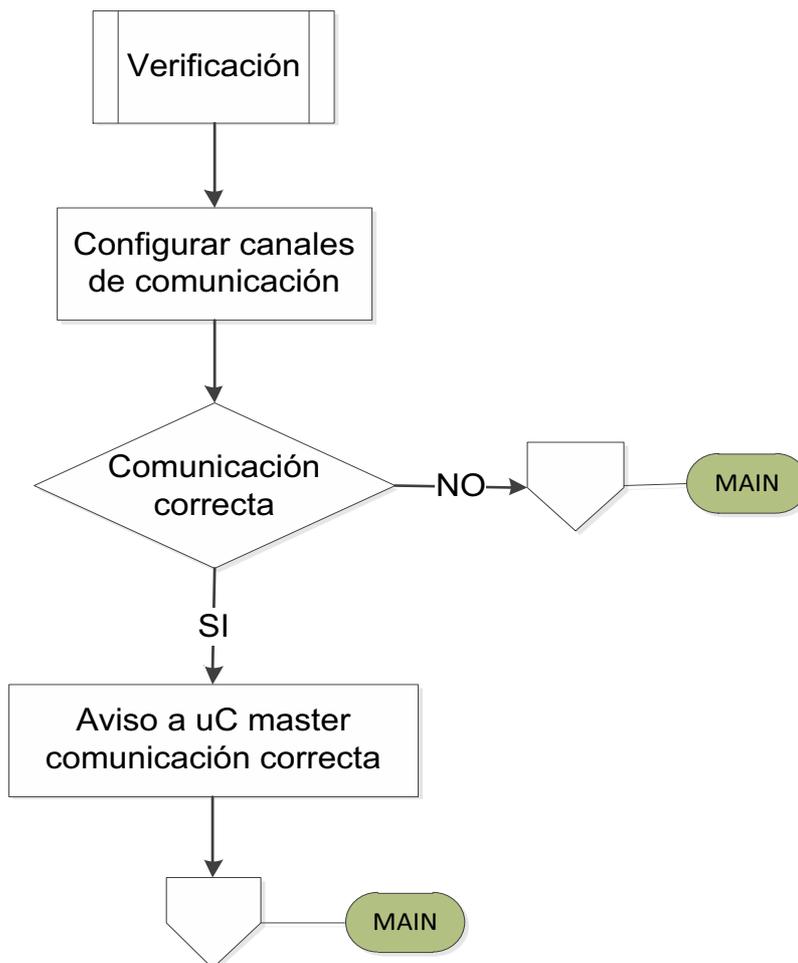


Figura 3.72. Microcontrolador de suelda, subrutina de verificación.

Se concluye el presente capítulo para dar paso a las pruebas y resultados del sistema implementado.

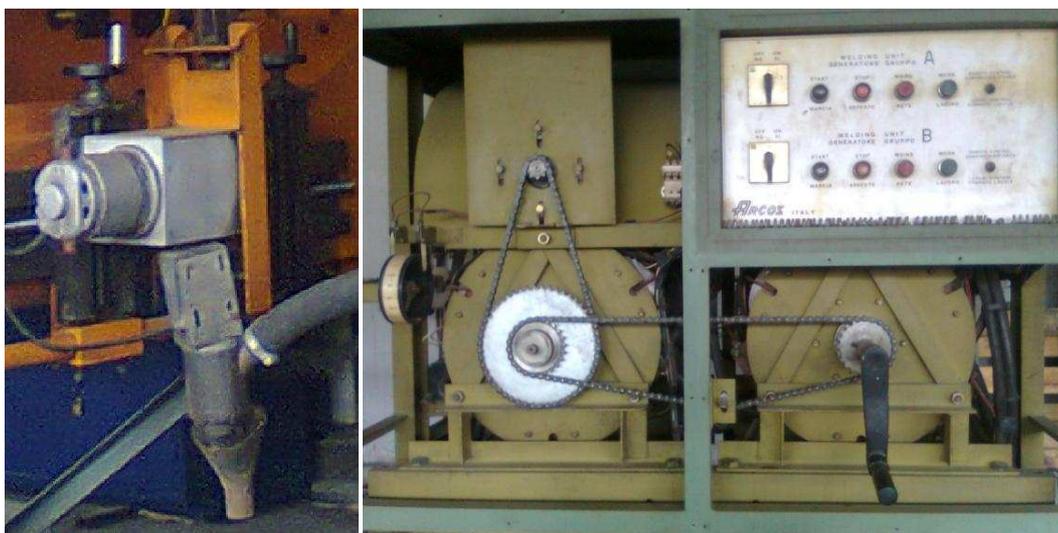
CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 REACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA ORIGINAL

En primer lugar, se procedió a dar un mantenimiento al sistema original de la soldadora industrial en línea recta, donde se realizaron actividades como:

- Limpieza y lubricación de elementos y guías del bastidor.
- Mantenimiento del transformador de suelda y de los terminales del mismo.
- Fabricación de la boquilla por donde pasa el alambre de suelda y cae el fundente en polvo.
- Reinstalación de los motores DC encargados del avance del cabezal y del arrastre del alambre.
- Recableado del sistema de potencia de la soldadora.



a.

b.

Figura 4.1. (a). Mecanismo de arrastre del alambre. (b). Mecanismo para desplazamiento de núcleo del transformador.

La dirección de la Metalmecánica San Bartolo entregó dos motores para ser utilizados en la rehabilitación de la soldadora industrial. Uno de los motores requería ser rebobinado y los dos motores se hallaban sin los carbones y sin los porta carbones. Por lo tanto, se fabricaron en la Metalmecánica San Bartolo los tapones para colocar los carbones correspondientes y se llevaron a cabo las reparaciones y compras necesarias.

Se procedió a obtener los circuitos de control y potencia de la soldadora, con el fin de comprender como se debe operarla y la función de varios de los elementos instalados.



Figura 4.2. Tablero de control del sistema original.

Luego de analizar los circuitos de control y potencia del diseño original, se los reparó con el fin de probar el funcionamiento de cada uno de los elementos del sistema integral de la máquina. Entre los arreglos que se realizaron, están:

- Reparación y conexión del sensor óptico.
- Reparación y conexión de la bobina del dosificador de fundente.

La dirección de la Metalmecánica San Bartolo solicitó que funcione solamente un cabezal, ya que la pistola de suelda y todo el mecanismo de arrastre del alambre

de uno de los cabezales no estaban instalados. Para ello se desmontó todo lo perteneciente al cabezal A, manteniendo solamente los elementos del cabezal B, que se encontraban en mejor estado.

El motor rebobinado que debía realizar las tareas de arrastre del alambre no se hallaba trabajando adecuadamente, ya que había perdido sus características en el proceso de rebobinado.

La fuente del motor DC es de 32V; pero al conectarlo directamente a su fuente de alimentación, el voltaje de este motor caía a 12V, lo que implicaba que la corriente a través de los bobinados se eleve. Se desarmó el motor y se comprobó que la armadura estaba en mal estado; ya que el campo aún conservaba la resistencia de 120[Ω].



Figura 4.3. Circuito de control de la pistola B.

Para comprobar el estado del motor rebobinado, se intercambiaron elementos entre los dos motores con los que se estaba trabajando y se comprobó que la armadura del motor rebobinado no estaba en correcto estado; como consecuencia, el motor rebobinado debió ser descartado para el funcionamiento. Afortunadamente, se halló en bodega el motor perteneciente al otro cabezal que

había sido desmontado hace mucho tiempo atrás. Después de realizar un mantenimiento y comprobar sus características, se instaló el motor y se logró ponerlo en funcionamiento.

Una vez que todo el control de la pistola A había sido desmontado y el sistema de control de la pistola B entendido y reparado se realizaron varias pruebas integrales del funcionamiento de la soldadora.

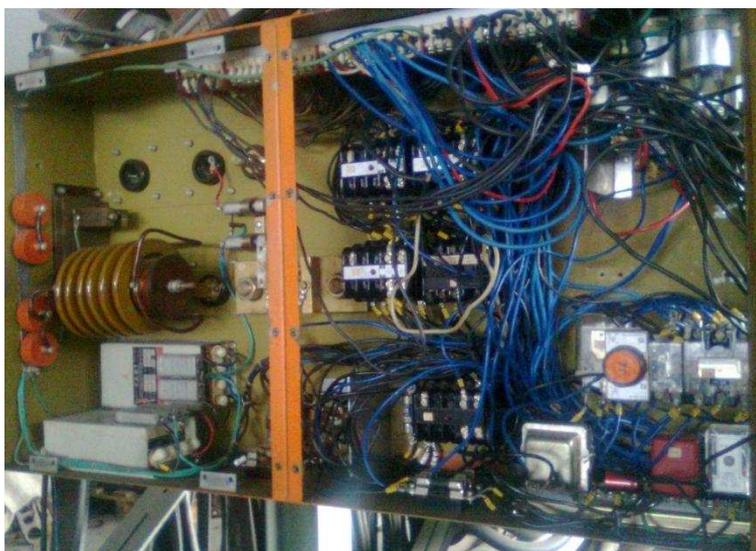


Figura 4.4. Circuito de control y fuerza de la pistola B y de avance del cabezal.

La siguiente fotografía muestra varios de los cordones de suelda que se llevaron a cabo con la maquina soldadora industrial.



Figura 4.5. Cordones realizados sobre una zapata con el sistema original.

Los primeros cuatro cordones de suelda que se observan en la Figura 4.5 se realizaron en modo continuo y los tres que se encuentran en la parte inferior se llevaron a cabo utilizando modo intermitente.

Los cordones que se observan en la parte superior no presentan una buena característica de suelda, el arco se cortaba ya que no existía el voltaje de arco necesario para llevar a cabo el proceso, debido a que varias de las máquinas como: tornos y la máquina de trenes de rodaje se encontraban en funcionamiento. Esto implica que no existía la corriente y voltaje necesarios para el proceso.

Los cordones que se observan en el medio de la zapata, se los realizaron en modo continuo, aprovechando que el resto de máquinas se hallaban fuera de funcionamiento. Por lo tanto, los cordones se realizaron de manera uniforme.

Los tres últimos cordones se los realizó en modo intermitente; para ello, se debía calibrar un relé de tiempo OFF-DELAY. Se probó la suelda en todo el rango de variación del relé, es por ello que los cordones que se observan presentan separaciones y mayormente tramos continuos. Después de las pruebas realizadas se comprobó que el seteo de tramo intermitente no funcionó de forma adecuada, es por ello que se descartó el uso del mismo.

4.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA DISEÑADO

Una vez probado el funcionamiento del sistema de control y de potencia original, se decidió desmontar todos los contactores y elementos de maniobra que se requerían para controlar a la soldadora industrial. Se conservaron varios de los elementos necesarios para el funcionamiento de la máquina, entre ellos:

- Los transformadores que proveen de voltajes para alimentar los motores y la bobina de dosificación del fundente.

- Todo el circuito de potencia encargado del proceso de suelda propiamente dicho.
- Un variador de voltaje para manipular según las necesidades la alimentación al motor de arrastre del alambre para aporte del material.
- Varios puentes de diodos, condensadores de tarro (filtros a la salida del puente de diodos para manejo de motores), entre otros.

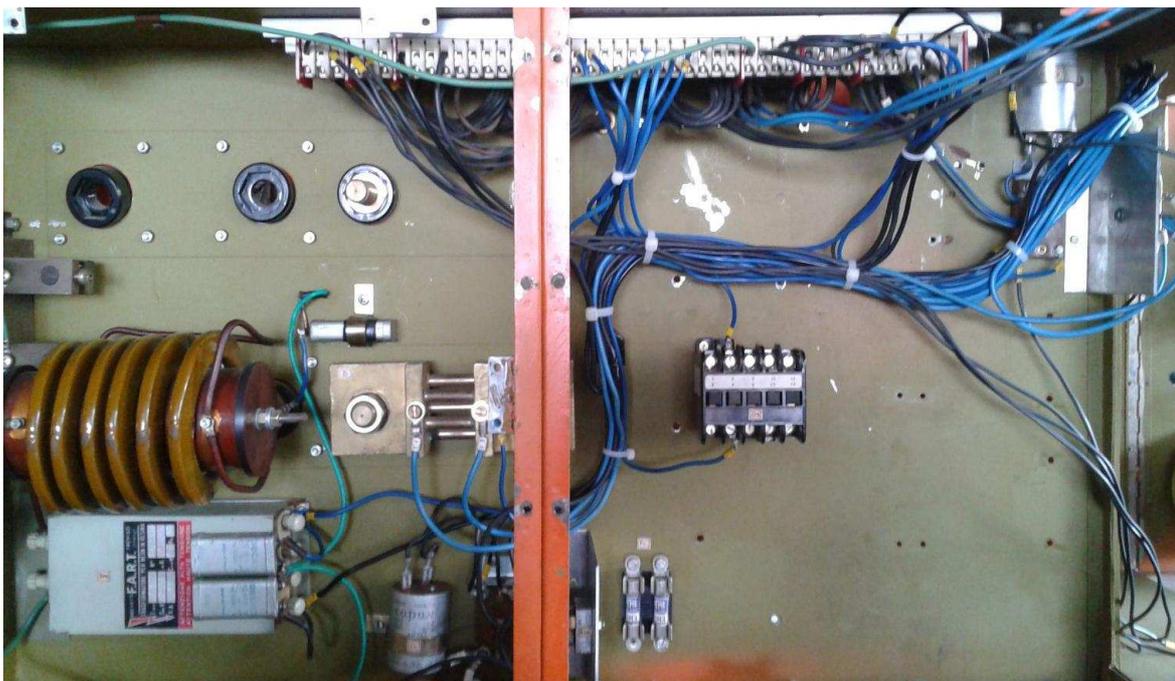


Figura 4.6.Elementos conservados para el funcionamiento de la soldadora.

4.2.1 PRUEBAS INDIVIDUALES DE LOS MICROCONTROLADORES

Debido a que el sistema de control fue desarrollado a base de módulos, la tarea de verificación de funcionamiento del sistema de control con microcontroladores fue más sencilla. Se pudo probar cada microcontrolador y sus funciones por separado antes de integrar todo el sistema para una prueba general del mismo.

Es importante mencionar que primero se armaron los circuitos en proto-boards para examinar el funcionamiento del sistema. Una vez que se llegó a una conformidad con la programación, se procedió a la elaboración de las placas de control.

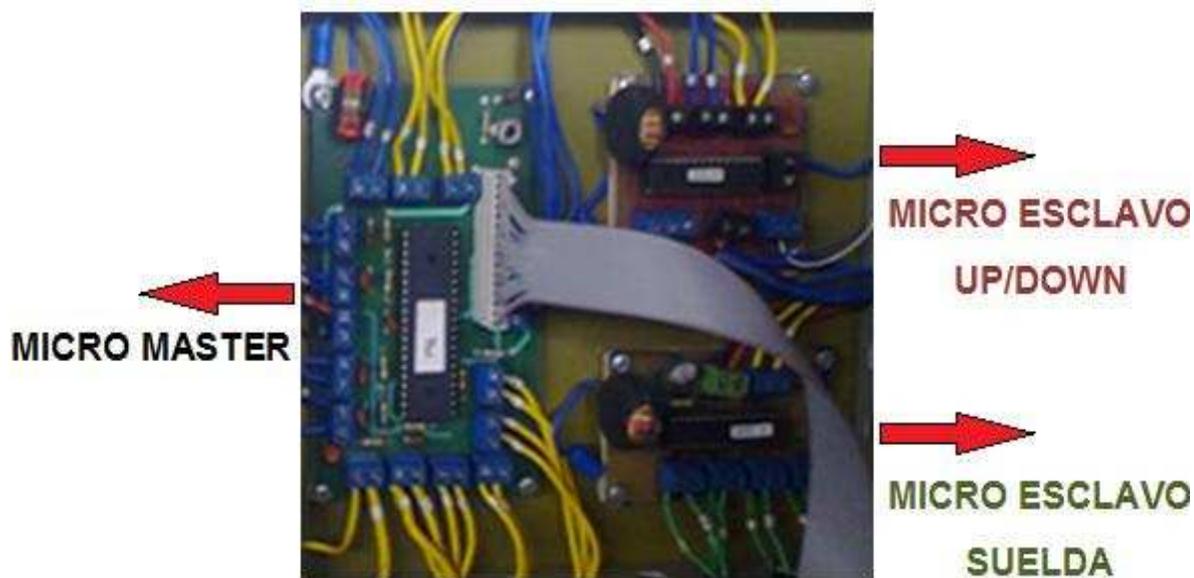


Figura 4.7. Sistema de control basado en microcontroladores.

4.2.2 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE MICROCONTROLADORES

El sistema de control debe ejecutar dos programas, los cuales son:

- PROGRAMA DE VERIFICACIÓN Y MANTENIMIENTO DE HARDWARE.
- PROGRAMA DE PROCESO DE SOLDADURA.

Se decidió utilizar dos hilos de comunicación entre el microcontrolador master y cada uno de los microcontroladores esclavos. Cada microcontrolador debe recibir y transmitir información de estado, para lo cual es vital que los microcontroladores estén sincronizados.

Para conseguir una comunicación exitosa entre los microcontroladores se realizaron varias pruebas coordinando los tiempos entre los microcontroladores involucrados, con el fin de que no existan inconvenientes si los canales de cada microcontrolador no están trabajando sincrónicamente en forma adecuada.

4.2.3 PRUEBAS DE MOTORES

Como ya se indicó en la fase de diseño se decidió implementar un puente H para comandar a cada uno de los motores DC involucrados en el proceso de soldadura, de esta manera se tiene control de velocidad e inversión de giro en cada motor.



Figura 4.8.Motores DC.

En primera instancia, se buscó elementos de electrónica de potencia existentes en el mercado nacional para controlar los motores. Los MOSFETS IRF540 (100[V] / 25[A]) están disponibles en el país. Sin embargo, estos elementos no soportaron la operación intermitente a la que deben estar sometidos los motores.

Es por ello que se decidió utilizar los IGBTs con número de serie FGA180N33ATD, ya que estos elementos son capaces de soportar la corriente necesaria y además tienen la ventaja de ser manejados por voltaje.

Una vez que los elementos de potencia estuvieron a disposición, no se pudo probar en proto-board, debido a que la corriente nominal de los motores que es 15 [A] es alta, por lo tanto, se hicieron las placas de potencia.

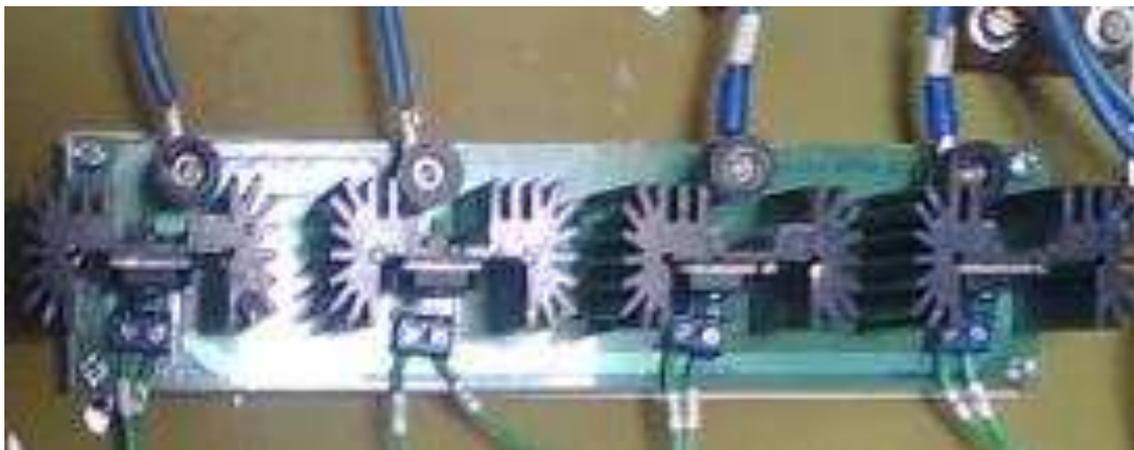


Figura 4.9.Placa de potencia, puente H.

Para el disparo de los IGBTs, en primera instancia se utilizó los optoacopladores 6N137, debido a que estos se usaron para el disparo de los MOSFET IRF540. Sin embargo estos elementos de potencia requieren un voltaje mayor a 5V para ser disparados, voltaje que el opto acoplador solo resiste durante un corto tiempo.

Se migró a la idea de utilizar circuitos integrados manejadores de IGBTs para facilitar y abaratar costos, debido a que al usar estos no se requieren tantas fuentes para establecer las referencias.

En el mercado se encontraron los manejadores IR2101, los mismos que funcionaron durante un tiempo corto y luego se quemaban. Se pudo verificar que los circuitos integrados IR2101 no son circuitos confiables y por tanto se decidió utilizar el opto acoplador 6N135.

Para el manejo de los motores con los opto acopladores 6N135 se necesitaron seis fuentes de 12 [V] para asegurar el disparo de los IGBTs; además se debe establecer adecuadamente las referencias en los 2 puentes H encargados de comandar el movimiento de los motores DC.

Se realizaron las pruebas pertinentes en los puentes H para el manejo de los motores, comprobando el movimiento de los mismos en ambos sentidos y en todo

el rango de velocidad, ya sea a través de la variación del ancho del pulso del PWM para el motor de avance o de forma análoga por el accionamiento del variador de tensión para el motor de arrastre.

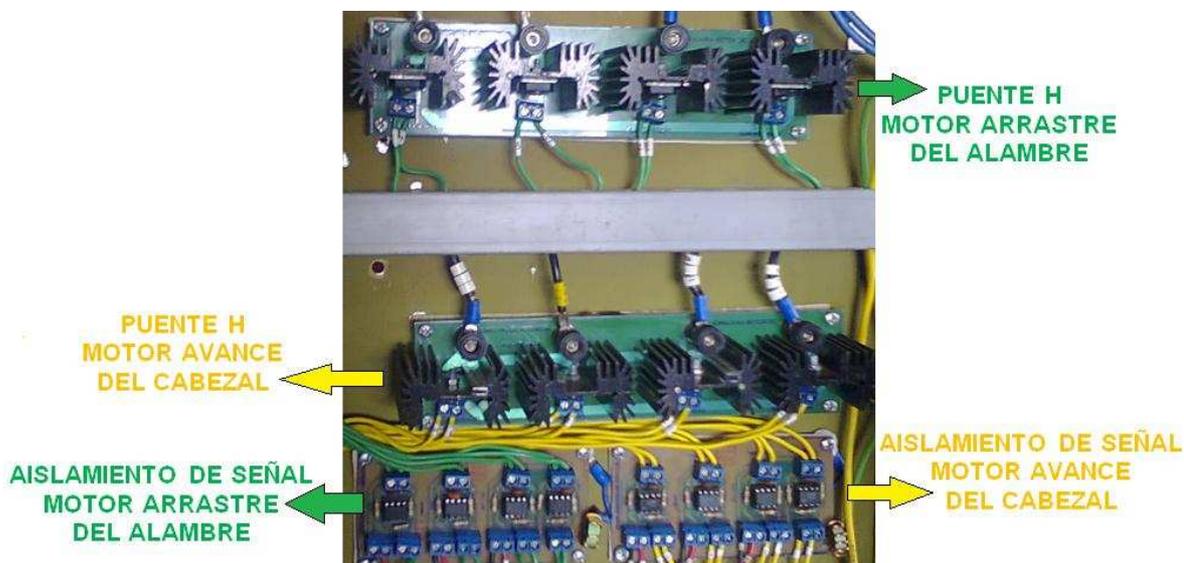


Figura 4.10.Placas de potencia y placas de aislamiento de señales para el control de los motores DC.

4.2.4 PRUEBAS DE SENSOR DE NIVEL

La dirección de la Metalmecánica San Bartolo decidió utilizar el sensor didáctico de ultrasonido EZ4, el mismo que debía enviar la información de nivel de fundente al microcontrolador esclavo encargado del proceso de suelda.

Este sensor funcionó adecuadamente en un ambiente menos hostil que el del galpón donde se halla instalada la soldadora, pero resultó ser sensible al polvo y no funcionó adecuadamente en superficies rugosas como la del fundente.



Figura 4.11.Sensor didáctico de ultrasonido EZ4. (Tomado de [29]).

Por lo tanto, se decidió utilizar un sensor ON/OFF, adaptando un fin de carrera convencional de punta flexible a la tolva donde se halla el fundente, este cuenta con dos contactos, un contacto NA y un contacto NC que pueden ser utilizados según la conveniencia.



Figura 4.12. Sensor de nivel ON/OFF instalado en la tolva de fundente.

Se utilizó el contacto NA del fin de carrera adaptado como sensor de nivel bajo, y se comprobó que el microcontrolador esclavo de suelda interpreta adecuadamente la señal en alto o en bajo proveniente del sensor.

4.2.5 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL COMPLETO

Antes de probar los circuitos de potencia, se comprobó el correcto funcionamiento de los circuitos de control. El sistema de control por módulos consta de tres placas donde están los microcontroladores, a los cuales llegan y salen las señales de los elementos de maniobra, indicadores como leds y LCD, sensor encoder y sensor de nivel.

La fuente convencional diseñada de 5 [V] para alimentar este sistema de control basada en un regulador de voltaje 7805, no trabajaba adecuadamente, lo que se evidenciaba en la iluminación del LCD y el mal funcionamiento de varios de los elementos. Es por ello que se adquirió una fuente más robusta y confiable de 5V

con capacidad de carga de 10A, tipo industrial que alimente a todo el sistema de control.



a.

b.

Figura 4.13. (a). Fuente de 5[V] basada en regulador 7805. (b). Fuente industrial de 5 [V] / 10 [A].

Es importante mencionar que en un principio se utilizó la fuente industrial de 5 [V] para activar los relés que permiten accionar la bobina de dosificación del fundente y el contactor de suelda, sin ninguna etapa de aislamiento. Sin embargo, se decidió luego aumentar la etapa de aislamiento entre el microcontrolador y los relés para evitar cualquier tipo de problema.

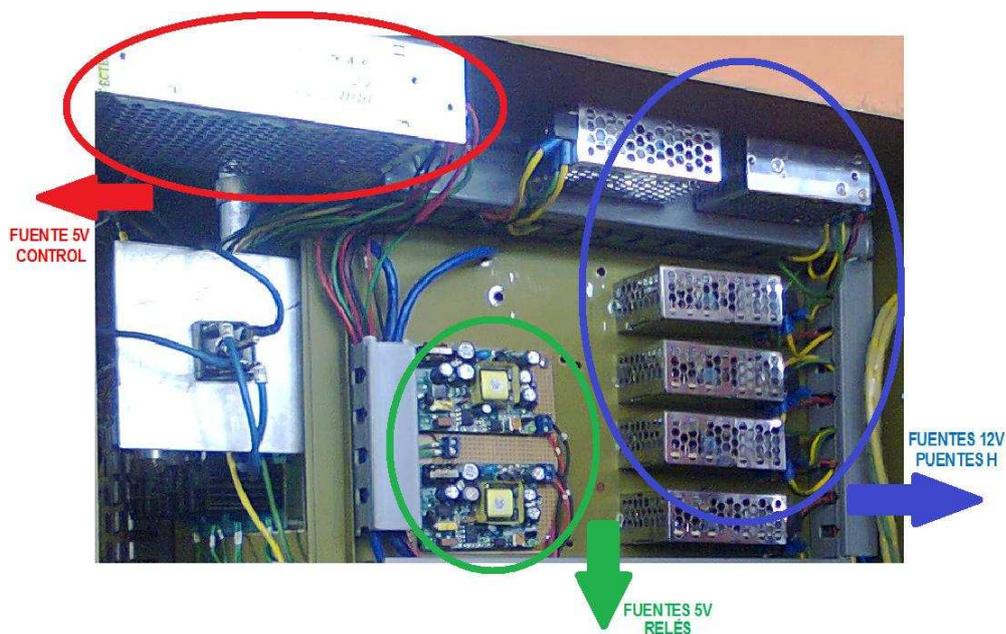


Figura 4.14. Fuentes de alimentación de 5 [V] y 12 [V].

Se aumentó una etapa de aislamiento utilizando un opto acoplador para cada relé, cada uno con fuente independiente, con el fin de evitar problemas de ruido debido al accionamiento del relé.



Figura 4.15. Sistema de control completo.

De esta manera se logró aislar la fuente que alimenta a los microcontroladores y la fuente de activación de los relés a la salida del opto acoplador 6N137. Debido a que la bobina de los relés utilizados es de 5 [V], no hubo problema al utilizar los opto acopladores mencionados.

Adicionalmente al manejo de motores, activación de indicadores y lectura de sensores, se probó el sistema incluyendo la bobina del dosificador de fundente, el sistema, con la etapa de aislamiento, funcionaron correctamente.



Figura 4.16. Bobina del dosificador de fundente.

4.2.6 PRUEBAS DE SUELDA

Hasta esta etapa el sistema de control con motores, lectura de sensores y comunicación entre microcontroladores funciona adecuadamente, sin problema alguno. Sin embargo, al agregar el último elemento al sistema, que es el transformador de suelda para hacer la prueba integral, se halló un problema muy grande, el mismo que se explica más adelante.

Para activar el transformador de suelda, el microcontrolador esclavo encargado del proceso de soldadura, envía una señal que pasa por una etapa de aislamiento para activar un relé de 5V – 220 Vac, el mismo que acciona la bobina del contactor de suelda. Para evitar problemas de control se intentó una prueba suprimiendo la etapa de activación del contactor a través del microcontrolador, accionando directamente al contactor de suelda en el momento indicado a través de un interruptor manual. Sin embargo, no se obtuvo ningún cambio en el comportamiento del sistema de control, este seguía reseteándose al momento de la activación del transformador de suelda.



Figura 4.17. Torre construida y circuito de control de transformador de suelda.

Utilizando un detector de campo electrostático FLUKE, se detectó que alrededor del circuito de potencia de suelda se genera un gran campo que afecta al sistema de control. Este campo fue detectado hasta a un metro de distancia desde las

fuentes generadoras, que para este caso son el transformador de alto voltaje color blanco y el transformador de corriente.

Es por ello que se decidió separar la parte de potencia de suelda de la caja de control. Se construyó una torre a 1 metro sobre la caja de control, en la cual se colocan todos los elementos de potencia de suelda.



Figura 4.18. Detector de campo electrostático. (Tomado de [30]).

Este instrumento detecta el campo electrostático producido por una corriente de tensión de CA sin necesidad de entrar en contacto con la fuente generadora. Una luz de color rojo en la punta y un pitido indican la presencia de tensión.

Se realizó también una prueba en la cual se suprime varios de los elementos del circuito de control de potencia de suelda, debido a que se deseaba probar que influencia tienen estos al momento de activar el transformador de suelda, comprobándose que ninguno de los elementos que forman parte del circuito de control de fuerza de la suelda pueden ser suprimidos, ya que estos forman un amortiguador de transitorios, debido a que la suelda es un cortocircuito franco de la fuente.

En las pruebas que se llevaron a cabo, se distinguió que el problema era de las fuentes debido a que cuando se inicia el proceso de suelda, el transitorio, que es casi como un cortocircuito franco altera la fuente de alimentación de la Metalmecánica San Bartolo, a tal punto que el voltaje de 120 Vac cae a 12 Vac afectando al sistema integral de alimentación del control provocando un reseteo de los microcontroladores y a las fuentes de los motores.

Para evitar que se resetee el sistema de control, se utilizó un regulador de voltaje para tratar de corregir la caída de voltaje en el transitorio. Al hacer la prueba el regulador de voltaje no logra suplir el voltaje necesario ya que se comprobó que la caída no es solo en el transitorio sino continuo, mientras dure el proceso de suelda.



Figura 4.19.Regulador de voltaje utilizado en las pruebas de soldadura.

Debido a que el regulador de voltaje no es suficiente para evitar la caída de voltaje, se buscó la forma de probar el sistema de control con una fuente independiente. Para ello se utilizó un inversor de voltaje que utiliza como entrada una batería de carro de 12 [V] y que a la salida provee 120 Vac necesarios para alimentar a las 9 fuentes de voltaje conmutadas.

Sin embargo, al conectar la carga al inversor, este no proveía 120 Vac, sino aproximadamente 80 Vac, por lo que las fuentes conmutadas empezaron a presentar una oscilación en el núcleo del transformador de alta frecuencia. La salida DC que se espera de las fuentes conmutadas no era la adecuada para

alimentar al sistema de control, por lo tanto, se descartó el uso del inversor para las pruebas de soldadura.



Figura 4.20. Inversor de voltaje y batería de 12 [V] utilizados en las pruebas de soldadura.

Se intentó también realizar una prueba a la mínima corriente que provee el transformador de suelda que es 160 A; sin embargo, se consiguieron los mismos resultados. Finalmente, se llegó a la conclusión que todos estos problemas con la caída de voltaje se deben a que la Metalmecánica San Bartolo no posee una cámara de transformación, y la acometida principal la hacen a través de un transformador de la EEQ.

Se comprobó que el sistema de automatización funciona adecuadamente; puesto que con el sistema diseñado se tiene control sobre la velocidad de avance del cabezal, velocidad de aportación de material para la suelda, colocación del fundente, obtención de tramos de suelda y no suelda, que es el objetivo de este proyecto de titulación.

4.3 RESULTADOS

En la Tabla 14 se presenta una comprobación de las tareas del sistema, que son:

Elemento	Descripción de Tarea	Método de comprobación	SI	NO
LED IZQUIERDO	Se enciende para indicar el movimiento ocurrente del cabezal	Observación	X	
LED DERECHO	Se enciende para indicar el movimiento ocurrente del cabezal	Observación	X	
LED WORK	Se enciende para indicar que el sistema se halla en el TRAMO DE SUELDA	Observación	X	
FINES DE CARRERA	Permiten el paro instantáneo del sistema al ser accionados	Accionamiento y verificación del cambio de estado lógico en el controlador	X	
TECLADO	Permiten setear los parámetros de suelda y llevar a cabo la verificación	Accionamiento y verificación del cambio de estado lógico en el controlador	X	
PARO DE EMERGENCIA	Provoca un paro integral del sistema al ser accionado	Accionamiento y verificación del cambio de estado lógico en el controlador	X	
SENSOR DE NIVEL	Permite detectar oportunamente el nivel bajo de fundente en la tolva	Accionamiento y verificación del cambio de estado lógico en el controlador	X	
SENSOR ENCODER	Permite obtener señales digitales adecuadas en respuesta al desplazamiento	Cambio de estado lógico a la salida del sensor de acuerdo al número de slots de la rueda del encoder	X	
	Permite trabajar en tramos de suelda y NO suelda	Conteo de pulsos a través del contador del microcontrolador	X	
VOLTÍMETRO	Permite la lectura del voltaje de arco	Medición con voltímetro	X	
AMPERÍMETRO	Permite la lectura de la	No es posible comprobar		X

	corriente de soldadura al momento de la suelda			
INTERRUPTOR CORRIENTE	Permite modificar el amperaje de suelda desde el tablero de control	Observación del movimiento del núcleo del transformador	X	
BOBINA DOSIFICADORA	Aporta el fundente cuando el sistema se halla en el TRAMO DE SUELDA	Accionamiento del relé que alimenta a la bobina dosificadora	X	
MOTOR DE AVANCE	Permite realizar un control sobre la velocidad de avance del cabezal	Medición del voltaje de armadura con respecto a la variación del PWM	X	
MOTOR DE ARRASTRE	Permite realizar un control sobre la velocidad de aportación de material para la suelda	Medición del voltaje de armadura con respecto a la variación análoga de voltaje de alimentación	X	
CIRCUITO DE POTENCIA DE SUELDA	Permite la activación del transformador de suelda.	No es posible comprobar		X

Tabla 14. Comprobación de tareas del sistema.

Se comprobó que el sistema de automatización cumple con el control de la velocidad de avance del cabezal, velocidad de aportación del material para la suelda, colocación del fundente y obtención de tramos de suelda y no suelda. Cada una de estas tareas se ven claramente expuestas en el LCD y en los indicadores que complementan la interfaz con el operador.

Como se explicó anteriormente, no es posible realizar las pruebas de soldadura ya que la acometida de la Metalmecánica San Bartolo no brinda las características de voltaje y corriente apropiados para el funcionamiento de la soldadora, es por ello que no se pudo comprobar el funcionamiento del circuito de potencia de suelda y del amperímetro de corriente de suelda.

4.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MOTOR DE AVANCE DEL CABEZAL

Se realizaron varias pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema diseñado para el control de los motores, se tomaron datos de voltajes para cada segmento del PWM, para ello se utilizó un voltímetro digital.

El control de velocidad y de inversión de giro se realiza en la armadura, donde: $V_{fuente} = 26[V]$. Este valor permite estimar un voltaje real o ideal, con el fin de obtener un error del valor de voltaje medido.

PWM [%]	Voltaje armadura (V_a - [V])		Error (V_a)
	MEDIDO	REAL	%e (V_a)
0%	0	0	0,00%
5%	0,1	1,3	-92,31%
10%	0,7	2,6	-73,08%
15%	1,5	3,9	-61,54%
20%	2,6	5,2	-50,00%
25%	3,1	6,5	-52,31%
30%	4,9	7,8	-37,18%
35%	5,7	9,1	-37,36%
40%	7,3	10,4	-29,81%
45%	8,2	11,7	-29,91%
50%	10,7	13	-17,69%
55%	12,2	14,3	-14,69%
60%	13,8	15,6	-11,54%
65%	15,2	16,9	-10,06%
70%	16,3	18,2	-10,44%
75%	17,2	19,5	-11,79%
80%	18,2	20,8	-12,50%
85%	19,2	22,1	-13,12%
90%	20,5	23,4	-12,39%
95%	22,5	24,7	-8,91%
100%	25	26	-3,85%

Tabla 15. Medidas de voltaje de armadura, corriente de armadura y cálculo de error para el motor de avance.

Con el 100% del PWM se nota la caída de un voltio en la carga, esto se debe a que los elementos de rectificación y de potencia no son ideales. A medida que aumenta el PWM se hace más notoria esta caída y debido a ello el error aumenta a medida que el ancho de pulso del PWM disminuye.

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar una gráfica de voltaje de armadura versus porcentaje del PWM para determinar la relación entre estas dos magnitudes.

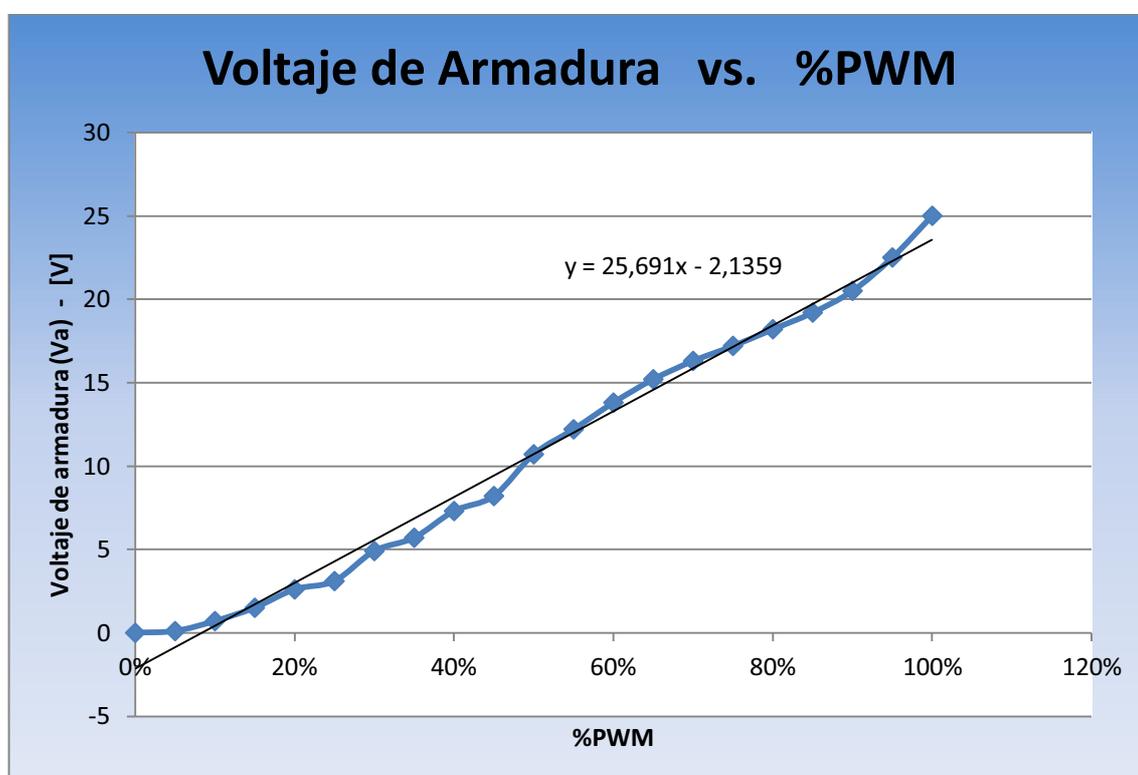


Figura 4.21. Voltaje de Armadura vs. %PWM para el motor de avance.

La curva de voltaje de armadura versus porcentaje del PWM indica una variación lineal, que se ve reflejada en la línea de tendencia $y = 25,691x - 2,1359$. Por lo tanto, se concluye que la variación del PWM con respecto al voltaje es adecuado para la aplicación.

El voltaje de alimentación aplicado al campo fue de: $V_{campo} = 63[V]$.

4.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MOTOR DE ARRASTRE DEL ALAMBRE

El motor de arrastre del alambre es alimentado por un transformador que no abastece la potencia necesaria, es por eso que el voltaje de la fuente de alimentación cae al conectar el motor, para así poder compensar la corriente que se requiere.

Cabe recordar que la variación del voltaje de alimentación a la armadura del motor de arrastre se lleva a cabo a través del variador de tensión. Teniendo en cuenta los puntos expuestos, se tomaron los valores de voltajes en la fuente sin conexión del motor y los valores de voltajes en los terminales de la armadura del motor, todo esto en el rango permisible por el variador de tensión. Para la medición de los voltajes de fuente y armadura se utilizó un voltímetro digital.

El voltaje de alimentación aplicado al campo fue de: $V_{campo} = 62,2[V]$.

% Vfuelle	Vfuelle	Varmadura - Va
[%]	[V]	[V]
0%	45	0
10%	45,5	0,6
20%	46,1	2,9
30%	46,5	5,9
40%	47,3	8,5
50%	49,2	11,7
60%	50,7	14,8
70%	54,1	17,8
80%	58,4	20,6
90%	59,5	22,5
100%	62,1	26,4

Tabla 16. Medidas del Voltaje de la fuente y del Voltaje de armadura para el motor de arrastre del alambre.

En la Tabla 16 se observa que el voltaje de la fuente sin conexión del motor es mucho mayor al voltaje de la armadura, esto se debe a que es necesario un voltaje inicial para proveer el torque suficiente para mover la carga.

Con los datos obtenidos se realizó la gráfica de voltaje de la fuente sin conexión del motor y voltaje de la armadura versus porcentaje de variación del voltaje de alimentación a través del variador de tensión analógico.

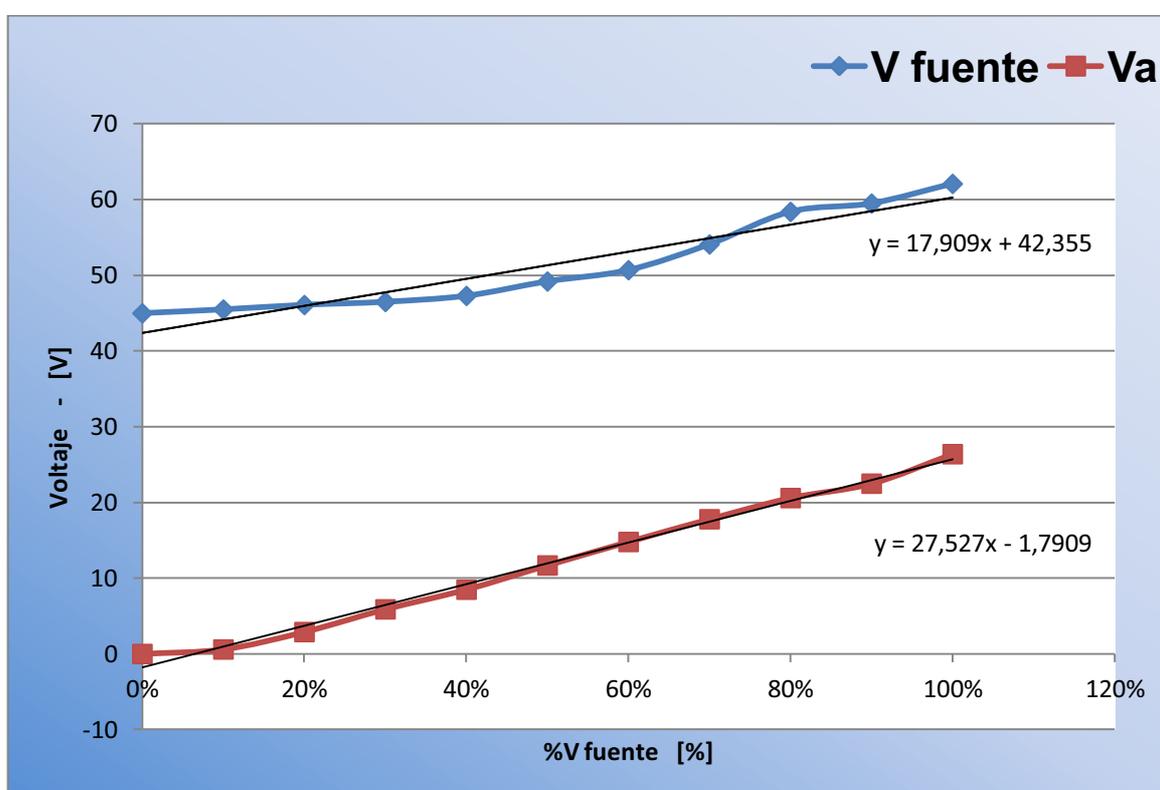


Figura 4.22. Voltaje de la fuente sin conexión del motor y voltaje de armadura vs. %del voltaje de la fuente

4.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS TRAMOS DE SUELDA Y NO SUELDA ESTABLECIDOS

Realizando la medición de los tramos de suelda y NO suelda a una velocidad del 70[%] del PWM, se obtuvo los siguientes resultados:

Tramos de suelda y NO suelda		
Seteado[cm]	Medido[cm]	%error
5	4,9	-2,00%
10	9,9	-1,00%
20	19,9	-0,50%

Tabla 17. Cálculo del error de los tramos de suelda establecidos.

Se observa una mínima variación del tramo de suelda seteado con respecto al medido, la misma que puede considerarse insignificante en la aplicación de suelda. El error obtenido se debe a la inercia que presenta la carga.

4.4 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

El análisis de costos asociados al desarrollo del prototipo se lo realiza en base a tres puntos fundamentales:

- Costo de materiales.
- Costo de construcción de varias piezas elaboradas en la MSB.
- Costo de ingeniería.

4.4.1 COSTOS DE MATERIALES

En la Tabla 18 se detallan los costos por compra de los elementos necesarios para la implementación del sistema de control electrónico y los costos de los materiales utilizados para la elaboración de varias piezas mecánicas adicionales.

Los costos presentados comprenden: los valores de compra del elemento, aranceles de importación del mismo y transporte, a excepción de los elementos adquiridos localmente, que únicamente reflejan su precio de compra.

Descripción	Costo \$
Caja térmica y Breaker de 20 [A].	15,15
Amperímetro, voltímetro y terminales.	229,8

Elementos electrónicos.	198,05
Placas de circuitos impresos y sensor ultrasónico.	217,05
Fuentes de 5V, placas de circuitos impresos y cable 22AWG.	184,19
Fuentes de 12V y elementos electrónicos.	208,12
Elementos electrónicos de potencia IGBTs.	52
Transformador de aislamiento.	500
Imprevistos	25
Materiales para elaboración de elementos mecánicos.	500
TOTAL:	2129,36

Tabla 18. Costos de materiales.

En “Imprevistos” se incluyen los costos de elementos adicionales para la implementación del sistema de control tales como: borneras, fusibles, canaletas, tornillos, entre otros.

En total el monto por materiales asciende a 2129,36 dólares.

4.4.2 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE VARIAS PIEZAS ELABORADAS EN LA MSB

En la Metalmecánica San Bartolo se elaboraron las siguientes piezas:

- Base para colocar el transformador de aislamiento.
- Caja y torre para colocar el circuito de control del transformador de solda.
- Topes de fines de carrera.
- Tapa metálica correspondiente al panel frontal de control.
- Boquilla a través de la cual pasa el alambre de solda y el fundente.
- Adaptación del sensor de nivel a la tolva de fundente y adaptación del sensor encoder al cabezal.

Este costo asciende aproximadamente al monto de 500 dólares.

4.4.3 COSTO DE INGENIERÍA

El costo relacionado a la investigación y desarrollo del proyecto completo asciende a 3500 dólares.

En resumen se tiene:

Costos de materiales	2129,36
Costos de construcción	500
Costos de ingeniería	3500
TOTAL:	\$ 6129,36

Tabla 19. Resumen de costos aproximados totales.

En el país no existen muchos oferentes de trabajos que se pueden realizar con la soldadora en línea recta; en especial, el trabajo de rellenar las zapatas de las cadenas de tracción. Es por ello que si se tuviera una instalación adecuada en la Metalmecánica San Bartolo, se podría generar una fuente de ingreso muy grande proveyendo este servicio.

Después de haber realizado las pruebas del sistema implementado y el análisis de costos, se puede concluir que se cumplieron con los objetivos del sistema de control, aunque, por causa de la alimentación de la Metalmecánica San Bartolo, no se pudo probar todo el sistema.

Los costos demostraron ser los adecuados.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos en las pruebas realizadas es posible llegar a las siguientes conclusiones:

5.1 CONCLUSIONES

Diseñar e implementar un sistema de control basado en módulos para automatizar la soldadora industrial fue lo más adecuado, ya que de esta forma se facilitan las tareas de mantenimiento del sistema, debido a que la programación, diseño e implementación de las placas es más sencilla que en el caso de tener todo en un solo microcontrolador y en una sola tarjeta.

De las pruebas realizadas se puede concluir que un sistema de control basado en módulos debe responder dentro de un intervalo restringido de tiempo, a eventos externos mediante la ejecución de la tarea asociada con cada evento. Por ejemplo, en el programa de verificación el sistema está programado para esperar un tiempo hasta que el operador de la máquina presione un pulsador o responda otro microcontrolador esclavo al microcontrolador master; o, en el caso del proceso de suelda, en el que la recepción de la señal del sensor de nivel es primordial para la ejecución de la suelda; si el sistema no cumple con sus restricciones de tiempo, el sistema fallará. Cualquier fallo en el sincronismo de los microcontroladores podría tener consecuencias fatales.

Con el sistema implementado para el control de los motores se tiene: un control digital en el avance del cabezal, lo que permite lograr mayor estabilidad y control de velocidades de avance en todo el rango del PWM; además de un control analógico sobre la aportación del material, permite que el operador regule el

ancho del cordón de suelda. De esta forma se optimiza el proceso de soldadura ya que se puede maniobrar tanto la velocidad de avance como la de arrastre, según el requerimiento del trabajo, por lo tanto se puede concluir que estos factores permiten aumentar el número de piezas que pueden hacerse por día.

Las pruebas demostraron que trabajar con microcontroladores en un sistema industrial requiere de mayor protección, debido a que estos son más sensibles que elementos más robustos diseñados para trabajar en ambientes industriales. En un inicio se presentó la propuesta de realizar el proyecto en PLC, pero la dirección de la Metalmecánica San Bartolo decidió que se realice el proyecto en base a microcontroladores. Durante las pruebas se demostró la sensibilidad del sistema por lo que fue necesario adquirir elementos adicionales de protección y aislamiento al sistema que acrecentaron considerablemente los costos del proyecto.

De las pruebas funcionales del sistema se demostró que emplear un LCD y varios elementos indicadores es lo apropiado para el proyecto, debido a que colocar un computador u otro sistema en el galpón lo expondría a un ambiente agresivo. Además, se acrecentaría el costo del proyecto al tener que colocar una UPS o un regulador que proteja el sistema.

La decisión de mantener los componentes originales fue acertada, ya que la integración de los mismos al nuevo sistema diseñado permitió controlar adecuadamente los elementos y las variables del proceso de suelda por el método de arco sumergido.

De la experiencia adquirida durante la elaboración de este proyecto se pueden extraer las siguientes recomendaciones:

5.2 RECOMENDACIONES

Debido a que se está llevando a cabo comunicación entre el microcontrolador MASTER y los dos microcontroladores esclavos, es necesario que estén

trabajando a la misma frecuencia ya que es necesario que haya sincronismo entre los microcontroladores. Es por ello que se colocó un cristal externo de 8[MHz] para asegurar que la comunicación funcione adecuadamente.

En el caso del proyecto debido a la naturaleza de la suelda, se debe tener la precaución de aislar las tierras del circuito de control y la de la masa necesaria para formar el arco de suelda. Es preferible que no sea la misma, debido a que se podría provocar un retorno de corriente que afecte el sistema de control.

Es necesaria la instalación de una cámara de transformación que proporcione la potencia suficiente para el uso de la variedad de equipos instalados y cargas proyectadas para la Metalmecánica San Bartolo.

Una opción que se puede aplicar al proceso es la de polaridad variable; ya que según lo estudiado referente a la suelda por arco sumergido los cambios en el balance de polaridad positiva y negativa facilitan el cambio de penetración y el aporte de material sin cambiar los ajustes de corriente o voltaje.

Debido a que la caja donde se colocaron las placas de control fue reutilizada, tiene unos pequeños huecos debido a los elementos que estaban colocados antes, por lo tanto, se recomienda un mantenimiento periódico de la caja para evitar grandes acumulaciones de polvo difíciles de evitar debido a la ubicación de la máquina soldadora industrial.

Debido a que el control electrónico implementado es muy sensible a la estática, es necesario instalar una adecuada conexión a tierra, la cual debe ser realizada con mallas o electrodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Séférian D., Las Soldaduras, Ediciones URMO, 1965.
- [2] “SOLDADURA POR PROCESO DE ARCO SUMERGIDO”,
[www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)
- [3] “EFECTO JOULE”, http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Joule
- [4] Ramirez Ingrid B., “SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO”,
www.monografias.com/trabajos7/soel/soel.shtml
- [5] Lorca Maturana, “SOLDADURA POR ARCO MANUAL O ELÉCTRICO. FUNDAMENTOS”, Mailxmail – Cusos para compartir lo que sabe,
<http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos-25815-completo.pdf>
- [6] “PROCESS AND APPARATUS FOR THE PERFORMANCE OF ARC WELDING AND OVERLAYING, PREFERABLY SUBMERGED ARC”, Inventor: UgoCannata, Patent number: 3936654, Filing date: Apr 5, 1974, Issue date: Feb 3, 1976,
http://www.google.com/patents/about?id=M_YyAAAAEBAJ&dq=welding+ARCOS+ITALY
- [7] Walter Fernández, 2008, “VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE ARCO SUMERGIDO (SAW)”,
<http://retlawsaw.blogspot.com/2008/05/variables-de-operacion-para-el-proceso.html>
- [8] “SOLDADURAS”, <http://www.slideshare.net/NsBoy/soldaduras-presentation>
- [9] “SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO”,
http://www.slideshare.net/ptah_enki/sistemas-de-control-distribuidos

- [10] Nelson Sotomayor O., MsC., 2009, “Publicación de la materia Control con Microprocesadores”,
<http://ciecfie.epn.edu.ec/CControlC/materias/cmicos/CONTROL%20CON%20MICROPROCESADORES.pdf>
- [11] Datasheet ATMEGA164P,
http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/219592_DS.pdf
- [12] Datasheet ATMEGA168,
http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/219592_DS.pdf
- [13] Alfonso Romero Barcojo,
“ENCODERS”,<http://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F1807L-JP0SG2-J1J/encoder.pdf>
- [14] Eltra, Silge Electrónica S.A., “ENCODER INCREMENTAL”,
<http://bc.inter.edu/facultad/arincon/encoderIncrementales.pdf>
- [15] Raúl Cobo, “EL ABC DE LA AUTOMATIZACION, ENCODERS”,
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Encoders.pdf>
- [16] Datasheet ECG3100, <http://www.datasheetarchive.com/ECG3100-datasheet.html>
- [17] “LCD GRÁFICO”, <http://es.wikipedia.org/wiki/GLCD>
- [18] “PUENTE H”, [http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H_(electr%C3%B3nica))
- [19] Laszlo Balogh, “DESIGN AND APPLICATION GUIDE FOR HIGH SPEED MOSFET GATE DRIVE CIRCUITS”, <http://focus.ti.com/lit/ml/slup169/slup169.pdf>
- [20] Datasheet MOSFET IRF540,
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/IRF640.pdf>
- [21] Acuña Carlos, Paredes Edwin, Sotomayor Nelson, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL QUE PUEDA DESPLAZARSE DENTRO DE UN LABERINTO”,<http://ciecfie.epn.edu.ec/JIEE/historial/XX%20JIEE/31%20Dise%C3>

%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20robot%20m%C3%B3vil%2008-11-2006.pdf

[22] Transformador de Aislamiento

IS1800HG, <http://www.tripplite.com/shared/product-pages/en/IS1800HG.pdf>

[23] Datasheet REGULADOR DE VOLTAJE

7805, http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/390068_DS.pdf

[23] Datasheet OPTOACOPLADOR ÓPTICO RÁPIDO

6N135, <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/hp/HCPL-0530.pdf>

[24] "DISPLAYS DE CRISTAL LIQUIDO, MANUAL DE REFERENCIA DEL LCD", http://www.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristal_liquido

[25] "PANTALLA DE CRISTAL

LÍQUIDO" http://es.wikipedia.org/wiki/Pantalla_de_cristal_liquido

[26] Datasheet MOSFET IRF640,

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXtwts.pdf>

[27] Datasheet OPTOACOPLADOR ÓPTICO RÁPIDO

6N135, <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/hp/HCNW2611.pdf>

[28] Datasheet IGBT FGA180N331TD,

<http://www.fairchildsemi.com/ds/FG/FGA180N33ATD.pdf>

[29] Datasheet sensor de ultrasonido LV - MaxSonar - EZ4,

http://www.maxbotix.com/documents/MB1040_Datasheet.pdf

[30] Detector de campo electrostático,

<http://www.fluke.com/fluke/eces/products/Instrumentos-Electricos.htm>

[31] DIGIKEY, distribuidor de componentes electrónicos en Estados Unidos,

<http://search.digikey.com/scripts/DkSearch/dksus.dll?lang=en&site=US&Keywords=FGA180&x=0&y=0>

ANEXOS

ANEXO A: Circuito de control del motor de avance del cabezal.

ANEXO B: Circuito de potencia del motor de avance del cabezal.

ANEXO C: Circuito de control de arrastre del alambre y de proceso de soldadura.

ANEXO D: Circuito de potencia del motor de arrastre del alambre.

ANEXO E: Circuito de control de proceso de soldadura y activación de sensor óptico.

ANEXO F: Circuito dosificador de fundente.

ANEXO G: Circuitos de fuerza de soldadura y diagrama de autotransformadores.

ANEXO H: Circuito de fuerza de soldadura.