

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“Contribución al Estudio de la Selección de Parámetros
de la Estación de Soldadura Robotizada Fanuc 100 iC”**

POR

Ing. Yasmín Guerrero Ávila

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Miguel Ángel Llama Leal

ISSN: 0188-9060



RIITEC: (16)-TMCIE-2017

Torreón, Coahuila, México
Noviembre 2017

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de La Laguna

Torreón, Coah., **15/Noviembre/2017**

Dependencia: DEPI/CPCIE

Oficio: DEPI/CPCIE/142/2017

Asunto: Autorización de impresión
de tesis.

C. Yasmín Guerrero Ávila
CANDIDATA AL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.
PRESENTE

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

**"Contribución al Estudio de la Selección de Parámetros de la Estación de Soldadura
Robotizada Fanuc 100 iC"**

Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (16)-TMCIE-2017**, para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación
del Instituto Tecnológico de la Laguna

ALT/JHJ





Torreón, Coah., 25/Octubre/2017

DR. ARMANDO LONGORIA DE LA TORRE
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Por medio de la presente, hacemos de su conocimiento que después de haber sometido a revisión el trabajo de tesis titulado:

"Contribución al Estudio de la Selección de Parámetros de la Estación de Soldadura Robotizada Fanuc 100 iC"

Desarrollado por el **C. Yasmín Guerrero Ávila**, con número de control **M1513046** y habiendo cumplido con todas las correcciones que se le indicaron, estamos de acuerdo que se le conceda la autorización de la fecha de examen de grado para que proceda a la impresión de la misma.

ATENTAMENTE

EDUCACIÓN TECNOLÓGICA FUENTE DE INNOVACIÓN

Dr. Miguel A. Llama Leal
Asesor/Director de Tesis

Dr. Francisco Jurado Zamarripa

Comité Tutorial

Dr. J. Alfonso Pamanes García
Comité Tutorial

Dr. Víctor A. Santibañez Dávila
Comité Tutorial



Resumen

En este trabajo de tesis se presenta un estudio experimental del efecto que los parámetros de soldadura por arco con gas de protección (GMAW) tienen sobre el depósito de micro-alambre de acero en la unión de dos placas de acero y su comportamiento frente a la aplicación de fuerzas tensoras. Se estudió el efecto de las variables de tensión, corriente y velocidad de soldadura. Para esto se utilizaron dos trayectorias, una horizontal y otra vertical, y se incluyó el uso de oscilaciones en la trayectoria de soldadura. En base a pruebas de destrucción, se obtuvo una base sobre el efecto de los parámetros de influencia en la soldadura robotizada que servirá para encontrar combinaciones de valores con mejores acabados, depósito y penetración en la unión de piezas, y mayor resistencia a la ruptura.

*Dedicado a
mi Papá Arturo,
Don Arturo Ávila Martínez*

Agradecimientos

A mi madre, Sra. Angélica Ávila Sandoval, a mi padre, Sr. Nicolás Guerrero Sánchez, y a mi hermana, Srta. Angélica Adriana Guerrero Ávila. por su cariño, apoyo y paciencia en cada etapa de mi vida, por alentarme a no darme por vencida, dar lo mejor de mí y seguir creyendo en mi persona.

A mi asesor de tesis, Dr. Miguel Ángel Llana Leal, por ayudarme en el desarrollo de este trabajo, por su dedicación y por el tiempo invertido a mi trabajo.

A mis abuelos que son motor para superarme y a mis amigos por estar presentes durante todo este tiempo, por su ayuda y por las palabras de aliento.

Gracias al Tecnológico Nacional de México por hacer posible este estudio de posgrado y a CONACYT por su apoyo por medio de la beca otorgada.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Soldadura por arco eléctrico	2
1.2. Soldadura robotizada	3
1.3. Objetivo de la tesis	5
1.4. Estructura de la tesis	5
2. Robot Fanuc 100 ic	7
2.1. Características	8
2.2. Controlador R30i B	10
2.2.1. Panel del operador	10
2.2.2. Teach Pendant/iPendant	12
2.3. Programación	17
2.3.1. Creación de un programa	25
2.3.2. Escritura y modificación de un programa	28
2.3.3. Movimiento del robot	34
2.3.4. Coordenadas del robot	37
3. Equipo de soldadura robotizada Lincoln Electric Power Wave i400	47
3.1. Alimentador	47
3.2. Máquina de soldar	48
3.2.1. Características	49
3.3. Antorcha Abicor Binzel A500	50
4. Parámetros de soldadura robotizada	53
4.1. Software ArcTool	56
4.1.1. Características del ArcTool	56
4.1.2. Instrucciones de soldadura	57

4.1.3. Instrucciones de forma de onda	61
5. Roboguide	65
6. Gestión de la selección de parámetros de soldadura	75
6.1. Programación de trayectoria	76
6.2. Programación de parámetros	79
6.3. Parámetros a gestionar	82
6.4. Experimentación	83
7. Pruebas y resultados	85
7.1. Inspección visual de las probetas	89
8. Conclusiones	97
8.1. Trabajo futuro	98
A. Máquina de ensayo por tensión universal	99
Referencias	107

Índice de figuras

1.1. Estación de soldadura robotizada ITL	2
1.2. Sistema de Soldadura GMAW para Automatización Robótica ITL	4
2.1. FANUC ARC Mate 100iC	8
2.2. Vista isométrica del robot Fanuc ARC Mate 100iC	9
2.3. Vista externa del controlador R-30iB	10
2.4. Panel del operador estándar R-30iB	11
2.5. Interruptor de selección de modo	11
2.6. <i>Teach Pendant</i> (iPendant)	13
2.7. Teclado del <i>Teach Pendant</i>	14
2.8. Pantalla principal del <i>Teach Pendant</i>	17
2.9. Menús favoritos	18
2.10. Pantalla del "Estado de soldadura (STATUS Weld)"	18
2.11. Pantalla del "Procedimiento de soldadura (DATA Weld Procedure)"	18
2.12. Pantalla del "Equipo de soldadura (SETUP Weld Equip)"	19
2.13. Pantalla "Soldadura por arco (TEST CYCLE Arc)"	19
2.14. Pantalla buscador	20
2.15. Menús rápidos	20
2.16. Pantalla menú <i>UTILITIES</i>	20
2.17. Pantalla ciclo de prueba	21
2.18. Pantalla Alarmas activas	21
2.19. Pantalla menú I/O	22
2.20. Menú <i>FILE</i>	22
2.21. Pantalla <i>SELECT</i>	23
2.22. Pantalla de los "Procedimientos de soldadura (DATA Weld Procedure)"	23
2.23. Pantalla "Gráfica del estado de la soldadura por arco (STATUS Arc Chart)"	24

2.24. Pantalla de visualización del <i>Teach Pendant</i>	24
2.25. Instrucciones de movimiento	26
2.26. Información de posición	26
2.27. Detalles de posición	27
2.28. Pantalla para la creación de un programa	27
2.29. Pantalla "Nombre de un programa"	28
2.30. Escribir y modificar un programa	28
2.31. Pantalla "Instrucciones de un programa"	29
2.32. Lista de instrucciones de movimiento por defecto	29
2.33. Instrucciones de aplicación: a) Inicio de arco, b) Punto de soldadura y c) Final de arco	30
2.34. Ejemplo de programa de movimiento	33
2.35. Ejemplo de programa de soldadura	34
2.36. Movimiento articular	34
2.37. Movimiento lineal	35
2.38. Movimiento circular	35
2.39. Movimiento arco circular tipo A	36
2.40. Terminación fina (FINE)	36
2.41. Terminación continua (CNT)	37
2.42. Coordenadas <i>Joint</i>	38
2.43. Coordenadas XYZ	40
2.44. Coordenadas <i>TOOL</i>	41
2.45. Pantalla <i>Frames</i>	42
2.46. Puntos de acercamiento en método de los tres puntos	43
2.47. Puntero para Método de los seis puntos	46
3.1. Alimentador AutoDrive 4R100	48
3.2. Power Wave i400	49
3.3. Antorcha ABIROB A500	50
4.1. Secuencia de soldadura MIG.	56
4.2. Pantalla Procedimiento de soldadura 1	58
4.3. Pantalla de detalles de horario	59
4.4. Pantalla de horarios en procedimiento	60
4.5. Onda <i>Sine</i> (Seno)	62
4.6. Onda <i>Figure 8</i> (Figura 8)	62

4.7. Onda Circle (Círculo)	63
4.8. Onda figura L	63
5.1. Pantalla de inicio del software ROGUIDE WeldPRO	66
5.2. Ayudante para la creación de un proyecto en ROBOGUIDE WeldPRO	67
5.3. Pantalla de proyecto actual	67
5.4. Librería de antorchas en ROBOGUIDE WeldPRO	68
5.5. Pantalla para editar ubicación y características de la antorcha	68
5.6. Librería de accesorios en ROBOGUIDE WeldPRO	69
5.7. Área de trabajo de la estación de trabajo	69
5.8. Teachpendant virtual en ROBOGUIDE WeldPRO	70
5.9. Guardado de programas del <i>Teach Pendant</i> virtual	70
5.10. Pantalla para cargar programas.	71
5.11. Pantalla para cargar programas en <i>Teach Pendant</i> virtual.	72
5.12. Pantalla <i>Guardar como</i>	73
6.1. Vista general de la programación de trayectoria y parámetros.	75
6.2. Programa para soldadura horizontal.	76
6.3. Trayectoria de soldadura horizontal	77
6.4. Programa para soldadura vertical.	78
6.5. Trayectoria vertical de soldadura	78
6.6. Pantalla Procedimiento 2: <i>TESISYASMIN01</i>	79
6.7. Modo de soldadura en Procedimiento 2: <i>TESISYASMIN01</i>	80
6.8. Horarios en Procedimiento 2: <i>TESISYASMIN01</i>	80
6.9. Pantalla detallada del horario 1 en Procedimiento 2: <i>TESISYASMIN01</i>	81
6.10. Horario de la forma de onda.	82
6.11. Parámetros de soldadura MIG.	83
6.12. a) Vista superior de la placa de acero; b) Vista lateral de la placa	84
7.1. Unión hecha por los expertos.	85
7.2. Pruebas 00 y 01	90
7.3. Pruebas 02 y 03	90
7.4. Pruebas 04 y 05	90
7.5. Pruebas 06 y 07	91
7.6. Pruebas 08 y 09	91

7.7. Pruebas 10 y 11	91
7.8. Pruebas 12 y 13	91
7.9. Prueba 14	92
7.10. Prueba 15	92
7.11. Pruebas 16 y 17	92
7.12. Pruebas 18 y 19	93
7.13. Pruebas 20 y 21	93
7.14. Pruebas 22 y 23	93
7.15. Pruebas 24 y 25	93
7.16. Pruebas 26 y 27	94
7.17. Pruebas 28 y 29	94
7.18. Pruebas 30 y 31	94
7.19. Pruebas 32 y 33	94
7.20. Pruebas 34 y 35	95
7.21. Probetas después de la prueba destructiva.	95
A.1. Máquina de ensayo universal GILDABINI	100
A.2. Prueba de tensión	101
A.3. Vista isométrica de la máquina de ensayos universal, folio n° 16—dibujo n° 1006007/A	102
A.4. Vista isométrica de la máquina de ensayos universal, folio n° 15—dibujo n° 517501/B	103

Índice de tablas

4.1. Elementos del horario de soldadura.	59
6.1. Parámetros de soldadura utilizados	83
7.1. Condiciones de soldadura trayectoria horizontal.	86
7.2. Condiciones de soldadura trayectoria horizontal con oscilación	87
7.3. Condiciones de soldadura trayectoria vertical con oscilación.	88
7.4. Valores leídos y tensión aplicada.	88

Index

1	Introduction
2	Chapter 1
3	Chapter 2
4	Chapter 3
5	Chapter 4
6	Chapter 5
7	Chapter 6
8	Chapter 7
9	Chapter 8
10	Chapter 9
11	Chapter 10
12	Chapter 11
13	Chapter 12
14	Chapter 13
15	Chapter 14
16	Chapter 15
17	Chapter 16
18	Chapter 17
19	Chapter 18
20	Chapter 19
21	Chapter 20
22	Chapter 21
23	Chapter 22
24	Chapter 23
25	Chapter 24
26	Chapter 25
27	Chapter 26
28	Chapter 27
29	Chapter 28
30	Chapter 29
31	Chapter 30
32	Chapter 31
33	Chapter 32
34	Chapter 33
35	Chapter 34
36	Chapter 35
37	Chapter 36
38	Chapter 37
39	Chapter 38
40	Chapter 39
41	Chapter 40
42	Chapter 41
43	Chapter 42
44	Chapter 43
45	Chapter 44
46	Chapter 45
47	Chapter 46
48	Chapter 47
49	Chapter 48
50	Chapter 49
51	Chapter 50
52	Chapter 51
53	Chapter 52
54	Chapter 53
55	Chapter 54
56	Chapter 55
57	Chapter 56
58	Chapter 57
59	Chapter 58
60	Chapter 59
61	Chapter 60
62	Chapter 61
63	Chapter 62
64	Chapter 63
65	Chapter 64
66	Chapter 65
67	Chapter 66
68	Chapter 67
69	Chapter 68
70	Chapter 69
71	Chapter 70
72	Chapter 71
73	Chapter 72
74	Chapter 73
75	Chapter 74
76	Chapter 75
77	Chapter 76
78	Chapter 77
79	Chapter 78
80	Chapter 79
81	Chapter 80
82	Chapter 81
83	Chapter 82
84	Chapter 83
85	Chapter 84
86	Chapter 85
87	Chapter 86
88	Chapter 87
89	Chapter 88
90	Chapter 89
91	Chapter 90
92	Chapter 91
93	Chapter 92
94	Chapter 93
95	Chapter 94
96	Chapter 95
97	Chapter 96
98	Chapter 97
99	Chapter 98
100	Chapter 99
101	Chapter 100

Capítulo 1

Introducción

La soldadura por arco robotizada es un proceso implementado en la industria a partir del rápido desarrollo de los controles de los brazos robóticos. Sin embargo, las expectativas de la calidad de la soldadura se ven a menudo disminuidas por la complejidad que conlleva este proceso. Para resolver este problema, los ingenieros a cargo del desarrollo de las máquinas de soldadura analizan la influencia de todos los parámetros que intervienen y pueden afectar a la calidad de una unión, estableciendo valores validados por pruebas físicas tanto en la unión como en la estación de soldadura que la realiza. De esta forma se pueden corregir las desviaciones que ocurren durante el proceso de soldadura robotizada, de ser posible en tiempo real.

Se han realizado trabajos de investigación sobre la influencia de todos los parámetros que pueden afectar a la calidad de la unión soldada; estos trabajos son estudios teóricos y aplicados como en [Ghazvinloo, Honarbakhsh-Raouf y Shadfar, 2010; Ibrahim, Mohamat, Amir y Ghalib, 2012; Karadeniz, Ozsarac y Yildiz, 2007]. Con éstos se pretende determinar su repercusión en las características finales del cordón de soldadura. Esto se hace observando los efectos de variaciones en los parámetros antes señalados. Para esto es necesario tener conocimiento de los aspectos metalúrgicos y físicos de la soldadura, que es el punto de referencia para el equipo que lleva a cabo el estudio.

Se han realizado estudios teóricos y aplicados de todo tipo, con los que se pretende determinar los aspectos críticos del proceso de soldadura y su repercusión en la metalurgia y características

finales del cordón. Esto se puede hacer observando a posteriori los efectos de variaciones en las variables analizadas, o durante la propia ejecución del proceso de soldadura robotizada, siguiendo unas pautas preestablecidas. Lo anterior permite aportar una visión integral de la influencia de parámetros seleccionados en la calidad de la unión soldada con procesos de soldadura por arco. [Romaní Labanda, 2005]



Figura 1.1: Estación de soldadura robotizada I.T.L.

1.1. Soldadura por arco eléctrico

La soldadura es una unión continua de las distintas partes, con o sin calentamiento, aplicación de presión o aporte de material. Aunque el concepto básico del proceso de soldadura con micro-alambre y protección de gas (MIG/Metal Inert Gas, MAG/Metal Active Gas o GMAW/Gas Metal Arc Welding) surge en los años 20 del siglo pasado, no llega a estar disponible comercialmente sino hasta 1948 [Romaní Labanda, 2005]. Es el proceso que incluye calentamiento, fusión y solidificación de metales padres y un material de relleno (electrodo de alambre) en una zona de fusión restringida por una fuente de calor transitorio para formar una unión entre los metales padres [Ghazvinloo, Honarbakhsh-Raouf y Shadfar, 2010]. En los años 1880 y 1890 se desarrollaron muchas investigaciones sobre el arco eléctrico como fuente de calor para soldadura. Una de las primeras en tener éxito fue la de N. V. Benardos quien patentó la primera soldadora de arco en 1885. El proceso de Benardos se hizo muy popular en Europa, lo que probablemente fue la primera multiestación de soldadura. Los procesos de soldadura por arco eléctrico comenzaron

a desarrollarse industrialmente en 1912 con el electrodo revestido de Strohmenger, pero no fue hasta la Segunda Guerra Mundial cuando se utilizó de forma generalizada. Es precisamente a finales de los años treinta cuando Russel Meredith patenta y desarrolla el proceso de soldadura con electrodo de tungsteno y gas inerte (GTAW o TIG) para unir aleaciones de metales muy reactivos y ligeros (aluminio y magnesio) empleados en aviación.

El proceso GMAW o MIG/MAG se utilizó inicialmente para soldar aluminio, empleando para ellos gas inerte de protección, con elevadas densidades de corriente. Posteriores desarrollos redujeron éstas introdujeron la corriente pulsada, y extendieron el gas de protección a mezclas reactivas, como las de CO₂ [American Welding Society, 1987; American Welding Society, 1972].

La soldadura de arco metálico con gas (GMAW) es un proceso de soldadura con arco eléctrico y electrodo metálico consumible y protección de gas utilizado ampliamente en la industria metal mecánica para soldar una gran variedad de aleaciones. El proceso GMAW se utiliza para soldar con una amplia variedad de electrodos sólidos de acero al carbono y electrodos tubulares con núcleo metálico. Las aleaciones más comunes usadas en el proceso GMAW son: acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, níquel, bronce al silicio y tubulares aleados con núcleo metálico para revestimientos. El proceso GMAW se puede aplicar de forma semiautomática, por automatización con robot o mediante automatización rígida [Lincoln Electric, 2014].

1.2. Soldadura robotizada

La palabra robot fue creada en 1920 por el escritor checo Karel Capek, fallecido en 1938, en una de sus obras de teatro [“R.U.R.”, *Rossum’s Universal Robots*] a partir del término checo “*robota*”, que significa trabajo o presentación personal, para denominar un androide construido por un sabio y capaz de llevar a cabo todo los trabajos normalmente ejecutados por un hombre. Nadie duda de que la producción en serie ha permitido la drástica reducción de los tiempos de fabricación, si bien esto ha sucedido a costa de introducir condiciones de trabajo repetitivas, monótonas y, en ocasiones, degradantes para quien las efectúa.

El robot surge por tanto como una consecuencia lógica del proceso de automatización de la producción. Su característica fundamental, que lo diferencia de las simples máquinas automáticas, es la versatilidad, esto es, la capacidad de ser adaptado para diversas funciones a través de

cambios simples en su programación o accesorios. Su desarrollo se inició en 1954 con la aparición del brazo articulado diseñado por G. Devol, que posteriormente fue modificado y considerablemente mejorado por V. Scheinman en 1975, al desarrollar el PUMA (*"Programmable Universal Manipulator Arm"*). Actualmente los robots se pueden utilizar en prácticamente cualquier tarea mecánica que el ser humano pueda realizar, impidiendo los costos económicos una aplicación generalizada. Debido a esta restricción, se utilizarán industrialmente robots sólo si el aumento esperado de la productividad puede justificar la inversión dentro de un plazo razonable [Romaní Labanda, 2005].

La soldadura es diferente de otros procesos de fabricación, pues influyen numerosas variables que proporcionan combinaciones infinitas. Actualmente, el mercado obliga a los fabricantes a producir cada vez con mayor flexibilidad, minimizando los tiempos de preparación, cambio de herramientas y cambios de programas como consecuencia de modificaciones en los diseños, pero sin disminuir la productividad. Con objeto de obtener una calidad y productividad aceptable del proceso de soldadura, con la aplicación robotizada se tendrán las distintas variables de influencia. Hasta hace poco tiempo los procesos de soldadura se realizaban de forma manual, pero debido al incremento en los procesos productivos se ha migrado a sistemas automatizados. El robot puede soldar a la misma velocidad que un hombre, la ventaja es que el robot siempre está soldando. El robot puede pasar el 85% del tiempo soldando contra el 20% de una soldadora manual [Macías López, 2015].



Figura 1.2: Sistema de Soldadura GMAW para Automatización Robótica TTL.

1.3. Objetivo de la tesis

Desarrollar un gestor de parámetros de soldadura robotizada de arco eléctrico para el robot Fanuc 100 iC que permita ser una ayuda en la obtención de soldaduras de buena calidad y buen comportamiento mecánico.

1.4. Estructura de la tesis

El presente documento de tesis se compone de 8 capítulos, a continuación es descrita su estructura.

En el capítulo 2 se presenta una descripción detallada del brazo robótico utilizado para el desarrollo de este trabajo, así como del controlador implementado en la estación robótica de soldadura para llevar a cabo la tarea que se le designa. Aquí también se describe el proceso de programación que se emplea en el software utilizado por el controlador para la trayectoria, inicio y fin de tarea, así como los tipos de movimientos que realiza el robot, los tipos de terminaciones y tipos de velocidades.

En el capítulo 3 introducimos el equipo de soldadura robotizada, el cual está compuesto por el alimentador del electrodo consumible, la máquina de soldar encargada de ser la fuente de poder y la antorcha instalada en la muñeca del robot.

En el capítulo 4 se explican los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura, así como se incluye una breve descripción del mismo mediante un diagrama. Aquí se describe el software que se utiliza para la programación, las instrucciones de soldadura y las instrucciones de oscilación.

En el capítulo 5 se describe el software *ROBOGUIDE*, para la simulación de una celda de trabajo virtual, el guardado de archivos y cómo es que se realiza la carga de programas en el sistema virtual y físico.

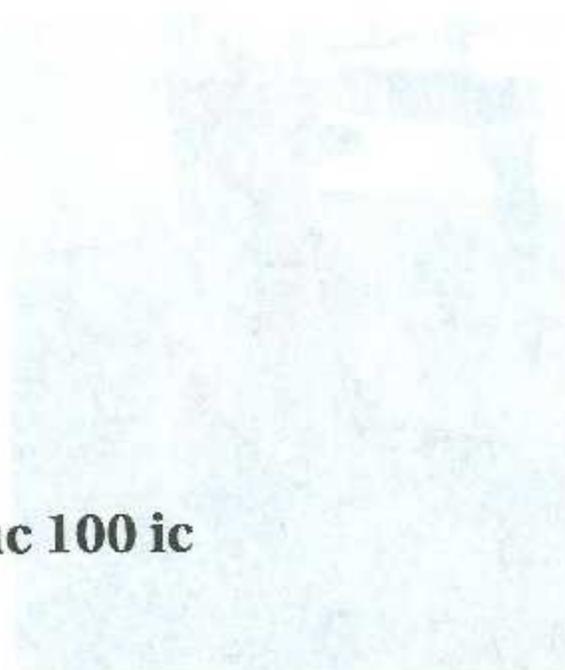
La descripción del proceso de implementación de los conocimientos estudiados en capítulos anteriores para el manejo del robot, la programación de la tarea, la programación de los parámetros y la modificación en cada una de las pruebas realizadas se presenta en el capítulo 6.

El capítulo 7 presenta los resultados de las diferentes uniones que se realizaron e incluye la prueba destructiva que se aplicó a cada una de estas uniones, así como una breve descripción de la experimentación realizada.

Finalmente, en el capítulo 8 se dan las conclusiones obtenidas a partir del presente trabajo, así como el trabajo futuro propuesto.

Capítulo 2

Robot Fanuc 100 ic



La serie FANUC ARC Mate 100iC es una familia de robots de seis grados de libertad, de construcción modular accionada por servomotores diseñados para la soldadura precisa de alta velocidad y corte. Basado en su construcción simple y fiable, la ARC Mate 100ic y ARC Mate 100iC/6L proporcionan un rendimiento preciso y consistente. El controlador y el software para la operación y programación del robot proporcionan un rendimiento fiable y una alta productividad.

El robot ARC Mate 100iC, el cuál se muestra en la Figura 2.1, tiene un diseño de proceso específico que protege el cable de la antorcha de soldadura del alimentador de alambre en el cuello de ganso de la antorcha, lo que reduce el desgaste del cable y minimiza los problemas del alimentador de alambre. Este enrutamiento simplificado previene que los cables interfieran con las piezas y herramientas, y permite que los programas creados fuera de línea sean probados sin compensar el cable de la antorcha[FANUC Robotics America, 2007].

El proceso específico del brazo tiene como ventaja el proteger y reducir al mínimo el desgaste del cable de la antorcha, también ofrece velocidades de movimiento más altas para un máximo rendimiento y productividad. Es el mejor en su clase en cuanto alcance contra el radio de trazo y cuenta con un diseño compacto. El robot ARC Mate 100iC ofrece un espacio de trabajo extremadamente grande; útil para piezas grandes o herramientas complejas. Los ejes rápidos de la muñeca reducen tiempos mejorando así el rendimiento.

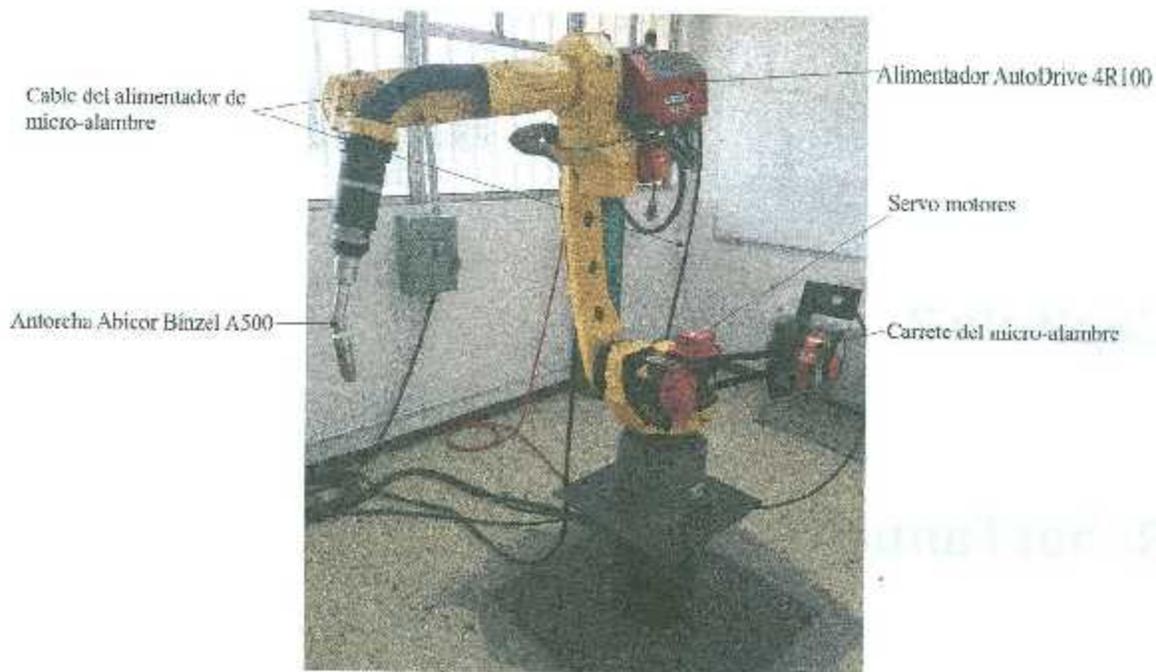


Figura 2.1: FANUC ARC Mate 100iC

La serie FANUC ARC Mate 100iC puede ser utilizada para aplicaciones de soldadura de arco, soldadura de punto, manipulación, ensamblaje, sellado, pintado, desbarbado. Para estas aplicaciones se debe seleccionar el software de la herramienta adecuado.

2.1. Características

FANUC ARC Mate 100iC es un robot de soldadura por arco inteligente integrado por características que mejoran la calidad y repetibilidad, un mayor rendimiento y rango de movimiento, una soldadura de mayor rendimiento y reducción de costos de manufactura. Entre las características del robot que le permiten conseguir un mejor desempeño se destacan:

- Tamaño de la muñeca delgada. Esta permite al robot entrar en las aberturas más pequeñas dentro del espacio de trabajo.
- La articulación J3 (Ver Figura 2.2) tiene la capacidad de desarrollar una giro de 445°, lo que ofrece un gran campo de trabajo, ideal para aplicaciones invertidas.
- El robot está diseñado con utilidades integrales incluyendo las líneas de gas/aire y un cable del motor de alimentación de micro-alambre eléctrico Lincoln que va por dentro del brazo

del robot. Ésta ofrece una mayor fiabilidad, menor tiempo de instalación y elimina requisitos externos de cableado.

- Motor de alimentación de micro-alambre (hasta 12 kg) montado detrás del hueco de apertura en la articulación J4 (Ver Figura 2.2), acorta la longitud de la antorcha de soldadura que mejora la fiabilidad de alimentación del micro-alambre y capacidad de arranque de arco.
- La unidad de programación posee teclas físicas específicas para la aplicación, esto ofrece control intuitivo sobre el proceso.
- Compatible con las principales marcas de equipos de soldadura.
- Interfaces con la mayoría de tipos de servoactuadores o posicionadores graduados.
- Múltiples posiciones de montaje que incluye: posición vertical, invertido, pared o ángulo de montaje sin cambios en la unidad mecánica.

En la Figura 2.2 se muestra una vista isométrica del Fanuc 100iC, con la etiqueta para cada articulación, abreviadas como J1, J2, J3, J4, J5 y J6, donde se especifica el rango de giro en grados para cada una de las mismas.

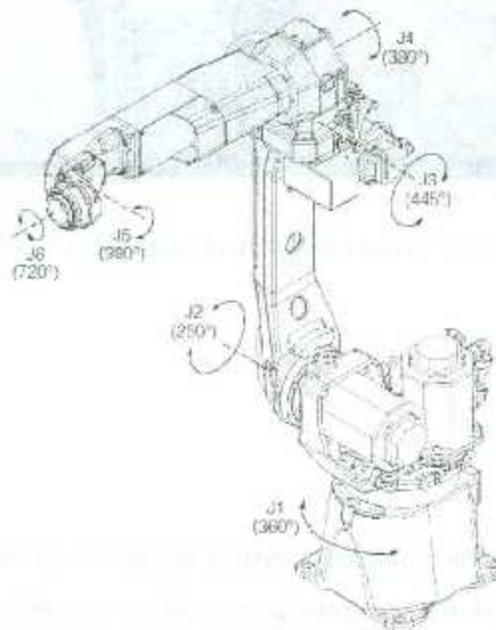


Figura 2.2: Vista isométrica del robot Fanuc ARC Mate 100iC.

2.2. Controlador R30i B

El controlador R30iB, el cuál se muestra en la figura 2.3, tiene la computadora que opera al robot. Alberga el software de aplicación, la fuente de alimentación, control del operador (como el *Teach Pendant* el cual está conectado al controlador de manera externa), los circuitos de control y la memoria que dirige la operación y movimiento del robot. El controlador también es responsable de la comunicación con dispositivos externos. El usuario controla el robot usando el *Teach Pendant* o un *panel del operador*.

La memoria del controlador almacena el software aparte de cualquier información y programas definidos por el usuario. El controlador también proporciona la capacidad de trabajar con dispositivos externos o fuera de línea. Un dispositivo fuera de línea es cualquier dispositivo, distinto del controlador, usado para programación.



Figura 2.3: Vista externa del controlador R-30iB

2.2.1. Panel del operador

El panel del operador contiene botones, interruptores clave y puertos de conexión (ver Figura 2.4). En este panel se encuentra el interruptor de encendido/apagado, el interruptor de selección de modo, el botón restablecer fallas, el botón iniciar ciclo, la señal de falla, la señal de energía, el botón de paro de emergencia y un puerto USB.



Figura 2.4: Panel del operador estándar R-30iB

El botón restablecer fallas, como su nombre lo indica, borra todas las fallas que se pudieran presentar en el controlador. La señal de falla encendida indica que hay fallas activas. Para iniciar de forma automática el ciclo se utiliza el botón de iniciar ciclo, la señal de energía se enciende al encender el controlador. El paro de emergencia es recomendado no usarlo como paro regular cuando el robot esté en movimiento, ya que daña los servomotores. El interruptor de selección de modo es estándar y tiene tres modos, para mover el interruptor de un modo a otro se inserta una llave. Estos modos son: T1, T2 y Auto; como se muestra en la Figura 2.5.



Figura 2.5: Interruptor de selección de modo

En el modo T1 (Test Mode 1) la velocidad cartesiana es menor que 250 mm/s y la velocidad articular es menor que el 10% de la velocidad máxima del control manual, en este modo no se respetan las velocidades definidas en el programa si son mayores al límite.

Para el modo T2 (Test Mode 2) la velocidad de desplazamiento está restringida pero durante la tarea se permite la velocidad total del programa; respeta las velocidades establecidas. La velocidad articular puede ser cambiada manualmente al 100%.

En modo Auto opera al robot en la velocidad máxima especificada, no se puede iniciar un programa usando el *Teach Pendant* para iniciarlo se utiliza el botón de iniciar ciclo.

Para correr un programa en AUTO se deben seguir las siguientes indicaciones:

1. Desde el *Teach pendant*, seleccionar programa presionando *SELECT*.
2. Resaltar el programa que se desea correr usando las teclas de flechas, y presionar *ENTER*.
3. Posicionar el interruptor del teach pendant en *OFF*.
4. En la pantalla System Configuration Screen establecer *REMOTE/LOCAL* en *LOCAL*.
5. Seleccionar Auto y presionar el botón *CYCLE START* del panel del operador.
 - El programa debe empezar a ejecutarse.
 - Para parar el programa, presionar *HOLD* del teach pendant.

2.2.2. Teach Pendant/IPendant

El *Teach Pendant* (ver Figura 2.6) es un dispositivo de interfaz de operador, este muestra los menús del software. Está conectado al controlador por medio de un cable que se conecta en la tarjeta principal del CPU dentro del controlador o, si es el modelo donde el *Teach Pendant* puede estar desconectado, al panel del operador.



Figura 2.6: *Teach Pendant (iPendant)*

Los usos de este dispositivo son el movimiento del robot, la creación y edición de programas, programas de prueba, configurar la producción, revisión de estatus, realizar funciones manuales, configurar la aplicación, y acceso al diagnóstico de herramientas (opcional). También llamado *iPendant*, este dispositivo provee una interfaz gráfica a color, menús pop-up, opción de múltiples ventanas, acceso a Internet/Intranet, pantallas personalizadas y pantalla táctil, un interruptor de encendido/apagado, interruptores *DEADMAN*, un botón de paro de emergencia y un puerto USB.

2.2.2.1. Interruptores del control de movimiento

El *Teach Pendant* incluye teclas usadas para mostrar los menús del software, seleccionar opciones de los menús, ayudar a programar, mover el robot y realizar funciones específicas.

Para garantizar la seguridad personal cuando el *Teach Pendant* está encendido, se cuenta con dos interruptores que interrumpen el movimiento del brazo robótico en situaciones de emergencia. Están ubicados en la parte posterior del dispositivo y son llamados *DEADMAN*; estos tienen tres posiciones: al soltar o ejercer una fuerza excesiva en cualquiera de los dos *DEADMAN* cuando se tiene encendido el *Teach Pendant*, quita la energía y una interrupción del programa o movi-

miento se aplicara de forma inmediata. El operador debe agarrar y mantener el *DEADMAN* activado durante la activación del movimiento del robot y durante el correr del programa.

Cuando el interruptor de encendido y apagado del *Teach Pendant* está en la posición de apagado, el usuario no puede mover el robot, crear un programa o correr un programa; sin embargo algunas operaciones pueden realizarse cuando está deshabilitado. El botón rojo de paro de emergencia está localizado en la parte frontal del *Teach Pendant* (Ver Figura 2.6) y es presionado para detener al robot de forma inmediata en caso de accidente o falla.

La pantalla del dispositivo muestra los menús del ArcTool, el cuál es el software de uso específico para soldadura. Todas las funciones del robot pueden ser realizadas usando estos menús. El *Teach Pendant* tiene las siguientes teclas: navegación y entrada de información, movimiento del robot, ejecución, edición, aplicaciones específicas, diagnostico/ayuda.

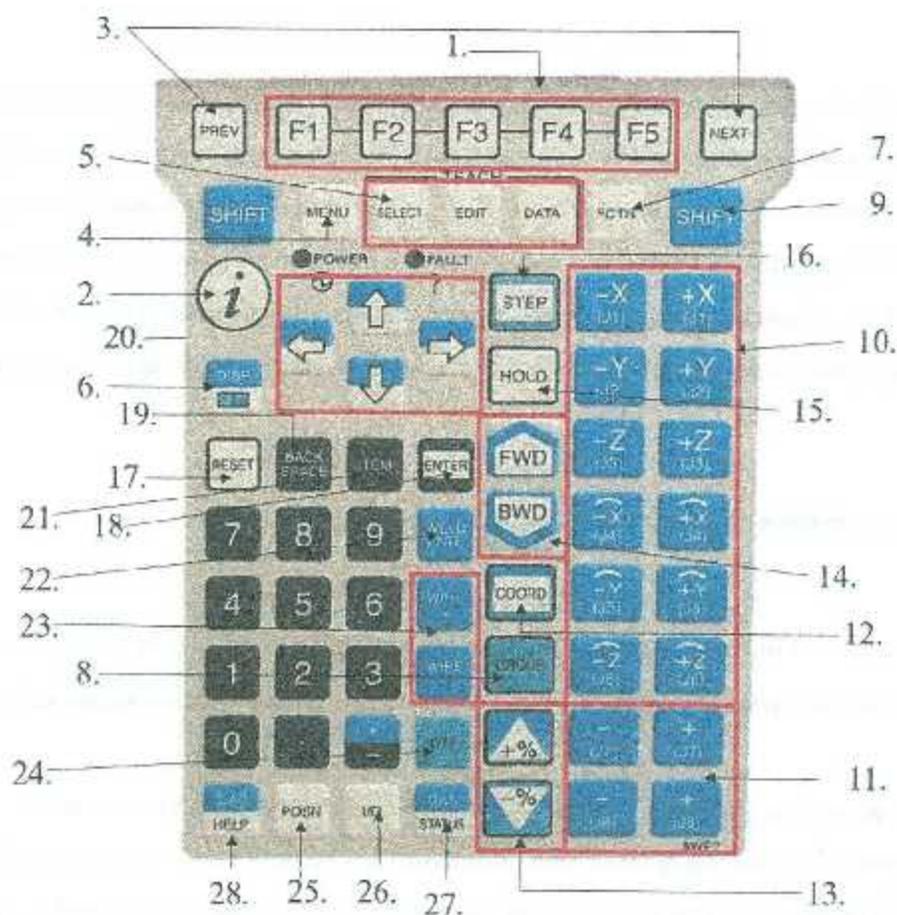


Figura 2.7: Teclado del *Teach Pendant*

En el siguiente listado se describe cada una de las teclas y LEDs del *Teach pendant* mostrado en la Figura 2.7.

1. Las teclas F1 a F5 son usadas para hacer elecciones basadas en la pantalla del *Teach Pendant*. Cada tecla de función tiene una etiqueta única dependiendo en el menú que se muestra en la pantalla.
2. La tecla *?* despliega la pantalla de Ayuda si se le mantiene presionada.
3. La tecla PREV regresa al estado más reciente, en algunos casos la pantalla no regresa inmediatamente al estado precedente, NEXT es usada para mostrar el siguiente conjunto de funciones.
4. La tecla MENU muestra la pantalla de menú.
5. La tecla SELECT se usa para mostrar la lista de programas en la memoria del controlador. EDIT muestra la pantalla para la edición del programa y, DATA es usada para mostrar la pantalla con la información del programa seleccionado.
6. La tecla DISP activa el menú DISPLAY o cambia la perspectiva. Cuando se presiona SHIFT y DISP juntas el menú DISPLAY es mostrado. Este menú permite cambiar el número de ventanas que se muestran en la pantalla; pueden ser una, dos o tres. También se puede usar para desplegar la ayuda o diagnósticos, abrir la vista de usuario y los menús favoritos o mostrar el historial del menú.
7. La tecla FCTN muestra el menú function (menú de funciones).
8. GROUP es usada para cambiar grupos. Se mantiene presionada y se ingresa la tecla numérica para cambiar al grupo especificado. Presionar GROUP y la tecla 0 para alternar al subgrupo.
9. La tecla SHIFT se usa para mover el robot, grabar la información de posición e iniciar un programa. La tecla derecha y la tecla izquierda de SHIFT tienen la misma función.
10. Este grupo de teclas son usadas para el movimiento del robot, son efectivas mientras se presione una de las teclas SHIFT. El movimiento con estas teclas es cartesiano (xyzwpr) o articular (ejes J1 a J6).
11. Las teclas J7 y J8 son las que mueven los ejes extendidos o los ejes de servo-pistola.

-
12. COORD selecciona el sistema de coordenadas en que se moverá el robot. Cada vez que es presionada esta tecla se selecciona el tipo de coordenadas en el orden siguiente: JOINT, JGFRM, World frame, TOOL, USER. Cuando se mantiene presionada la tecla COORD y luego se presiona SHIFT, un menú de coordenadas se despliega para cambiar el sistema de coordenadas.
 13. Ajusta la velocidad. Cada vez que se presiona esta tecla se selecciona la siguiente velocidad en el siguiente orden: VFINE, FINE, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%; y así en incrementos de 5% hasta el 100%.
 14. La tecla FWD o BWD (más la tecla SHIFT) inicia un programa. Cuando se libera la tecla SHIFT durante la regeneración, el programa hace una pausa.
 15. Presionar HOLD pausa un programa.
 16. STEP selecciona un paso o continuos en la prueba de la operación.
 17. La tecla RESET se usa para reiniciar una alarma.
 18. ENTER se usa para procesar y activar el conjunto de información actual.
 19. La tecla BACK SPACE borra el carácter o número anterior inmediato al cursor.
 20. Las teclas de las flechas se utilizan para resaltar o seleccionar un elemento en la pantalla.
 21. ITEM mueve el cursor a la línea especificada, se ingresa el número de esta.
 22. La tecla WELD ENBL se usa para habilitar o des-habilitar el equipo de soldadura.
 23. Las teclas WIRE se utilizan para desplazar el alambre, WIRE + para fuera y WIRE - para adentro de la boquilla de la antorcha.
 24. OTF permite hacer ajustes de parámetros de corriente, voltaje y velocidad de alimentación del microalambre sobre la marcha.
 25. La tecla POSN muestra la información de posición.
 26. I/O despliega la pantalla de I/O, (entradas y salidas).
 27. La tecla GAS/STATUS tiene dos funciones: STATUS muestra el estado del robot y el estado de la soldadura. Presionando SHIFT y la tecla GAS de manera simultánea se realiza una purga de gas.

28. HELP despliega archivos de ayuda que describen las funciones disponibles para la ventana activa. Presionando simultáneamente DIAG y SHIFT se muestra información de diagnóstico para el error activo o el error seleccionado en el menú Alarm.

El LED de FAULT indica que una condición de falla ha ocurrido. POWER se enciende cuando la energía del controlador está encendida.

2.3. Programación

Para adentrarnos a la programación tanto de la estación de soldadura como de la trayectoria o tarea que se realizará es necesario conocer el ambiente en el que se trabajara. Al encender el controlador en el *Teach Pendant* se despliega la pantalla principal (Ver Figura 2.8). En ésta encontramos accesos rápidos a Hints, Alarm Log, I/O, estado y tiempo de ejecución. Con las teclas F1 a F4 podemos acceder a el menú del operador, de los programas, función 4D y el menú establecer.



Figura 2.8: Pantalla principal del *Teach Pendant*

En la parte inferior de la pantalla del *Teach Pendant* al iniciarse el controlador se encuentran los menús favoritos como se muestra en la Figura 2.9, se puede ingresar a éstos usando la pantalla táctil. El primer menú es Alarm Log (Registro de Alarmas) este muestra las alarmas que están habilitadas. En Weld (Soldadura) mostrado en la Figura 2.10, encontramos el estado de los parámetros de soldadura, los valores programados y los valores durante la realización de esta, así como el estado y el tipo de arco del arco.

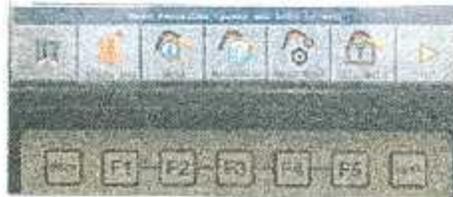


Figura 2.9: Menús favoritos

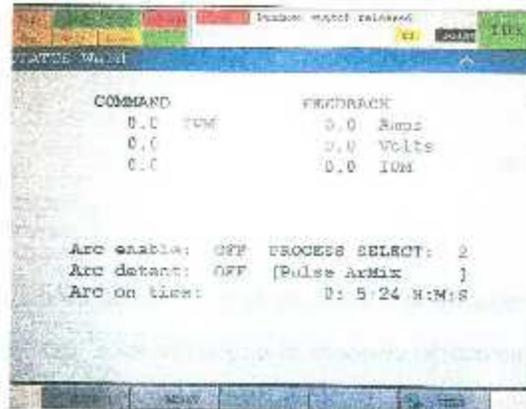


Figura 2.10: Pantalla del “Estado de soldadura (STATUS Weld)”

El siguiente icono Weld Proc (Procedimiento de Soldadura) muestra la pantalla que se observa en la Figura 2.11. Ésta contiene la información de todos los procedimientos de soldadura contenidos en el controlador; aquí se programan los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura por ejemplo tensión, corriente, velocidad de avance, y el tipo de soldadura.



Figura 2.11: Pantalla del “Procedimiento de soldadura (DATA Weld Procedure)”

El siguiente menú es el del equipo de soldadura (Weld Equi), en este se encuentran los datos del equipo, el tipo de alimentador, la velocidad con la que el alimentador desplaza el micro-alambre,

si la alimentación retráctil está habilitada, el tiempo de detección del arco, de error y la detección del gas (ver Figura 2.12). Estos valores pueden ser modificados a la conveniencia del usuario.

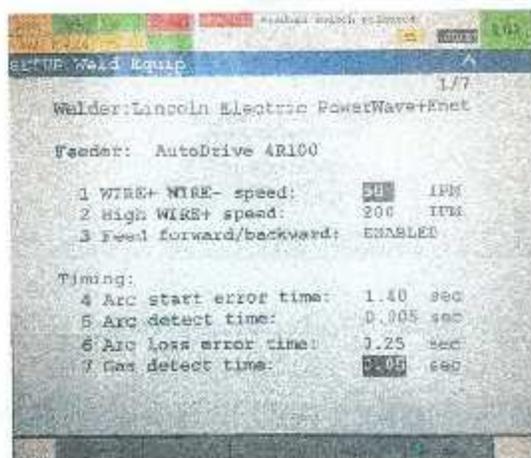


Figura 2.12: Pantalla del "Equipo de soldadura (SETUP Weld Equip)"

El menú del arco de soldadura (Arc Weld) nos muestra el equipo o equipos de soldadura que están habilitados (ver figura 2.13).



Figura 2.13: Pantalla "Soldadura por arco (TEST CYCLE Arc)"

El último de estos menús rápidos es el buscador (Browser) incluido en el controlador. En este se puede encontrar la información de contacto directo con FANUC, el estado actual del robot en el que se incluye datos del arco, resumen de configuración, listado de los errores, estados de los programas actuales, valores de entradas y salidas actuales, señales de paro actuales, posición del robot, también se encuentran los programas, variables y diagnósticos de la memoria del dispositivo, herramientas del robot y un monitor de alarmas usando RSS (Ver Figura 2.14).



Figura 2.14: Pantalla buscador

Para acceder a los menús rápidos (Ver Figura 2.15) se presiona la tecla MENU, se muestra en pantalla una ventana con los menús disponibles. La numeración a la izquierda de cada una de las opciones es un atajo. Presionando en el teclado numérico el número correspondiente se accede a la pantalla principal de ese menú y en el caso del 0 se pasa a la siguiente ventana de menús.



Figura 2.15: Menús rápidos

En el menú *UTILITIES* (Utillerías) se encuentran las indicaciones del equipo, la modificación de parámetros al momento, calibración del sistema, ajuste de horarios de programas, cambio de imagen de espejo, compensación de la herramienta, compensación del marco de usuario, cambio de entrada de ángulo y cambio de máscaras de grupo, como se puede observar en la Figura 2.16.



Figura 2.16: Pantalla menú *UTILITIES*

El siguiente menú es el de *TEST CYCLE* (Ciclo de prueba). En éste se encuentra la pantalla que nos indica si la soldadura por arco está habilitada o no y también la configuración del ciclo de prueba. En éste se puede modificar el movimiento del grupo, la velocidad del arranque en seco, habilitar las entradas y salidas digitales/análogicas, el tipo de sentencia de paso y el encendido del nodo de ruta de paso (ver Figura 2.17).



Figura 2.17: Pantalla ciclo de prueba

Después se tienen las funciones manuales (*MANUAL FCTNS*). Estas comprenden los macros y la recuperación de errores. En el menú *ALARM* (alarma) se encuentra todo lo referente a las alarmas por ejemplo qué alarmas se encuentran activas, alarmas referentes al movimiento del robot, alarmas del sistema, alarmas de aplicación y alarmas de comunicación. Un ejemplo se puede observar en la Figura 2.18.

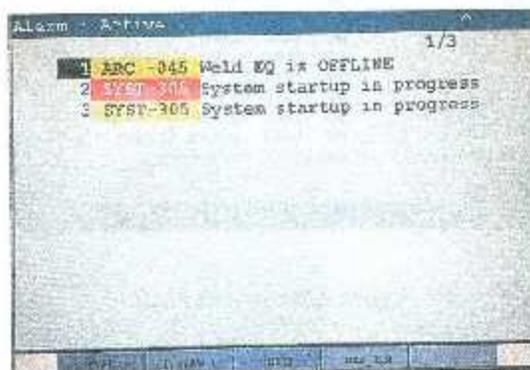


Figura 2.18: Pantalla Alarmas activas

El menú *I/O* (Figura 2.19) es donde se tienen las entradas y salidas de la soldadura, salidas de la celda, salidas digitales de la soldadura, entradas y salidas personalizadas, salidas digitales y análo-

gas, salidas de los grupos, salidas del robot, salidas UOP (User Operator Panel o panel del operador de usuario), salidas SOP (Standard Operator Panel o panel del operador estándar), interconexiones, dispositivo de enlace, las banderas y conexiones de ethernet.



Figura 2.19: Pantalla menú I/O

En el menú *FILE* (archivo) podemos manipular los archivos, la memoria utilizada del dispositivo y se hace el respaldo automático de archivos. En este menú encontramos los archivos en lenguaje KAREL, los archivos correspondientes a los programas del *Teach Pendant*, archivos de las variables del dispositivo; entre otros. También nos permite hacer respaldo de archivos en dispositivos externos mediante el puerto USB. En la Figura 2.20 se muestra el listado de los archivos y sus correspondiente extensión.

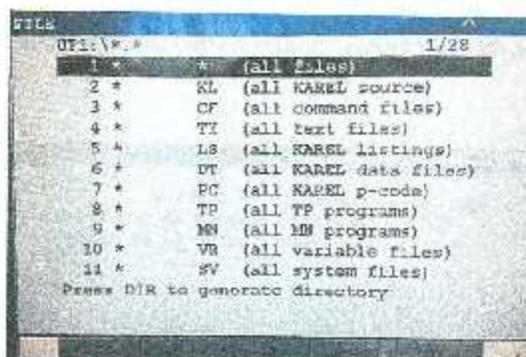


Figura 2.20: Menú *FILE*

En la segunda ventana de los menús rápidos, como se muestra en la figura 2.15, se encuentra el menú *SELECT* (Figura 2.21) que es donde se muestran todos los programas almacenados en el controlador y también se puede acceder desde esta pantalla a la edición del programa seleccionado o el último abierto.



Figura 2.21: Pantalla *SELECT*

En *DATA* (Figura 2.22) encontramos toda la información de los procedimientos de soldadura, los registros de posición, los registros de cadena, variables y posiciones de KAREL, así como los horarios TOUCH. Éstos son una serie de condiciones que controlan cómo se completa el movimiento de búsqueda, los horarios de las formas de onda y TORCHMATE. Es una solución fácil de usar para el ajuste automático del punto central de la herramienta. Automáticamente compensa los barriles doblados de la antorcha y las puntas de contacto desgastadas para reducir defectos de soldadura e incrementar la productividad del sistema. En este menú es donde se realiza principalmente la programación de parámetros de soldadura.



Figura 2.22: Pantalla de los "Procedimientos de soldadura (DATA Weld Procedure)"

En *STATUS* (Figura 2.23) se puede acceder a la ventana que nos muestra el estado de los valores de soldadura, la gráfica del estado del arco, del micro-alambre, de los ejes, de la versión ID, de la señal de paro, el historial de ejecución de programas, el estado de la memoria, la versión de AR-CLINK, los temporizadores programados, los temporizadores del sistema, la condición del robot, el estado del programa y el consumo de energía.



Figura 2.23: Pantalla "Gráfica del estado de la soldadura por arco (STATUS Arc: Chart)"

Desde esta ventana se puede acceder a los gráficos 4D y mostrar la posición del robot. En *SYSTEM* se encuentra el reloj, las variables, OT RELEASE, los límites de los ejes, configuración y movimiento. Por último se encuentra el buscador descrito anteriormente.

La pantalla que se observa en el *Teach Pendant* (Figura 2.24) contiene 10 elementos fijos, esto se refiere a que siempre son visibles sin importar el menú seleccionado o si se está creando, editando o ejecutando un programa.

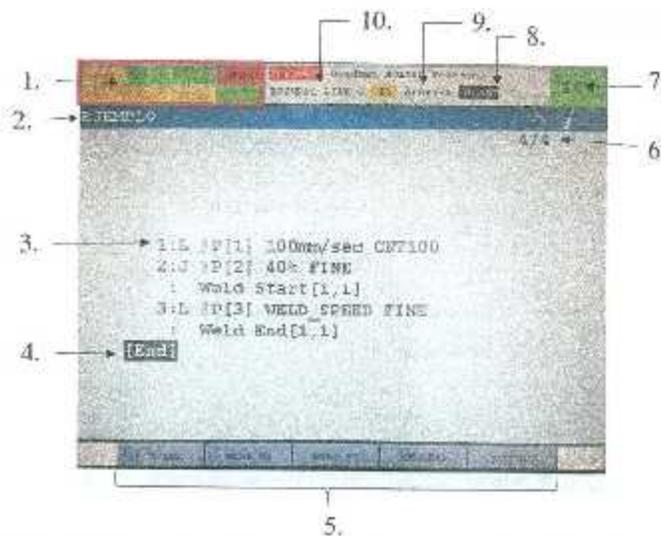


Figura 2.24: Pantalla de visualización del *Teach Pendant*

A continuación se describe cada uno de ellos.

1. Indicadores de estado.
2. Encabezado de la pantalla o programa que está siendo ejecutado o editado.

-
3. Número de línea.
 4. Símbolo de fin del programa.
 5. Menú de las teclas de función, indica la etiqueta de la tecla. El menú depende de la pantalla seleccionada y la posición del cursor. Las etiquetas que incluyen [] muestran que el menú de selección se muestra cuando se selecciona esta etiqueta.
 6. Línea actual y número total de líneas; indica la línea en el programa que se está ejecutando o editando y el número total de líneas en el programa actual.
 7. Especifica el porcentaje de velocidad del máximo permitido.
 8. Información de las coordenadas de movimiento.
 9. Estado de ejecución, muestra si se abortó, pauso o se está ejecutando el programa.
 10. Número de línea actual del programa que se está ejecutando.

2.3.1. Creación de un programa

Un programa es una serie de instrucciones que controlan el funcionamiento del robot y al equipo asociado. Mueve el robot a la posición requerida dentro de la celda de trabajo. Envía/recibe señales de/para otros equipos en la celda de trabajo. Hace seguimiento de tiempo, conteo de piezas y el número de trabajo. En términos generales un programa le dice al robot: a donde ir, como llegar ahí y qué hacer cuando este ahí. Hay dos tipos de instrucciones:

- Instrucción de movimiento: Instrucciones que controla el movimiento del robot.
- Instrucción de no movimiento: Instrucciones que no contienen información de movimiento pero controlan cómo corre un programa.

Las instrucciones de movimiento son las que posicionan al robot. Una instrucción de movimiento está compuesta por los siguientes elementos mostrados en la Figura 2.25, y los cuales se describen a continuación.

```

1. → 1: L @P[1] 100mm/sec CNT100
      2: J @P[2] 40% FINE
      : Weld Start [2],1]
      [End]
      6.
      5.
      4.
      3.
      2.

```

Figura 2.25: Instrucciones de movimiento

1. Tipo de movimiento. Puede ser J: Joint, L: Lineal, C: Circular.
2. Tipo de posición. P: Posición, PR: Registro de posición. Describe la ubicación, orientación y configuración del punto central de la herramienta cuando una instrucción de movimiento es agregada al programa.

$$P[n] = (\underbrace{x, y, z}_{\text{Ubicación}}, \underbrace{w, p, r}_{\text{Orientación}}, \underbrace{\text{config}}_{\text{Configuración}})$$

Figura 2.26: Información de posición

- Las componentes de ubicación (x, y, z), mostradas en la Figura 2.26 describen la ubicación tridimensional de la posición.
- Las componentes de orientación (w, p, r), describen la rotación alrededor del eje x, la rotación alrededor del eje y, la rotación alrededor del eje z.
- Config describe la condición de los ejes cuando el robot llega a la posición destino. La orientación de los ejes de la muñeca en la posición destino permanece igual, pero la orientación de los demás ejes puede cambiar.
 - Muñeca - N (sin vuelta), F (dar la vuelta)
 - Codo - U (arriba), D (abajo)
 - Robot - T (frente), B (atrás)

En la Figura 2.27 se muestra la configuración de Muñeca-Codo-Robot.



Figura 2.27: Detalles de posición

- Número de la posición (1-32767)
- Velocidad. 1 %, inch/min, deg/sec, mm/sec, cm/min, 0.1 sec, *WELD_SPEED*, R[] (registro).
- Tipo de terminación. FINE: Fino, CNT: Continuo de 0-100. Refiérase a la sección 2.3.3.
- Opción de movimiento. Sin opción, ACC, Coord, Skip, Offset, Inc, EV, PTH, W/JNT, Weld Start [], Wel End [], Search [], TIME BEFORE, TIME AFTER.

Para crear un programa se siguen los siguientes pasos.

- Se posiciona el interruptor del *Teach Pendant* en ON.
- Presionar la tecla *SELECT*.
- F2 selecciona la acción *CREATE*, si esta no se muestra en las etiquetas presiona *NEXT* y F2 *CREATE*. Se mostrará la pantalla de la Figura 2.28.



Figura 2.28: Pantalla para la creación de un programa

- Mover el cursor a el método de escritura para nombrar el programa. Las etiquetas de las teclas de función cambiarán dependiendo del método de escritura que se escoja.

5. Escribir el nombre del programa (ver Figura 2.29).
6. Cuando se termine de escribir el nombre, presionar *ENTER*.



Figura 2.29: Pantalla "Nombre de un programa"

2.3.2. Escritura y modificación de un programa

Se pueden escribir nuevos programas y modificar programas existentes para dirigir el robot en la realización de una tarea esto se ilustra en la Figura 2.30. Escribir un programa incluye nombrar el programa, definir las instrucciones por defecto y agregar instrucciones al programa.

La modificación de programas incluye la selección del programa, modificación de las instrucciones por defecto, insertar instrucciones, borrar instrucciones, copiar y pegar instrucciones, buscar instrucciones, deshacer operaciones y mostrar comentarios.

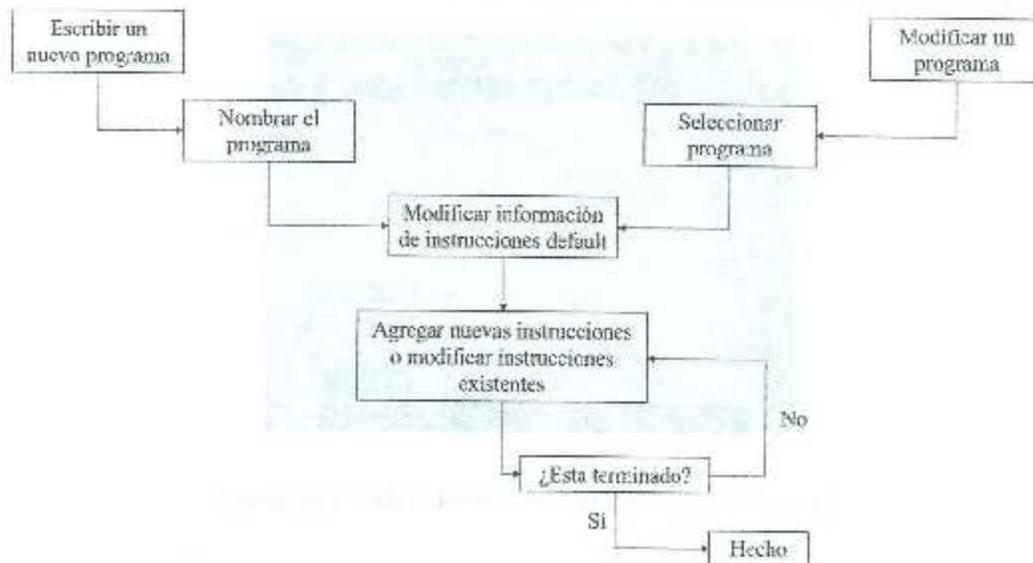


Figura 2.30: Escribir y modificar un programa

El software de aplicación de soldadura utilizado en la estación robotizada de soldadura permite crear 16 instrucciones de movimiento por defecto para asistir en programas de enseñanza del robot. En la Figura 2.31 las etiquetas que se muestran en la parte inferior de la pantalla corresponden a las teclas F1 a F4 que contienen una instrucción de movimiento por defecto disponible en cada una de ellas. La tecla F1 contiene instrucciones de movimientos solamente para el robot, las demás teclas tienen instrucciones para el robot y la soldadura por arco. El crear estas instrucciones por defecto, que se ajustan a las necesidades del usuario, incrementa la velocidad con la cual se escribe un programa de soldadura.

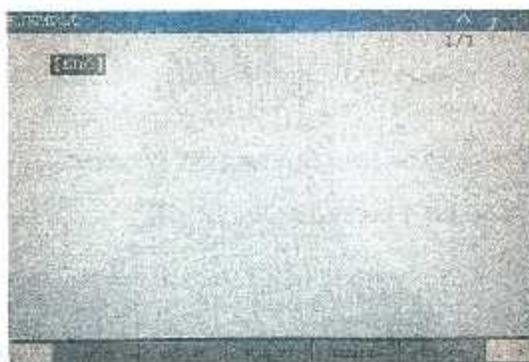


Figura 2.31: Pantalla "Instrucciones de un programa"

Para establecer una instrucción de movimiento se siguen las siguientes instrucciones:

1. Presionando el interruptor *DEADMAN* de manera continua y con el Interruptor del *Teach Pendant* en posición ON, mover el robot a la posición inicial deseada.
2. Presionar F1, *POINT*, para escribir el punto actual del robot. Se despliega la lista de instrucciones de movimientos mostrada en la Figura 2.32.

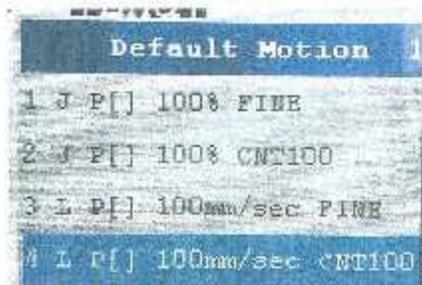


Figura 2.32: Lista de instrucciones de movimiento por defecto

3. Seleccionar la instrucción que se acople a la necesidad de la tarea.

4. Repetir los pasos 1 a 3 tantas veces como sea necesario.

Para modificar una de las instrucciones de movimiento se procede de la siguiente manera:

1. Mover el cursor a el componente de la instrucción que se desea modificar.
2. Usar la tecla de función y flecha para modificar el componente y presionar *ENTER*. Si la función *[CHOICE]* se muestra en las etiquetas de las teclas de función, presionar F4 para desplegar la lista de valores para el componente seleccionado.
3. Repetir los pasos anteriores para cada una de las instrucciones que se desea modificar.
4. Cuando se termine de modificar cada instrucción, mueva el cursor a la instrucción que se desea sea la instrucción actual y presionar F5, *DONE*.

Para definir instrucciones de aplicación por defecto se utiliza lo siguiente:

1. Poner el interruptor del *Teach Pendant* en la posición ON.
2. Presionar la tecla función correspondiente a la etiqueta de la aplicación que se desea insertar. F2 para el inicio del arco, F3 para un punto de soldadura y F4 para terminar el arco. Esto se muestra en la figura 2.33.

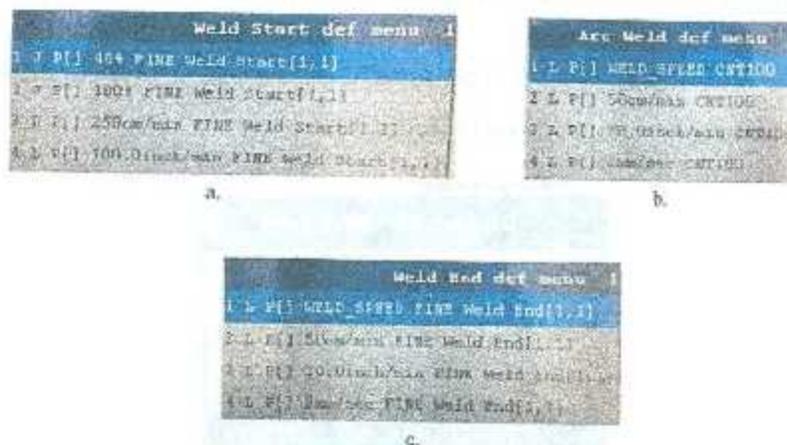


Figura 2.33: Instrucciones de aplicación: a) Inicio de arco, b) Punto de soldadura y c) Final de arco

3. Mover el cursor a el componente que se desea modificar en la instrucción.

-
4. Usar las teclas de función adecuadas para modificar el componente y presionar *ENTER*. Si la función [*CHOICE*] se muestra presionar la tecla F4 para desplegar la lista de valores para el componente seleccionado; en caso contrario el componente no es modificable.
 5. Repetir los pasos anteriores cuantas veces sean necesarias.
 6. Terminar presionando F5, *DONE*.

El software permite insertar, borrar, copiar, encontrar, reemplazar, reenumerar, comentar, deshacer, y remarcar las líneas de un programa. A continuación se encuentran los procedimientos para realizar estas ediciones. Condiciones:

- Un programa debe estar seleccionado para edición.
- El interruptor del *Teach Pendant* debe estar en la posición ON.

Insertar línea en un programa:

1. El cursor debe estar en la línea donde se pretenda insertar una línea en blanco. El punto de inserción estará sobre la línea donde se posiciona el cursor.
2. Presionar F5, [EDCMD]. Si no se encuentra la etiqueta [EDCMD] sobre la tecla F5, presionar la tecla NEXT.
3. Seleccionar 1 Insert.
4. Se mostrará la leyenda *How many line to insert?* (¿Cuántas líneas se insertarán?). Presionar la tecla con el número de líneas que se desean insertar.
5. Presionar ENTER.

Para eliminar líneas de un programa:

1. Posicionar el cursor en la primera línea que se pretende borrar.
2. Presionar F5, [EDCMD], seleccionar 2 Delete y presionar ENTER.
3. Se mostrará la leyenda *Delete Line(s)?* (¿Borrar líneas?). Si se desea borrar múltiples líneas, mover el cursor hacia arriba o abajo para hacer selección múltiple.

-
4. Presionar F4, YES para continuar con la supresión.

Para copiar y pegar líneas:

1. Presionar F5, [EDCMD], seleccionar 3 Copy, y presionar ENTER.
2. Mover el cursor a la primera línea que se desea copiar.
3. Presionar F2, COPY. Se mostrará la leyenda *Move cursor to select range* (Mover el cursor al rango seleccionado).
4. Para una sola línea presionar F2, COPY. Para múltiples líneas mover el cursor hacia arriba o hacia abajo para seleccionar las líneas; después presionar F2, COPY.
5. Posicionar el cursor al número de línea o [END] en el programa donde las líneas serán pegadas.
6. Presionar F5, PASTE.
7. Presionar la tecla de función para el método de pegado requerido.

Para reemplazar una línea:

1. Presionar F5, [EDCMD], seleccionar 5 Replace, y presionar ENTER. Se mostrará la leyenda *Select old item* (Seleccionar el elemento antiguo).
2. Seleccionar el elemento que se desea reemplazar del menú *Select Replace menu*.
3. Responder a las leyendas que se muestran para reemplazar o insertar instrucciones. Dependiendo de la acción que se selecciona pueden aparecer múltiples leyendas, proceder por cada pantalla hasta que se lea *Replace OK?* o *Insert OK?* o *Remove OK?*.
4. Presionar la tecla de función adecuada para ejecutar el reemplazo:
 - F2, ALL. Reemplaza instrucciones para cada línea del cursor para abajo.
 - F3, YES. Reemplazará la instrucción en la línea actual donde el cursor está.
 - F4, NEXT. Saltará el reemplazo de la línea actual y moverá el cursor a la siguiente línea.
 - F5, EXIT. Termina la edición.

Para deshacer:

1. Presionar F5, [EDCMD], seleccionar 8 Undo, y presionar ENTER. Se mostrará la leyenda *Undo? (¿Deshacer?)*.
2. Presionar F4, YES.

Para remarcar:

1. Posicionar el cursor en la primera línea del programa que se pretende remarcar o desmarcar.
2. Presionar F5, [EDCMD], seleccionar 8 Remark, y presionar ENTER. Se mostrará la leyenda *Select lines to remark or unremark? (Seleccionar líneas para remarcar o desmarcar)*, si se desea remarcar o desmarcar múltiples líneas mover el cursor hacia arriba o hacia abajo.
3. Para remarcar presionar F4, REMARK.
4. Para desmarcar presionar F5, UNREMARK.

La siguiente pantalla mostrada en la Figura 2.34 ejemplifica un programa compuesto solamente por instrucciones de movimiento que desplazan al robot en el área de trabajo, mientras que la segunda pantalla (Figura 2.35) muestra la programación de una trayectoria que incluye las instrucciones de soldadura.



```
1000
1:L P[2] 100mm/sec FINE
2:L P[1] 100mm/sec FINE
3:L P[3] 100mm/sec FINE
4:L P[4] 100mm/sec FINE
[End]
```

Figura 2.34: Ejemplo de programa de movimiento

```

VERCA 3/10
1:L P[2] 100mm/sec FINE
2:L P[3] 100mm/sec FINE
3:L P[5] 100mm/sec FINE
4:L P[4] 400mm/sec FINE
: Weld Start[2,2]
5: Weave Figure 8[2]
6:L W[6] WELD SPEED CONTROL
: Weld End[2,2]
7: Weave End[2]
8:L P[3] 100mm/sec FINE
9:L SP[7] 100mm/sec FINE

```

Figura 2.35: Ejemplo de programa de soldadura

2.3.3. Movimiento del robot

El tipo de movimiento define como se moverá el robot para llegar a la posición de destino. Hay tres tipos de movimiento: Articular, lineal y circular.

El movimiento articular ejemplificado en la Figura 2.36 utiliza todo los eslabones del robot para alcanzar la posición deseada; el movimiento de cada uno inicia y termina al mismo tiempo. Se programa en la posición de destino. La velocidad está especificada como el porcentaje del total de la velocidad por defecto. La velocidad real del movimiento es dependiente de la velocidad del eje más lento.

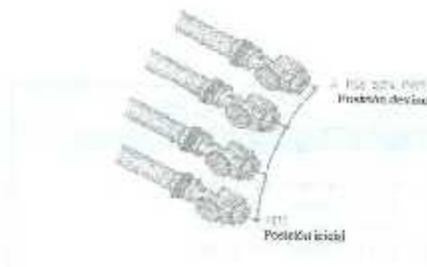


Figura 2.36: Movimiento articular

El movimiento lineal hace que el robot mueva el punto central de la herramienta en una *línea recta* desde la posición inicial hasta la posición destino. Igualmente se programa en la posición de destino (ver Figura 2.37). La velocidad está especificada en milímetros por segundo, centímetros

por segundo, pulgadas por minuto, grados por segundo, segundos, o milisegundos.

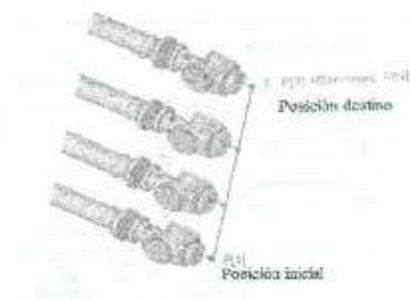


Figura 2.37: Movimiento lineal

Mientras que el movimiento circular mueve el punto central de la herramienta en un arco desde la posición inicial a través de un punto intermedio hasta la posición final. Ésta se programa en la posición intermedia de la trayectoria. La velocidad está dada en pulgadas por minuto, milímetros por segundo, y centímetros por minuto (Figura 2.38).

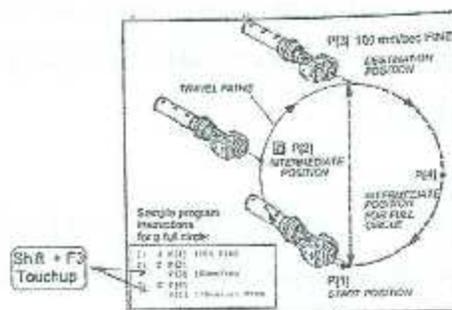


Figura 2.38: Movimiento circular

Existe otro tipo de movimiento circular llamado arco circular tipo A (ver Figura 2.39). En una instrucción de movimiento circular normal se deben grabar dos posiciones. En la instrucción de movimiento de arco circular tipo A, cada instrucción tiene una posición y el movimiento es realizado por más de tres instrucciones tipo A.

Este tipo de movimiento tiene las siguientes características:

- Es fácil agregar y eliminar un punto en el arco circular.
- La velocidad y el tipo de terminación puede ser especificada para cada posición.

- Instrucciones lógicas pueden ser escritas entre cada posición.

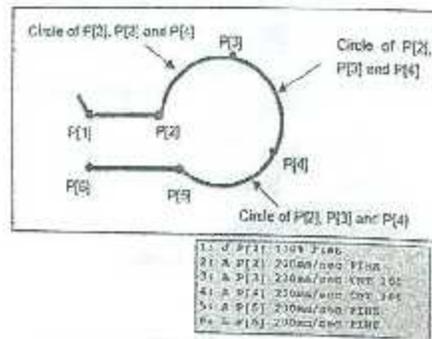


Figura 2.39: Movimiento arco circular tipo A

La velocidad indica que tan rápido el robot se mueve a una posición. Dependiendo del tipo de movimiento seleccionado, la velocidad puede ser especificada en porcentaje, duración (milímetro por segundo, centímetro por segundo, pulgada por minuto), grados de unidades angulares, o duración del tiempo de ejecución de un movimiento. Cuando el tipo de movimiento es articular (Joint) la velocidad del robot es definida como un porcentaje del máximo de la velocidad del robot, o tiempo. Cuando el tipo de movimiento es lineal la velocidad del robot está definida por una velocidad (distancia / unidad de tiempo).

Dentro de los movimientos existen dos terminaciones, fina y continua; éstas determinan cómo el robot terminará el movimiento en la posición. La terminación fina (FINE), mostrada en la Figura 2.40, se usa para el inicio y el final de la posición de soldadura; ésta posiciona al robot en el punto preciso donde la soldadura debe hacerse. La punta de la herramienta del robot acelera a la velocidad definida, y después desacelera conforme se acerca a la posición grabada y se detiene completamente antes de continuar a la siguiente posición.

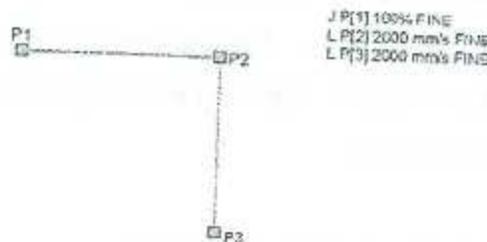


Figura 2.40: Terminación fina (FINE)

Se usa la terminación continua (CNT) para movimientos eficientes alrededor de obstáculos, se

programa la posición cerca del obstáculo y después se ajusta el valor del tipo de terminación acorde a las necesidades de la tarea. La terminación continua se utiliza para mezclar los movimientos de soldadura por arco sin problemas. Ésta permite al robot desacelerar conforme se acerca a la posición destino pero no se detiene en el punto grabado, sino que acelera hacia la siguiente posición.

El valor de 0 a 100 define qué tanto el robot se acerca a la posición destino. En 0 el robot está lo más cerca con una desaceleración máxima. En 100 el robot está lo más alejado con una mínima desaceleración; es la más lejana y más fiel a la velocidad del programa. El tipo 75 lleva la punta más cerca pero reduce la velocidad de acercamiento al 75 % del valor del programa; igualmente pasa con el tipo 50. El valor de la terminación continua se convierte en el porcentaje de velocidad disminuida a la siguiente posición registrada. Esto se ilustra en la Figura 2.41

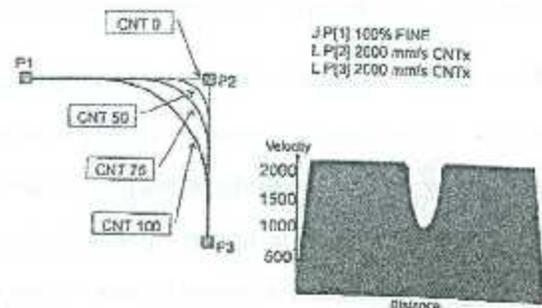


Figura 2.41: Terminación continua (CNT)

La ejecución del movimiento se realiza al presionar y sostener la tecla SHIFT del *Teach Pendant*, y se mantiene pulsada la tecla que corresponda al sentido en el cual se desea mover el robot; para detener el movimiento se suelta la tecla de movimiento o SHIFT.

2.3.4. Coordenadas del robot

Existen tres tipos de coordenadas en las que se pueden trabajar: Joint, XYZ (WORLD, USER y JOGFRM) y Tool.

2.3.4.1. Coordenadas Joint

En el sistema de coordenadas específicas JOINT, cada eje puede desplazarse en forma individual, en dirección positiva o negativa del eje. Se puede mover ejes simultáneamente. El movimien-

to en JOINT se mide en "grados °" (ver Figura 2.42).

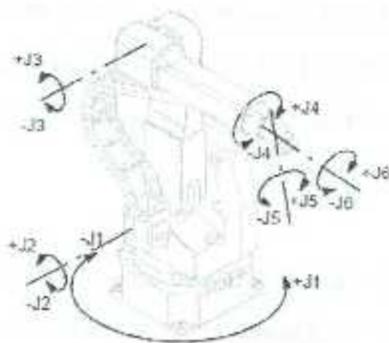


Figura 2.42: Coordenadas Joint

2.3.4.2. Coordenadas Cartesianas: XYZ WORLD (Coordenadas absolutas fijas)

El sistema de coordenadas WORLD es un sistema de coordenadas cartesianas, tridimensional, estático, universal, cuyo origen se encuentra en un punto conceptual, no físico, sobre cada unidad mecánica (ver Figura 2.43). Es un sistema definido por el propio software. Es origen para todo movimiento cartesiano. Viene definido de fábrica. Es fijo e inamovible. Al mover el robot, éste se mueve y gira el punto del centro de la herramienta sobre las direcciones y sentidos del sistema de coordenadas WORLD (propio del robot). El robot moverá todos sus ejes para mantener la linealidad del punto de centro de la herramienta.

Este marco está definido por defecto y no puede ser cambiado por el usuario. El origen del marco está localizado en la línea central de la articulación J1 y a la altura del eje central de la articulación J2. Las direcciones de este marco pueden ser representadas por la regla de la mano derecha.

2.3.4.3. Coordenadas Cartesianas: XYZ USER (Coordenadas relativas móviles)

El sistema de coordenadas USER es un sistema de coordenadas cartesianas, cuyo origen viene definido por el usuario. Se disponen de 9 sistemas de coordenadas USER programables.

Un marco de usuario (User frame) es un marco que se puede establecerse en cualquier ubicación con cualquier orientación. Estos son usados para que las posiciones en un programa puedan

ser grabadas relativas al origen del marco. Todas las posiciones en un programa son guardadas automáticamente en el marco del usuario. Si no se establece la ubicación y orientación del marco de usuario antes de crear un programa, el marco será establecido por defecto al marco WORLD en el programa.

Existen tres métodos para establecer un marco de usuario:

- Método de los tres puntos.
- Método de los cuatro puntos.
- Método directo de entrada.

Para definir un marco de usuario se hace de la siguiente manera:

1. Presionar MENU.
2. Seleccionar SETUP.
3. Presionar F1 [TYPE].
4. Seleccionar *Frames*.
5. Presionar F2, DETAIL.
6. Seleccionar un marco: presionar F3 (FRAME), ingresar el número de marco deseado y presionar ENTER.
7. Presionar F2, [METHOD], y seleccionar el método para definirlo.

Para definir el marco de usuario por el método de los tres puntos,

1. Agregar un comentario o nombre de marco: mover el cursor a la línea de comentario y presionar ENTER, seleccionar el método de entrada para nombrar el comentario y cuando se termine presionar ENTER.
2. Definir el punto de origen del marco: mover el cursor a Orient Origin Point. Mover el punto central de la herramienta del robot a él origen y presionar SHIFT y F5 para grabar la ubicación.

3. Definir el punto de dirección X positiva: mover el cursor a la línea X Direction Point. Mover el punto central de la herramienta del robot en la dirección positiva de X deseada y presionar SHIFT y F5 para grabar la ubicación.
4. Definir el punto de dirección X-Y positiva: mover el cursor a la línea Y Direction Point, mover el punto central de la herramienta del robot en la dirección positiva de X-Y deseada y presionar SHIFT y F5 para grabar la ubicación.

2.3.4.4. Coordenadas Cartesianas: XYZ JOGFRM (Coordenadas relativas fijas)

El sistema de coordenadas JOGFR es un sistema de coordenadas cartesianas cuyo origen viene definido por el usuario. Se utiliza para mover linealmente de manera eficaz el robot respecto de un área de trabajo. A diferencia del USER, las coordenadas JOGFRM no tienen un significado especial, por eso no se revelan en ningún tipo de pantalla.

Se trata de seleccionar la posición más conveniente para definir el sistema de coordenadas de movimiento JOGFR que más adelante nos será de gran utilidad a la hora de mover el robot. Se disponen de 5 sistemas de coordenadas JOGFRM programables.

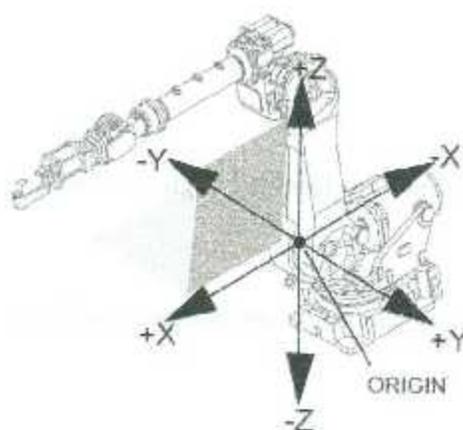


Figura 2.43: Coordenadas XYZ.

2.3.4.5. Coordenadas Cartesianas: TOOL

El sistema de coordenadas TOOL es un sistema de coordenadas cartesianas cuyo origen es definible por el usuario y programable, es decir, puede ser móvil (ver Figura 2.44). Se disponen

de 9 sistemas de coordenadas *TOOL*, programables. *TOOL* define la herramienta que se usa en un determinado momento. Mueve el punto del centro de la herramienta en dirección X, Y, Z y gira sobre X (*w*) o Yaw, Y (*p*) o Pitch, Z (*r*) o Roll en el marco *TOOL*, de la herramienta seleccionado.

Por defecto está ubicado en el centro de la placa frontal del robot, este es el origen de la herramienta o ubicación cero. Cuando se establece un marco *Tool*, también llamado *UTool*, se mueve el punto central de la herramienta de la placa frontal del robot para definir el punto en la antorcha donde el trabajo es realizado.

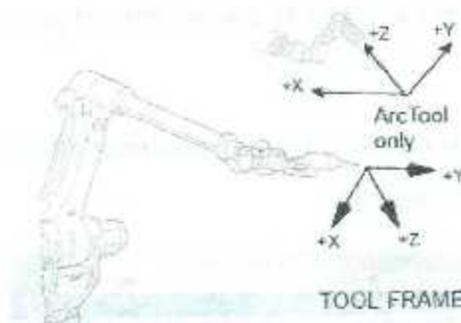


Figura 2.44: Coordenadas *TOOL*

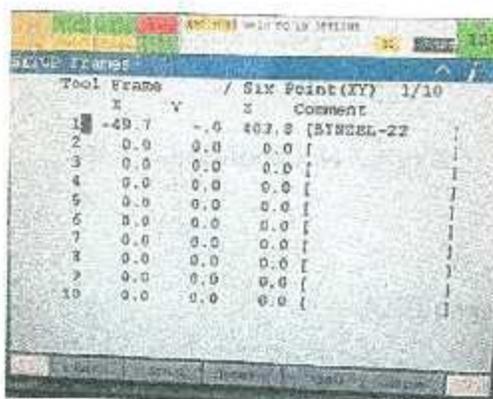
Métodos para definir el marco *TOOL*:

- Método de los tres puntos. Define la ubicación del punto central de la herramienta cuando los valores no pueden medirse y ser directamente ingresado. La dirección positiva de Z se mueve hacia el trabajo.
- Método de los seis puntos. Igual al método de los tres puntos pero permite especificar la dirección de X o la de X y Z.
- Método directo de entrada. Es usada cuando las dimensiones de la herramienta son conocidas y pueden ser ingresados directamente en los ajustes del marco *TOOL*. Este método de entrada debe ser usado con robots de cuatro ejes.

Para el software *ArcTool* solamente deben utilizarse los métodos de seis puntos y el directo para establecer el punto central de la herramienta. Para la soldadura con oscilación el método de los tres puntos no funcionará correctamente.

Para definir un marco TOOL:

1. Presionar MENU.
2. Seleccionar SETUP.
3. Presionar F1, [TYPE].
4. Seleccionar *Frames*.
5. Para seleccionar el grupo de movimiento para el marco que se establece en sistemas con múltiples grupos, presionar F3, [OTHER], y seleccionar el grupo que se desea. El grupo por defecto es Group 1.
6. Para mostrar los ajustes de todos los marcos, presionar PREV repetidamente hasta que se muestre la pantalla de la Figura 2.45.



Pool Frame	X	Y	Z	Six Point (XY)	1/10
1	-49.7	-0	402.0	(SYMBOL-22)	
2	0.0	0.0	0.0		
3	0.0	0.0	0.0		
4	0.0	0.0	0.0		
5	0.0	0.0	0.0		
6	0.0	0.0	0.0		
7	0.0	0.0	0.0		
8	0.0	0.0	0.0		
9	0.0	0.0	0.0		
10	0.0	0.0	0.0		

Figura 2.45: Pantalla *Frames*

7. Para establecer los valores numéricos a cero, mover el cursor al número de marco. En seguida presionar F4, CLEAR. Finalmente, dar YES para confirmar.
8. Presionar F2, DETAIL.
9. Seleccionar marco.
10. Presionar F3, FRAME.
11. Ingresar número de marco deseado y presionar ENTER.
12. Presionar F2, [METHOD]. Escoger de: método de los tres puntos, método de los seis puntos, método de entrada directa.

Para el método de los tres puntos se siguen los siguientes pasos:

1. Mover el cursor a la línea de comentario y presionar ENTER.
2. Seleccionar el método de nombramiento.
3. Presionar las teclas de función apropiadas para ingresar el comentario. Cuando se termine presionar ENTER.
4. Grabar el primer punto de acercamiento: mover el cursor a *Approach point 1*. Mover el robot tal que la punta de la herramienta toque un punto de referencia (ver Figura 2.46); presionar y mantener presionado SHIFT y presionar F5, RECORD.
5. Grabar el segundo punto de acercamiento: Mover el cursor a *Approach point 2*, rotar la placa frontal del robot sobre el eje z de las coordenadas de la herramienta. Rotaciones grandes, cerca de 90°, dan los mejores resultados. Sin embargo, rotaciones más pequeñas pueden ser usadas si el movimiento está restringido por cableado u otros accesorios. Mover el robot tal que la punta de la herramienta toque el punto de referencia (ver Figura 2.46); y presionar y mantener presionado SHIFT y presionar F5, RECORD.
6. Grabar el tercer punto de acercamiento: Mover el cursor a *Approach point 3*, rotar la herramienta sobre los ejes X, Y, y Z de las coordenadas de la herramienta. Los tres ángulos de acercamiento deben converger en el mismo punto en el espacio. Mover el robot tal que la punta de la herramienta toque el punto de referencia (ver Figura 2.46); y presionar y mantener presionado SHIFT y presionar F5, RECORD.

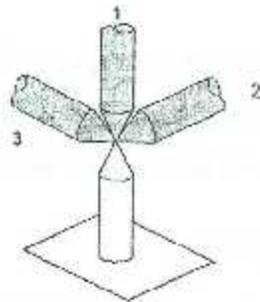


Figura 2.46: Puntos de acercamiento en método de los tres puntos

Para enseñar el método de los seis puntos se necesitan dos condiciones:

- Asegurarse que el largo del micro-alambre saliente sea correcto para la soldadura. Típicamente es de 12 mm a 19 mm.

-
- El robot está posicionado tal que el punto de centro de la herramienta (la punta del micro-alambre) está tocando la punta del puntero ilustrado en la Figura 2.47.

Pasos a seguir:

1. Presionar MENU.
2. Seleccionar SETUP.
3. Presionar F1, [TYPE].
4. Seleccionar *Frames*.
5. Si el marco de la herramienta no se muestra, presionar F3, [OTHER], y seleccionar *Tool Frame*.
6. Presionar F2, [DETAIL].
7. Para seleccionar un marco: presionar F3, FRAME, ingresar el número del marco deseado y presionar ENTER.
8. Presionar F2, [METHOD].
9. Seleccionar *Six Point*.
10. Agregar un comentario o nombre de marco; cuando se termine de ingresar presionar ENTER.
11. Grabar el primer punto de acercamiento y el punto de orientación de origen: asegurarse que el robot está en la posición de referencia con la antorcha paralela al eje Z y la punta del micro-alambre esta tocando la punta del puntero (ver Figura 2.47).
 - Mover el cursor a *Approach point 1*.
 - Presionar y sostener SHIFT y presionar F5, RECORD.
 - Mover el cursor a *Orient Origin Point*, presionar y sostener SHIFT y presionar F5, RECORD.
12. Definir la dirección X:
 - Mover el cursor a *X Direction Point*, cambiar el sistema de coordenadas a WORLD.

-
- Mover el robot a lo largo de la dirección del eje X positivo al menos 250 mm, presionar y sostener SHIFT y presionar F5, RECORD.
 - Mover el cursor a *Orient Origin Point*, presionar y sostener SHIFT y presionar F4, MOVE_TO.

13. Definir la dirección Z: mover el cursor a *Z Direction Point*, y realizar las acciones del paso 12 con la diferencia de que el robot se moverá en la dirección positiva del eje Z.

14. Grabar el segundo punto de acercamiento:

- Mover el robot en coordenadas WORLD en la dirección del eje Z positivo aproximadamente 50 mm.
- Mover el cursor a *Approach point 2*, rotar el eje 6 en coordenadas JOINT al menos 90° (no más de 360°).
- Mover el robot (usando solamente los ejes X, Y, Z) hasta que el punto central de la herramienta toque la punta del puntero (ver Figura 2.47); presionar y sostener SHIFT y presionar F5, RECORD.
- Mover el robot en la dirección del eje Z positivo aproximadamente 50 mm, mover el cursor a *Orient Origin Point*, presionar y sostener SHIFT y presionar F4, MOVE_TO, hasta que el punto central de la herramienta regrese a la punta del puntero.

15. Grabar el tercer punto de acercamiento:

- Mover el robot en coordenadas WORLD en la dirección de Z positiva aproximadamente 50 mm.
- Mover el cursor a *Approach point 3*, rotar el punto central de la herramienta sobre el eje X positivo (w) aproximadamente 35° a 90°.
- Mover el robot (usando solamente los ejes X, Y, Z) para que el punto central de la herramienta toque la punta del puntero (ver Figura 2.47); presionar y sostener SHIFT y presionar F5, RECORD.
- Mover en coordenadas WORLD en la dirección de Z positiva aproximadamente 50 mm; mover el cursor a *Orient Origin Point*, presionar y sostener SHIFT y presionar F4, MOVE_TO.

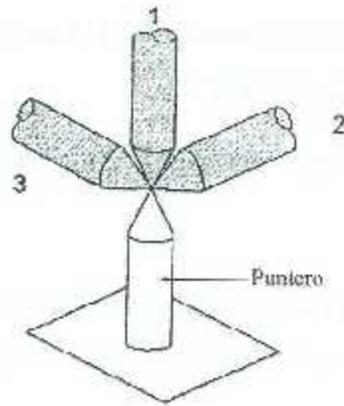


Figura 2.47: Puntero para Método de los seis puntos

El método directo de entrada pide conocer las dimensiones de la herramienta y se procede de la siguiente manera:

1. Seleccionar *Direct Entry*.
2. Agregar un comentario y terminar con ENTER.
3. Establecer cada componente de posición. Mover el cursor al componente, ingresar el valor numérico del componente y presionar ENTER para establecer el nuevo valor.
4. Seleccionar el marco de herramienta que se usará, presionar F5, SETIND. Ingresar el número del marco que se desea y presionar ENTER.

Y finalmente para establecer el marco de la herramienta creado se presiona y mantiene presionado SHIFT y se presiona COORD. Mover el cursor a *TOOL* e ingresar el número del marco que se desea usar. Presionar COORD y seleccionar *TOOL* como el método de avance.

Capítulo 3

Equipo de soldadura robotizada Lincoln Electric Power Wave i400

Para realizar el estudio experimental de parámetros de soldadura robotizada se ha utilizado la estación de soldadura del ITI, compuesta además del robot Fanuc 100iC por un alimentador de micro-alambre AutoDrive 4R100, el equipo de soldadura robotizada Power Wave i400 de la empresa dedicada al desarrollo y producción de equipos de soldadura, Lincoln Electric, y la antorcha de soldadura Abicor Binzel A500 con un ángulo de 22°.

La estación de soldadura es como cualquier otro equipo para soldadura GMAW, pues dispone de los elementos habituales: Fuente de corriente, dispositivos de control y regulación en función de las señales eléctricas, digitales o analógicas, que envía el controlador del robot, el arrastre del micro-alambre seleccionado para cada combinación de parámetros y la supervisión de estado que genera mensajes de error y detiene la tarea en caso de ser necesario.

3.1. Alimentador

El equipo utiliza el alimentador industrial *AutoDrive 4R100* (ver Figura 3.1), éste es un accionador de alambre de 4 rodillos, compacto pero poderoso, para aplicaciones robóticas y de automatización duras. El modelo de alimentador está optimizado para la familia de brazos robóticos

FANUC ARC Mate iC, maximiza la velocidad del brazo y el puesto de trabajo. Dentro del *AutoDrive 4R100* se encuentra el sistema de mando de alambre MAXTRAC.

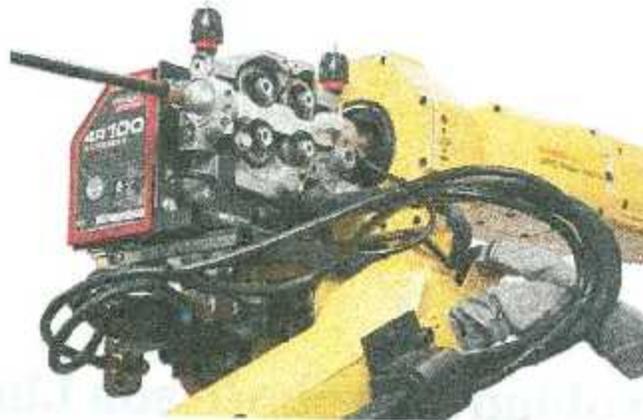


Figura 3.1: Alimentador AutoDrive 4R100

El mecanismo de alimentación ofrece alimentación estable de todos los tamaños y tipos de alambre. Ofrece guías de alambre divididas y cambio de rodillos impulsores sin herramientas; una caja de cambios de ángulo derecho transfiere eficientemente alimentación de motor para alto torque y alta velocidad.

El diseño de este alimentador está integrado como un *nido* en la parte superior del brazo robótico. El par resulta en una aceleración más rápida y tira de forma fiable el micro-alambre a través del conducto; incluye un tacómetro de alta resolución para el control adecuado de la velocidad de alimentación del micro-alambre, hacia delante y de reversa. El peso ligero maximiza la velocidad del brazo y campo de trabajo.

El alimentador del micro-alambre es controlado y operado por un robot, una caja de control o la interfaz del usuario en la fuente de poder.

3.2. Máquina de soldar

Una plataforma de poder y control que mejora el funcionamiento y la confiabilidad es utilizada en esta estación de soldadura. La Power Wave i400 (ver Figura 3.2) es una tecnología de alto rendimiento y procesos de soldadura avanzados todo incluido en una fuente de poder invertida.

eficiente, diseñada para operaciones de soldadura robotizada. Cuenta con armazón que permite el acceso para el mantenimiento de la parte encargada de la energía. Está diseñada para soportar el controlador Fanuc R30i. Es utilizado principalmente para la fabricación robotizada.



Figura 3.2: Power Wave i400

El único interruptor que se encuentra al frente de la máquina es el interruptor de encendido y apagado; debe estar encendido el equipo para habilitar la soldadura y utilizar las teclas del control retráctil del micro-alambre en el *Teach Pendant*.

3.2.1. Características

- Diseño flexible, está diseñado para integrarse con el controlador FANUC Robotics SYSTEM R-30i, o para ser usado de forma separada que satisfaga las necesidades del usuario.
- Resultados de soldadura de calidad y consistentes. La tecnología desarrollada por Lincoln Electric proporciona la cualidad de seleccionar la forma de onda adecuada para cada aplicación, esto significa que el arco está optimizado para cada tipo de micro-alambre/electrodo y tamaño del mismo para un desempeño excepcionalmente suave.
- Comunicación digital de alto desempeño.
- Con un rango de 5 a 420 amperes de salida, entrega la energía que necesita el usuario para un rango bastante amplio de procesos y materiales, sin disminuir las formas de onda del pulsado.

- Se puede agregar una unidad extractora de gases, enfriamiento por agua, una computadora u otros accesorios.
- Usa el servidor del usuario o un servidor basado en la nube para ver y analizar los datos de soldadura en casi cualquier dispositivo: computadora de escritorio, portátil, smartphone y otros. Realiza seguimientos de uso del equipo, almacena datos de soldadura, configura límites de fallas y más.

3.3. Antorcha Abicor Binzel A500

La antorcha mostrada en la Figura 3.3 está unida al final del brazo robótico y realiza el trabajo de soldadura. El software ArcTool controla la antorcha y al equipo de soldar. En 2003/2004 se introduce la antorcha *ABIROB® A500* de enfriamiento por aire para la soldadura robótica en un grado medio de automatización. Esta antorcha es usada en la industria de la soldadura de gas inerte usando gases inertes (MIG) o gases activos (MAG).

La antorcha instalada en esta estación de soldadura robotizada garantiza precisión consistente gracias a su construcción robusta. El sistema de enclavamiento permite que el cambio del montaje de cable sea rápido mientras el punto de centro de la herramienta sigue siendo el mismo. Como ventajas se pueden mencionar el diseño modular compacto, un diseño delgado que optimiza la accesibilidad, una estabilidad y reproducibilidad alta con una máxima seguridad para el punto de centro de la herramienta, incluso en caso de colisión, y puede ser utilizada en todas las posiciones de soldadura.

Este modelo, Abicor A500, es del tipo de enfriamiento por aire, un ciclo de trabajo del 100%. Soporta micro-alambre con diámetro o espesor de 0.8 mm a 1.6 mm, y tiene cuatro geometrías de la antorcha: 0°/22°/35°/45°.



Figura 3.3: Antorcha ABIROB A500

Todos los elementos juntos forman una unidad operativa que provee un arco de plasma para la soldadura. El micro-alambre que se requiere para la soldadura es alimentado por el sistema hasta la punta de contacto. La punta de contacto transmite la corriente de soldadura a el micro-alambre de soldadura, produciendo un arco entre el y la pieza de trabajo. El arco y la piscina fundida son protegidos por el gas inerte.

Capítulo 4

Parámetros de soldadura robotizada

En la soldadura manual o semiautomática, todas las variables son controladas por el soldador. La formación del baño en el inicio del cordón, el seguimiento de la trayectoria, la inclinación de la pistola y el relleno final de acabado, que son aspectos importantes en una soldadura de calidad, son decididos en todo momento por el profesional cualificado, de acuerdo a su experiencia. Esto es posible porque el soldador ve la evolución del baño de fusión, e interpreta, según los conocimientos adquiridos con el tiempo, lo que está pasando, corrigiendo hábilmente las desviaciones del óptimo buscando que vayan apareciendo. Para tratar de automatizar todos los aspectos involucrados en la soldadura se han implementado en los controles computarizados de los brazos robóticos las variables programables de la soldadura robotizada [Romaní Lahanda, 2005].

Las mejores condiciones de soldadura son determinadas por la combinación de factores como el tipo de metal base, la geometría de las partes soldadas y el proceso de soldadura [Lee y Urn, 2000].

Los parámetros de soldadura del proceso GMAW influyen en la calidad, productividad y el costo de la unión de soldadura. El arco perfecto se logrará si todos los parámetros de soldadura están en confirmación [Ibrahim, Mohamat, Amir y Ghalib, 2012]. Estos parámetros consisten en la corriente de soldadura por arco, el voltaje de arco, la velocidad de soldadura, el ángulo de la antorcha, la distancia de la punta de contacto al punto de trabajo, la distancia de la boquilla al punto de trabajo, la posición y la dirección de soldadura, y por último el caudal del gas [Karadeniz, Ozsarac y Yildiz, 2007].

Los parámetros que intervienen en la soldadura se pueden clasificar en tres grandes grupos, en muchos casos opcionales según el tipo de cordón que se desee [EANUC Robotics America, 2001]:

- Para el comienzo y final del cordón.
 - Tiempo de purga de circuito de gas (seg.).
 - Tiempo de pre-flujo con antorcha situada (seg.).
 - Velocidad de alimentación de hilo durante el encendido (IPM, Inch per minute). En GMAW determina la intensidad de encendido.
 - Tiempo de detección de arco (seg.). Los parámetros de encendido estabilizan el arco durante el tiempo programado.
 - Tiempo de relleno de cráter (seg.). Al terminar un cordón de soldadura y apagar el arco, siempre se produce una contracción, conocida como cráter, estos causan zonas de tensión y son la parte más débil de la soldadura por eso deben rellenarse debidamente.
 - Tiempo de post-quemado (seg.). Es cuando se apaga el equipo recogiendo el hilo, esto evita que se quede pegado al baño de relleno.
 - Voltaje (Volts).
 - Tiempo de post-flujo de gas (seg.). Garantiza la protección tras el apagado del arco.
- Para el cordón de soldadura.
 - Velocidad de avance (IPM, Inch per minute). Es independiente de cualquier otro valor programado para el posicionamiento y se mantendrá a lo largo de toda la trayectoria mientras que el arco este encendido.
 - Tensión programada (Volts).
 - Velocidad de alimentación de hilo (IPM, Inch per minute). Durante la soldadura determina la intensidad de encendido.
- Para caracterizar las formas de oscilación programables.
 - Forma de onda (Seno, 8, L, Circulo).
 - Tipo de oscilación. Usa todos los ejes necesarios para adaptarse a la geometría programada o sólo la muñeca del robot.
 - Longitud, amplitud y altura (mm). Sobre el plano del cordón determinan la onda de base.

-
- Frecuencia (Hz).
 - Dwell¹ time izquierda y dwell time derecha (seg.).
 - Tipo de marco. Configura el marco de referencia que el sistema usa para definir el marco de oscilación.
 - Elevación (grados).
 - Azimutal (grados). Éste permite cambiar el ángulo de oscilación si no se puede rotar la herramienta.
 - Centro de ascenso (mm).
 - Radio (mm). Especifica la distancia de oscilación para el tipo de oscilación círculo.

Otro grupo importante es el de los parámetros constantes.

- Grueso del metal base.
- Diámetro del hilo.
- Gas de protección.
- Abertura de la punta.
- Largo del hilo libre. Al variar la longitud del electrodo, ésta afecta la corriente aplicada en el arco. La extensión del electrodo incluye sólo la longitud del electrodo sin considerar la longitud del arco.
- Distancia del arco.
- Ángulo de avance. La antorcha apuntando en dirección de la soldadura se considera un ángulo de empuje (push angle) y cuando la antorcha apunta en dirección opuesta a la progresión de la soldadura es un ángulo de arrastre (drag angle).
- Ángulo de trabajo.
- Ángulo de la antorcha.
- Composición del electrodo.

¹ Estar inmóvil por un cierto intervalo de tiempo durante la operación.

En la Figura 4.1 se muestra la secuencia en la que actúan los parámetros en la soldadura MIG.

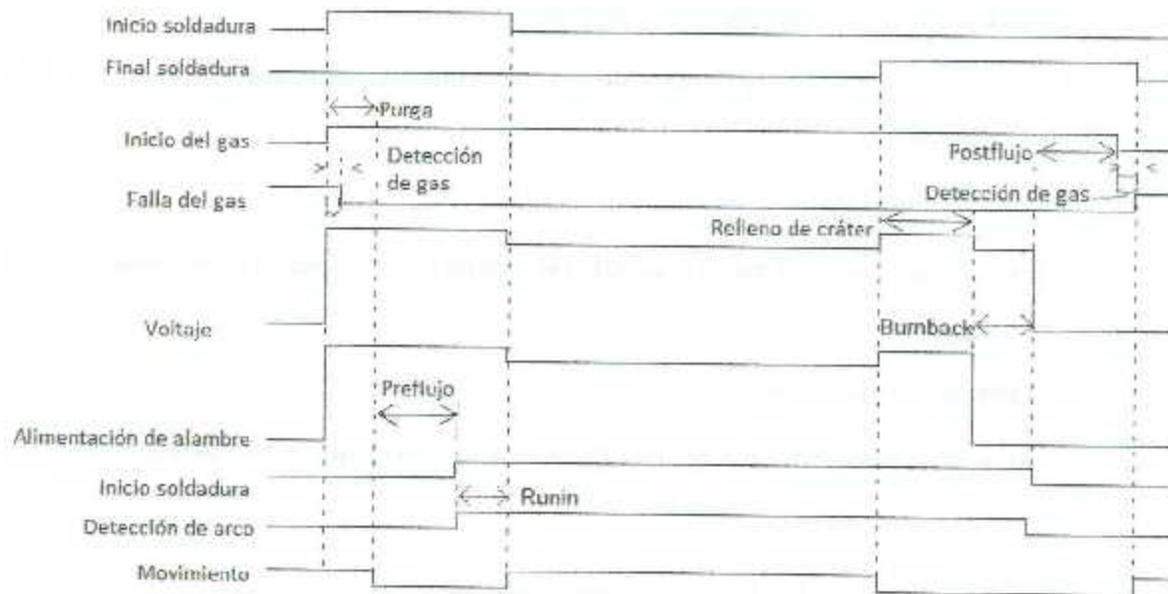


Figura 4.1: Secuencia de soldadura MIG.

4.1. Software ArcTool

ArcTool es un software de aplicación de soldadura que integra al robot y el controlador R-30iB, diseñado para simplificar y estandarizar la configuración y funcionamiento de las aplicaciones de soldadura por arco del robot. Las instrucciones de soldadura de arco se escriben en inglés en lugar de comandos codificados [FANUC Robotics America, 2001].

La funcionalidad completa se proporciona en la consola portátil para el proceso de soldadura: instalación, operación y solución de problemas, incluyendo el diagnóstico, informes de estado y error de información de recuperación. El editor de la unidad de programación (TPP, Teach Pendant Programming) es fácil de usar y permite una programación rápida utilizando terminología común de soldadura.

4.1.1. Características del ArcTool

- Completo control a través de una consola portátil con un display grande para una vista completa de los programas y datos que permite una funcionalidad de aplicación total.

- La capacidad multi-tarea reduce el tiempo de ejecución y permite el control de dispositivos externos usualmente controlados por un controlador de celda lógico programable.
- Proceso de arco y control de movimiento. Mejora la calidad del proceso de soldadura con la habilidad de mirar adelante, resultando en un inicio más rápido del arco y aumentando la productividad.
- La capacidad de recuperación de falla en energía incrementa la producción permitiendo la recuperación del programa y datos en el evento de pérdida de energía.
- Características de control avanzado que permite un movimiento rápido, suave punto a punto, lo cual incrementa arco en tiempo y velocidad de ciclo.
- Control independiente de hasta cinco grupos de movimiento. Soporta superposición de movimiento del servo controlado por dispositivos periféricos.

4.1.2. Instrucciones de soldadura

El controlador utiliza procedimientos de soldadura (ver Figura 4.2) que son archivos que definen como será realizada la soldadura. Estos contienen los horarios de soldadura, las entradas y salidas de la soldadura, ampliación de la información y otros elementos de establecimiento que habilitan características y ajuste de tiempo. Los procedimientos de soldadura pueden ser modificados, copiados, guardados, cargados o borrados como archivos [FANUC Robotics America, 2013].

Se pueden definir y usar múltiples procedimientos de soldadura, cada uno tendrá su propio conjunto de horarios de soldadura. Un procedimiento contiene tres horarios por defecto cuando es creado. El menú de datos de los procedimientos de soldadura se diseñó para un acceso fácil a toda la información de soldadura en un sólo menú.

Para crear un nuevo procedimiento:

1. Presionar MENU.
2. Seleccionar DATA, o presionar la tecla DATA.
3. Presionar F1, [TYPE].

4. Seleccionar *Weld Procedure* (procedimiento de soldadura), se mostrará la pantalla de la figura 4.2.
5. Presionar F3, [CMND] e ingresar en *Create WP*.
6. Ingresar el número de procedimiento.
7. Presionar F4, YES.



Figura 4.2: Pantalla Procedimiento de soldadura 1

Para seleccionar el proceso de soldadura debe estar el multiproceso habilitado en la pantalla de selección de inicio del controlador. Las condiciones del controlador son: inicio frío y que la unidad Power Wave esté encendida.

Procedimiento de selección del modo de soldadura:

1. Crear un nuevo procedimiento o mover el cursor al procedimiento que se desea modificar.
2. Posicionar el cursor en *Mode*, presionar F3, [CMND] e ingresar en *Search*.
3. Buscar el número de modo que se desea y presionar SELECT.

Para el control de las condiciones de soldadura el software usa horarios, *Schedules*, éstos definen la información que determina cómo será realizada la soldadura. Se puede acceder a los horarios de soldadura desde el menú DATA; hay dos pantallas asociadas a estos horarios: la pantalla *SCHEDULE* y la pantalla de *DETAIL* de cada horario.

La pantalla *SCHEDULE* permite visualizar y establecer información limitada para múltiples horarios a la vez, mientras que *DETAIL* (ver Figura 4.3) permite visualizar y establecer la información completa para un solo horario. Por defecto hay disponibles 32 horarios de soldadura. La tabla 4.1 enlista y describe cada uno de los elementos del horario de soldadura.

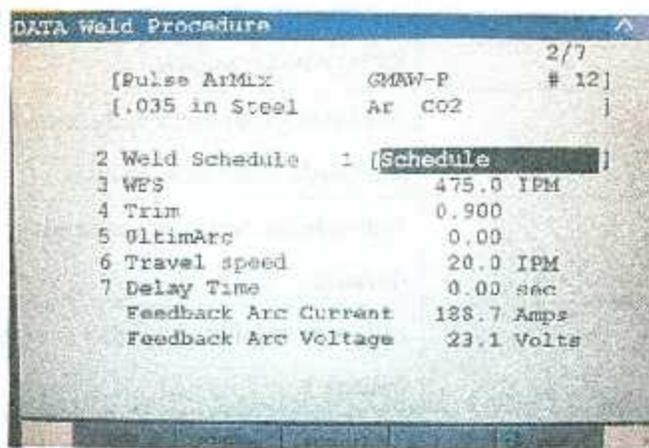


Figura 4.3: Pantalla de detalles de horario

Tabla 4.1: Elementos del horario de soldadura.

Proceso de soldadura	Descripción
Program select [número][comentario]	Muestra el número y nombre del programa del controlador que está siendo usado con el horario seleccionado. Se puede cambiar el programa en esta pantalla.
Weld Schedule [número][comentario]	Estos elementos muestran el número del horario para el cuál se está mostrando la información y el comentario sobre el horario.
Comando de Wire Feed	Es la velocidad de alimentación de microalambre.
Trim (para procedimientos GMAW pulsado)	Es un comando de referencia para el largo del arco en el GMAW pulsado
UltimArc	Permite al operador variar las características de arco de suave a crujiente. Es ajustable -10.0 a 10.0 con un ajuste nominal de 0.0.

Tabla 4.1 (Cont.): Elementos del horario de soldadura.

Travel speed	Es la velocidad a la que el robot se moverá durante la soldadura, las unidades están definidas en el menú SETUP Weld System.
Delay Time	Es el tiempo de retraso durante el relleno del cráter al final de la soldadura de arco.
Feedback Arc Current	Indica la corriente de realimentación de la última soldadura.
Feedback Arc Voltage	Indica la tensión de realimentación de la última soldadura.

DATA Weld Procedure 1				
Wire:		Steel		17/23
Schedules				
Schedule	IPM	Trim	Speed	Time
Schedule 1	475.0	0.9	20.0	0.00
Schedule 2	0.0	0.0	50.0	0.00
Schedule 3	0.0	0.0	50.0	0.00
Burnback	300.0	1.0		0.05
Wirestick	300.0	1.0		0.10
OnTheFly	11.4	0.0	1.0	

Figura 4.4: Pantalla de horarios en procedimiento

Pasos para mostrar y editar los horarios de soldadura:

1. Presionar DATA.
2. Presionar F1, [TYPE].
3. Seleccionar *Weld Procedure* y mover el cursor al horario del procedimiento que se desea modificar (ver Figura 4.4).
4. Para editar el horario, mover el cursor al elemento que se desea cambiar, ingresar el nuevo valor y presionar ENTER.

-
5. Presionar F2, DETAIL, para mostrar más información sobre un horario.
 6. Para regresar a la pantalla de horarios presionar F2, SCHEDULE, o presionar PREV.

4.1.3. Instrucciones de forma de onda

Las instrucciones de forma de onda le dicen al robot que patrón de onda usar para la soldadura de arco con oscilación. El *weaving* es una oscilación de la antorcha en un patrón específico. La acción de oscilación es usada con el movimiento circular y lineal del robot solamente. Permite que la oscilación se detenga cuando hay un movimiento articular entre soldaduras y que se reinicie la oscilación en el siguiente movimiento lineal.

Se debe enseñar la posición de inicio y la posición final para cada oscilación. Hay diez instrucciones de patrones de onda:

- Seno, Sine [i]
- Seno, Sine [Hz, A, s, s]
- Figura 8, Figure 8 [i]
- Figura 8, Figure 8 [Hz, A, s, s]
- Círculo, Circle [i]
- Círculo, Circle [Hz, A, s, s]
- Seno 2, Sine 2 [i]
- Seno 2, Sine 2 [Hz, A, s, s]
- Figura L, L [i]
- Figura L, L [Hz, A, s, s]

Donde [i] es el horario de forma de onda y [Hz, A, s, s] es frecuencia, amplitud, tiempo de estadia izquierda y tiempo de estadia derecha.

4.1.3.1. Onda Seno

La onda seno crea un patrón senoidal de oscilación (ver Figura 4.5). El plano del patrón está determinado por el marco de oscilación y la elevación del ángulo de la onda. Este patrón es usado comúnmente en la soldadura de arco por su flexibilidad.

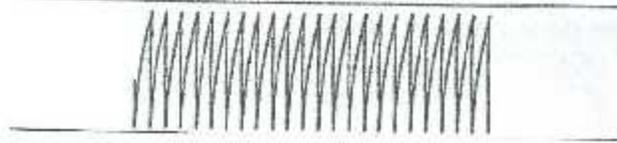


Figura 4.5: Onda *Sine* (Seno)

4.1.3.2. Onda Seno 2

Este patrón es similar a la onda seno, pero la oscilación es generada en dos fases en lugar de cuatro. El resultado es una onda de mayor frecuencia.

4.1.3.3. Onda Figura 8

La onda de figura 8 crea un patrón de serpenteado (ver Figura 4.6). El plano del patrón está determinado por el marco de la onda y la elevación. El patrón es usado para:

- Aplicaciones de soldadura pesada.
- Soldadura fuera de posición.
- Revestimiento y revestimiento duro.
- Tolerancias de piezas pobres.
- Grandes condiciones de separación.
- Pases de cubierta.

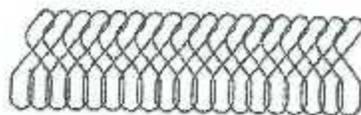


Figura 4.6: Onda Figure 8 (Figura 8)

4.1.3.4. Onda Círculo

El patrón de onda círculo crea un patrón redondo y uniforme (ver figura 4.7), el plano de la onda es determinado por el marco de la onda y la elevación. Esta onda es usada para:

- Material de calibre fino tal como chapa metálica.
- Grandes condiciones de separación.
- Juntas de recubrimiento.
- Soldaduras cosméticas.

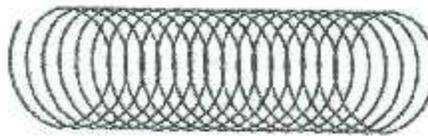


Figura 4.7: Onda Circle (Círculo)

4.1.3.5. Onda figura I.

Este patrón genera un movimiento de la antorcha en una forma de ángulo recto (ver Figura 4.8). Este patrón se utiliza para junta de soldadura de filete y ranura en V. El ángulo de elevación o el plano de la onda se ajustan para emparejar la orientación de la junta de soldadura.

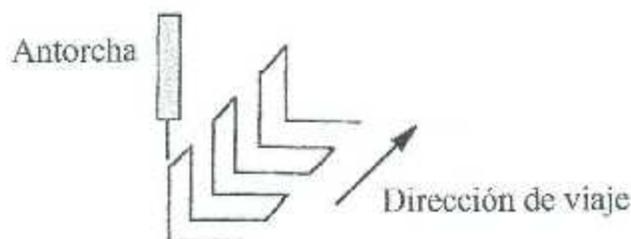


Figura 4.8: Onda figura I.

Capítulo 5

Roboguide

FANUC proporciona una herramienta interactiva para la creación y simulación de un ambiente virtual de una estación de trabajo. Esta herramienta de animación que permite una verificación de bajo costo y rápida de un sistema de aplicación robótico, así como la creación de diseño para dispositivos y máquinas. Se puede hacer una reducción del tiempo de arranque y el tiempo de mantenimiento con el chequeo en línea así como una simulación precisa del movimiento del robot y aplicación de comandos por robot virtual. Otra de sus características son las aplicaciones para herramientas específicas con un alto grado de eficiencia y un paquete de traductor ASCII, el cual convierte archivos del robot entre binario y ASCII.

Cuenta con una interfaz precisa de diseño a confirmación del sistema del robot. Las tareas en el sistema de manera física son el diseño del concepto, verificación del proceso, enseñanza (teaching) y programación, y confirmación del movimiento del robot. Mientras que utilizando el software ROBOGUIDE, se modela mediante la función de librería, se posiciona el robot y las piezas de trabajo por una función de diseño. Se puede revisar la postura del robot mediante una gráfica de la carrera del robot, simulación de la programación en *Teach Pendant*, simulación de comandos del robot FANUC y gran exactitud en la simulación. También permite la descarga del programa al robot.

La función de modelado reduce el tiempo para la modelación de dispositivos ya que se seleccionan los objetos de la librería y se modifican usando dimensiones establecidas. Se pueden

importar datos CAD para la creación de partes y crear partes usando la función de modelado. La función de diseño cambia el diseño con la operación del ratón en una pantalla gráfica y por entradas numéricas.

La función de programa utiliza la misma interfaz que el *Teach Pendant* del robot y crea el programa actual usando movimientos visuales para mover al robot y grabar puntos. Existe la función de simulación que utiliza un robot virtual, la simulación no solo es del movimiento del robot sino también de los comandos y es muy preciso usando el simulador del robot. El paquete traductor ASCII hace la traducción de los programas del robot, traducción de variables del sistema y traducción KAREL de texto a binario y viceversa.

Este trabajo utilizó la aplicación WeldPRO (ver Figura 5.1). Esta crea automáticamente el programa del *Teach Pendant* a partir de los datos de la forma de la pieza de trabajo. Se puede seleccionar la línea del arco de soldadura incluso si la forma de la pieza es compleja y genera el programa del arco de soldadura automáticamente; la orientación de la herramienta se mantiene en el ángulo relativo designado al camino de soldadura.



Figura 5.1: Pantalla de inicio del software ROGUIDE WeldPRO

Para la creación de un proyecto, así le llaman al diseño de una celda de trabajo, presionar el botón *New Cell* de la barra de herramientas. Esté abrirá un ayudante como se muestra en la Figura 5.2.

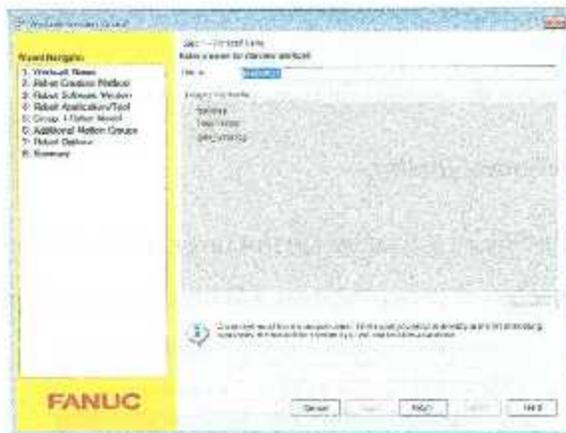


Figura 5.2: Ayudante para la creación de un proyecto en ROBOGUIDE WeldPRO

Realizar las siguientes acciones:

1. Nombrar la celda de trabajo.
2. Seleccionar el método de creación del robot de las opciones desplegadas en el ayudante.
3. Seleccionar la versión del software de aplicación.
4. Seleccionar el paquete de la aplicación o herramienta que se cargará en el simulador.
5. Seleccionar el modelo del robot primario para el controlador,
6. Según las necesidades de la celda de trabajo puede seleccionar robots para grupos adicionales de movimiento.
7. Escoger las opciones del software del robot.
8. Para finalizar se muestran las opciones seleccionadas al dar finalizar a este ayudante se muestra una pantalla como la de la Figura 4.16.

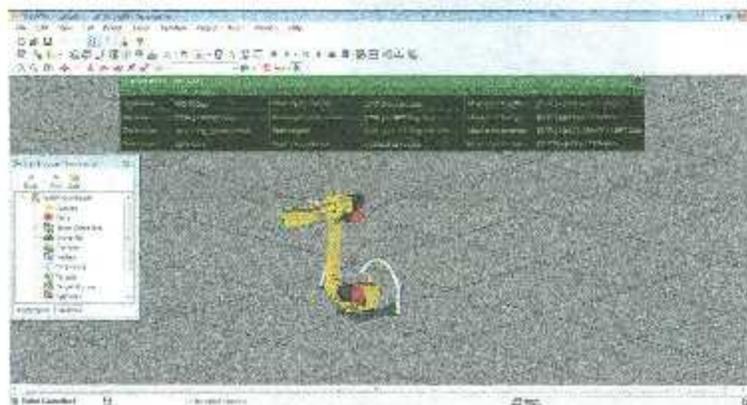


Figura 5.3: Pantalla de proyecto actual

Para asignar la herramienta en el eslabón final del robot

1. Se localiza en el buscador de la celda de trabajo *Robot Controller*.
2. Dentro de éste se selecciona *Tooling*.
3. En *Tooling Library* (ver Figura 5.4) se encuentra una extensa selección de antorchas, en caso de no encontrar la deseada se puede agregar a la librería desde una ubicación diferente.

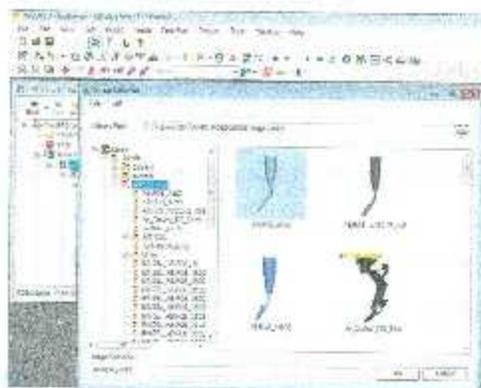


Figura 5.4: Librería de antorchas en ROBOGUIDE WeldPRO

4. Al finalizar la selección de antorcha se muestra la ventana para editar la ubicación o características físicas de la antorcha (ver Figura 5.5).

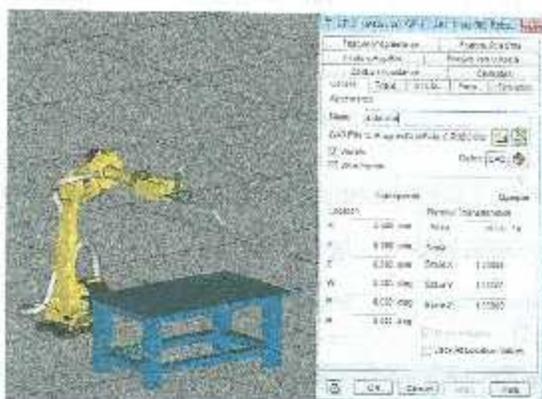


Figura 5.5: Pantalla para editar ubicación y características de la antorcha

Para agregar accesorios a la celda de trabajo

1. Localizar *Fixture* en el buscador de la celda de trabajo.
2. Para agregar accesorio se selecciona *Add Fixture*.

3. Utilizar la opción *CAD Library* (ver Figura 4.19) abre la ventana que se muestra en la Figura 5.6. Esta pantalla contiene accesorios como mesas, estantes, conveyers, motores, etcétera.

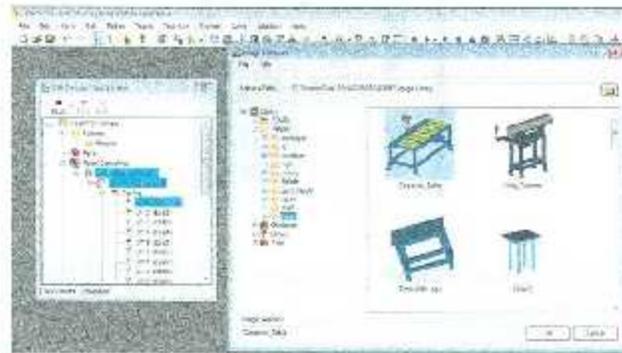


Figura 5.6: Librería de accesorios en ROBOGUIDE WeldPRO

Se puede comprobar el área de trabajo de la estación diseñada seleccionando uno de los botones de la barra de herramientas superior en la Figura 5.7; el recuadro rojo indica el botón. De esta manera se asegura que todos los accesorios y movimientos del robot estén dentro de esta área para evitar singularidades.

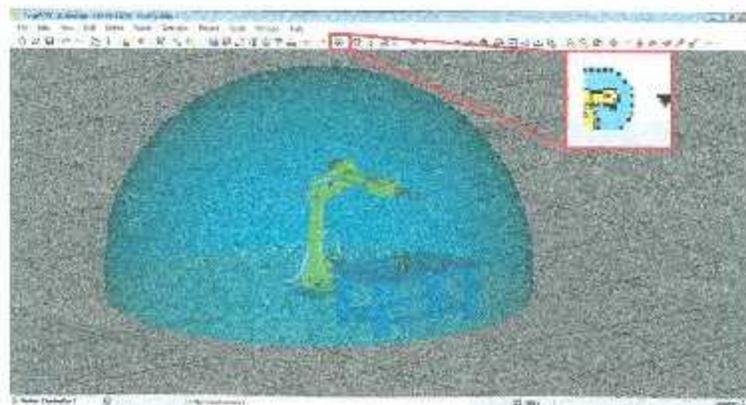


Figura 5.7: Área de trabajo de la estación de trabajo

De igual manera en la barra de herramientas se encuentra el botón para desplegar el *Teach Pendant* virtual, el cuál se muestra en la Figura 5.8. Éste es una representación de un *Teach Pendant* físico; aquí se puede mover el robot, modificar los horarios de soldadura, modificar los horarios de forma de onda, creación de programas y todo lo que se puede realizar con el dispositivo físico.



Figura 5.8: Teachpendant virtual en ROBOGUIDE WeldPRO

La modificación de cualquier procedimiento, horario, programa y cualesquier característica se realiza con la misma metodología que se utiliza para cada una de las acciones en el dispositivo físico.

Para guardar los archivos de los programas del *Teach Pendant*

1. Ir al menú *Teach*.
2. Seleccionar la opción *Save All TP Programs* (ver Figura 5.9).
3. Seleccionar la extensión que se requiera.

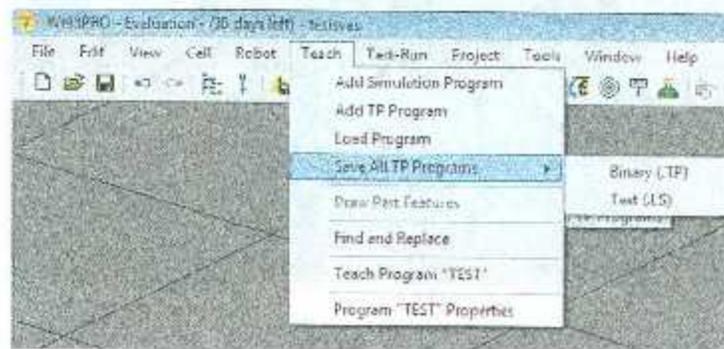


Figura 5.9: Guardado de programas del *Teach Pendant* virtual

Es posible correr programas creados fuera de línea en el software ROBOGUIDE; para esto hay que guardarlos en un dispositivo de memoria que pueda insertarse en la estación de soldadura robotizada. Todos los programas que se crean y almacenan en el *Teach Pendant* virtual se guardan

como se muestra en la Figura 5.9. Las dos extensiones son soportadas por el controlador. Para modificar y correr un programa cargado debe aparecer en el listado de programas del menú SELECT.

Anteriormente se mencionó que la estación de soldadura cuenta con dos puertos USB, uno en el controlador y otro en el *Teach Pendant*. Un dispositivo de memoria USB en el *Teach Pendant* (UT1) puede realizar un respaldo de la memoria del controlador pero no una carga completa o una actualización automática en cambio usar el puerto USB del controlador (UD1) nos permite realizar el respaldo y la carga de archivos a la memoria del dispositivo. Soporta unidades flash de hasta 2GB en formato FAT; si es mayor a 2GB deberán ser formateadas en FAT32. Además, debe tenerse instalada la opción J957.

Procedimiento para usar una tarjeta de memoria¹ o USB

Condiciones: se está usando un ATA Flash memory card y se está utilizando una memory stick que es compatible con la interfaz USB 1.1.

Cargar un programa:

1. Establecer el dispositivo por defecto:
 - a) Presionar MENU.
 - b) Seleccionar FILE.
 - c) Presionar F5, [UTIL].
 - d) Seleccionar Set Device.
 - e) Mover el cursor al dispositivo que se desea y presionar ENTER.
2. Presionar SELECT. Se mostrará una pantalla similar a la de la figura 5.10.
3. Presionar NEXT, >, y después presionar F3, LOAD.

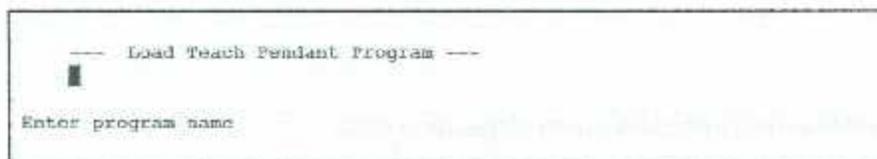


Figura 5.10: Pantalla para cargar programas.

¹ La interfaz de tarjeta de memoria no está disponible en el R-30iB Mate Controller.

4. Ingresar el nombre del programa que se cargara y presionar ENTER. No incluir la extensión del archivo.
5. Cargar el programa seleccionado: F1 para sí y F2 para no.

Así como se pueden descargar programas de ROBOGUIDE y cargarlos en el controlador se puede realizar el procedimiento inverso; es decir descargar los programas del controlador y cargarlos en el ambiente virtual. Para cargar programas al *Teach Pendant* virtual (ver Figura 5.11) se realiza la siguiente secuencia de acciones:

1. Ir al menú *Teach*.
2. Presionar sobre la opción *Load Program*.
3. De la ventana que se abre seleccionar la ubicación del programa o programas que se desean cargar en el proyecto.
4. Seleccionar el archivo o archivos y presionar abrir.

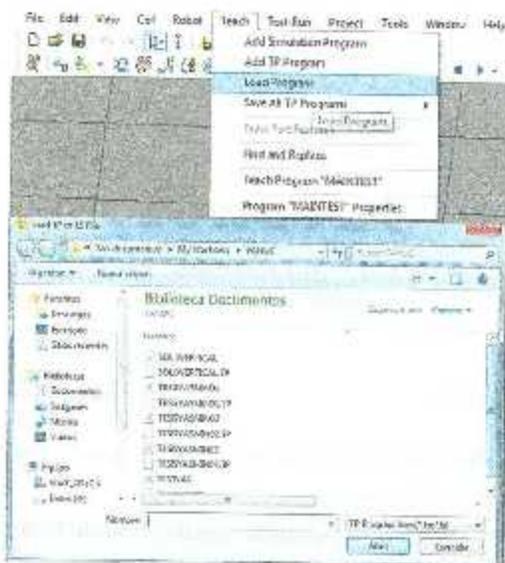


Figura 5.11: Pantalla para cargar programas en *Teach Pendant* virtual.

Guardar archivos del controlador a un dispositivo USB:

1. Presionar SELECT.
2. Mover el cursor al programa que se desea guardar.

-
3. Presionar NEXT, >, y después presionar F4, SAVE AS. Se mostrará una pantalla similar a la Figura 5.12.

From:	TEST.TP
To Device:	NC:
To Directory:	\
To Filename:	TEST.TP

Figura 5.12: Pantalla *Guardar como*

4. Para cambiar el dispositivo por defecto, mover el cursor a To Device: y presionar F4, [CHOICE].
5. Mover el cursor a To Filename: y presionar F4, [CHANGE].
6. Seleccionar el método que se desea usar para nombrar el nuevo programa, y presionar ENTER.
7. Para completar la operación, presionar F1, DO_SAVE. Si el programa existe cuando se presiona F1, DO_SAVE, se tendrá que confirmar el sobrescribir el programa antes de que el guardado se complete.

Es importante mencionar que al correr el programa realizado fuera de línea es posible que los eslabones se muevan de forma distinta a como se observa en la simulación por lo que se recomienda correr el programa a una velocidad baja para evitar dañar las articulaciones del robot, así como se debe configurar el marco de usuario y el marco de la herramienta a los valores que se tienen de la unidad física en la unidad virtual; este procedimiento se realiza en el ambiente virtual con los métodos descritos en el capítulo 2.



Figure 1. Relationship between number of employees and number of employees

The results of the regression analysis are presented in Table 1. The regression equation is:

$$Y = 1.0000X - 0.0000$$

where Y is the number of employees and X is the number of employees. The regression coefficient is 1.0000, indicating a perfect positive linear relationship between the two variables.

The regression analysis also shows that the relationship is statistically significant, with a p-value of 0.0001. This indicates that the probability of observing such a strong relationship by chance is very low.

The regression analysis also shows that the relationship is statistically significant, with a p-value of 0.0001. This indicates that the probability of observing such a strong relationship by chance is very low.

The regression analysis also shows that the relationship is statistically significant, with a p-value of 0.0001. This indicates that the probability of observing such a strong relationship by chance is very low.

The regression analysis also shows that the relationship is statistically significant, with a p-value of 0.0001. This indicates that the probability of observing such a strong relationship by chance is very low.

The regression analysis also shows that the relationship is statistically significant, with a p-value of 0.0001. This indicates that the probability of observing such a strong relationship by chance is very low.

The regression analysis also shows that the relationship is statistically significant, with a p-value of 0.0001. This indicates that the probability of observing such a strong relationship by chance is very low.

Capítulo 6

Gestión de la selección de parámetros de soldadura

Se pretende gestionar los parámetros programables que intervienen en el proceso de soldadura y obtener pruebas físicas aceptables implementando los conocimientos adquiridos en capítulos anteriores. Aquí se describe la programación de la trayectoria y tarea del equipo de soldadura robotizada así como la programación de los parámetros (ver Figura 6.1).

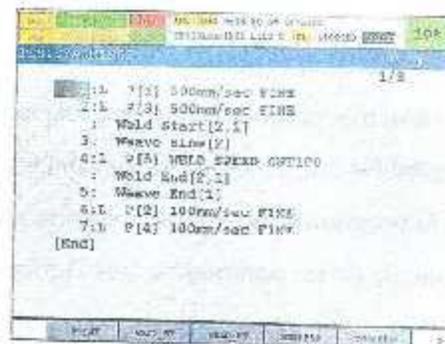


Figura 6.1: Vista general de la programación de trayectoria y parámetros.

6.1. Programación de trayectoria

De acuerdo a los procedimientos de programación descritos en el capítulo 2 se realizó la programación de la trayectoria y se incluyeron las instrucciones que dan inicio y fin a la tarea de soldadura. Al contar con una mesa de trabajo de superficie irregular se creó un marco de usuario que convenía a la tarea y necesidades para las dos rutas planificadas durante el desarrollo de los experimentos; de esta manera se aseguró que la trayectoria de la antorcha se realizará de manera uniforme. Recordando que debe de estar habilitado el marco de usuario para hacer uso de este y se debe grabar cada posición del robot utilizando las coordenadas *USER*, en caso contrario el robot utilizará el marco por defecto.

Se crearon dos programas para la realización de los experimentos uno con la mesa de trabajo en posición horizontal y otro con la mesa de trabajo en posición vertical, descritos a continuación.



```
1: P[1] 500mm/sec FINE
2: P[3] 500mm/sec FINE
  : WELD Start[2,1]
  : Weave Size[2]
3: P[5] WELD SPEED OPTIMO
  : WELD End[2,1]
  : Weave End[1]
4: P[2] 100mm/sec FINE
5: P[4] 100mm/sec FINE
[End]
```

Figura 6.2: Programa para soldadura horizontal.

El programa para trayectoria horizontal se muestra en la Figura 6.2. En la línea 1 se guarda la posición *Home*, esta posición es el primer y último de los movimientos que realizará el robot. La línea 2 define la posición de inicio del cordón de soldadura, aquí se especifica el tipo de movimiento, el tipo de terminación y la velocidad con la que el robot llegara a su destino. En la línea 3 se escribe el comando para habilitar e iniciar la soldadura.

La línea 4 guarda el punto final del cordón de soldadura, aquí también se escriben las instrucciones para finalizar la soldadura. La instrucción incluye los parámetros de soldadura programados en los horarios de soldadura. Finalmente, en la última línea se graba la posición de *Home* (ver Figura 6.2).

La Figura 6.3 ejemplifica, a través de fotografías, la trayectoria descrita anteriormente.



1. Posición inicial,
Home



2. Punto de inicio
de soldadura



3. Trayecto de
soldadura



4. Fin de soldadura



5. Retorno a posición
inicial



6. Posición inicial,
Home

Figura 6.3: Trayectoria de soldadura horizontal

Para el programa utilizado con la mesa de trabajo en posición vertical se tiene básicamente algo similar con la excepción de que se agregaron líneas de puntos intermedios antes del inicio del cordón de soldadura, esto como precaución para evitar daños en el equipo por la posición final del robot para el inicio de la unión. Además, se incluye el movimiento de oscilación que se inserta debajo de la línea que inicializa la soldadura, esto se ilustra en la Figura 6.4.

```

VER004 1/10
1:L P[2] 100mm/sec FINE
2:L P[3] 100mm/sec FINE
3:L P[5] 100mm/sec FINE
4:L P[4] 400mm/sec FINE
: Weld Start(2,2)
5: Weave Figure 8[2]
6:L P[6] WELD SPEED CNT100
: Weld End(2,2)
7: Weave End[2]
8:L P[8] 100mm/sec FINE
9:L P[7] 100mm/sec FINE

```

Figura 6.4: Programa para soldadura vertical.

La Figura 6.5 ejemplifica la trayectoria descrita anteriormente, a través de una secuencia de fotografías.

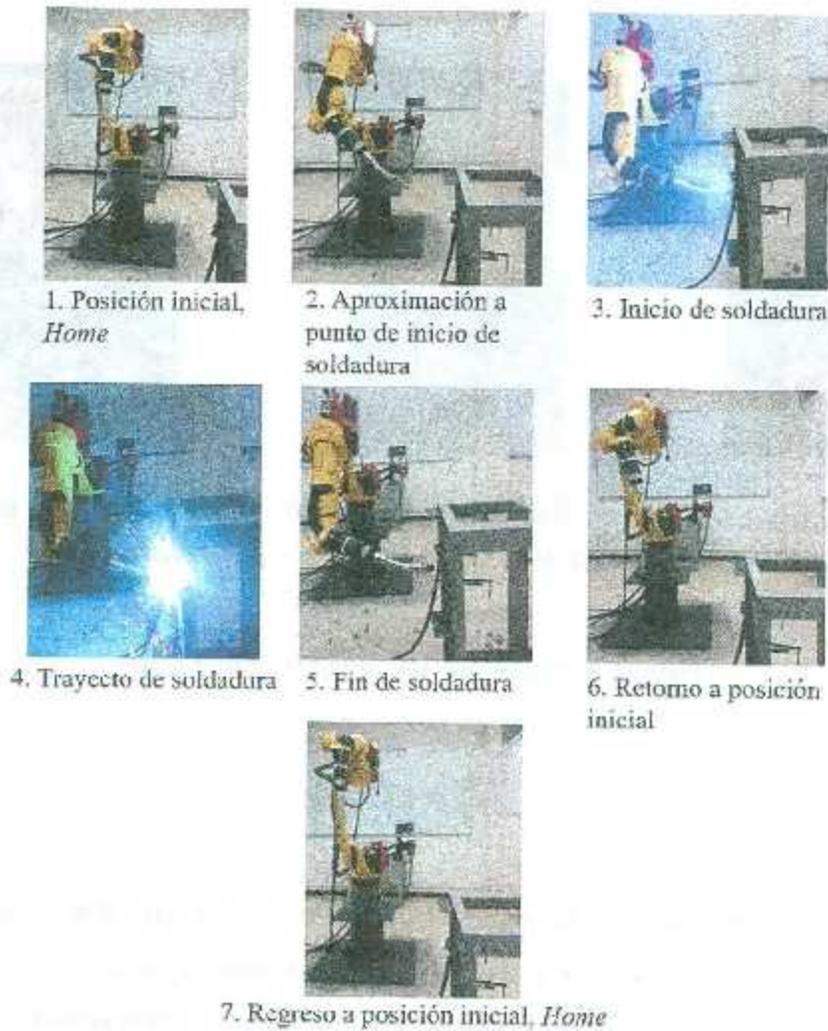


Figura 6.5: Trayectoria vertical de soldadura

Para ambos programas se decidió usar la terminación continua en la instrucción que termina la soldadura y en el resto de las instrucciones se uso la terminación fina. Esta decisión se tomó al realizar los primeros experimentos y observar que se perforaban las placas si se utilizaba la terminación fina en esta instrucción.

6.2. Programación de parámetros

Como se menciono en el capítulo 4 el controlador utiliza procedimientos de soldadura (weld procedure) que definen cómo será realizada la soldadura. En esta sección se programan los parámetros que intervienen en el proceso de soldadura para los experimentos realizados. A su vez cada procedimiento contiene un archivo llamado horario o *schedule* en inglés, en los horarios de soldadura se encuentra el control de las condiciones de soldadura; estos definen la información que determina cómo será realizada la soldadura.

Para el trabajo de soldadura se creó un procedimiento nuevo llamado *TESISYASMIN01*. Éste se muestra en la Figura 6.6 y habiendo estudiado las numerosas variables de soldadura robotizada de comienzo y final del cordón y la brevedad de su actuación en el proceso se seleccionaron las posibles variables activas durante la soldadura robotizada del cordón. El estudio se centró en las siguientes variables: velocidad de viaje/soldadura, voltaje, corriente, y velocidad de alimentación del micro-alambre. Para la forma de onda se seleccionaron dos parámetros: frecuencia y amplitud.



Figura 6.6: Pantalla Procedimiento 2: *TESISYASMIN01*

Antes de modificar los parámetros del voltaje, corriente y velocidad se definió el modo de soldadura que se utilizó. Para esta tarea Lincoln Electric proporciona tablas que contienen la infor-

mación del tipo de soldadura, material y diámetro del electrodo consumible, el tipo de gas de protección, el control del arco y el rango máximo que sirvieron de referencia para inicializar los experimentos.

La Figura 6.7 muestra de manera más detallada la información que contiene el modo de soldadura. Las características se pueden modificar en caso de no ser los correspondientes a las características físicas de la celda de trabajo.



Figura 6.7: Modo de soldadura en Procedimiento 2: *TESISYASMIN01*

En cada procedimiento se encuentran los horarios (*schedules*). En este menú es donde se definen los parámetros de velocidad de viaje/soldadura, voltaje, corriente, velocidad de alimentación del micro-alambre. En la Figura 6.8 las columnas pertenecen a la velocidad de alimentación del micro-alambre, Trim (voltaje), velocidad de soldadura y el tiempo, y las unidades de velocidad por defecto del sistema son *IPM* (pulgadas por minuto).

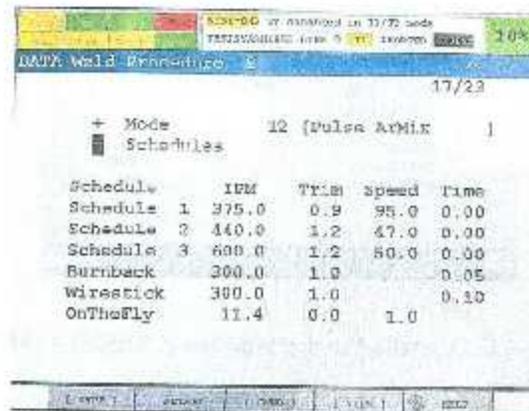


Figura 6.8: Horarios en Procedimiento 2: *TESISYASMIN01*

Para el Power Wave i400 la velocidad de alimentación del micro-alambre es el parámetro de control de corriente de arco y el Trim es una instrucción ajustable de 0.5 a 1.5 sin unidades que permite al operador configurarlo como un valor de voltaje. Estas dos características del controlador se realimentan mostrando en la pantalla del dispositivo valores de corriente y voltaje al final de la última trayectoria de soldadura realizada.

En la Figura 6.9 se muestra la retroalimentación del Trim en Volts y la velocidad de alimentación del micro-alambre en Amperes. La velocidad de viaje de la antorcha durante la soldadura también se programa en esta pantalla; es importante utilizar la instrucción *WELD SPEED* en el programa para que el robot utilice la que se le asignó en el horario que se utiliza durante la tarea.

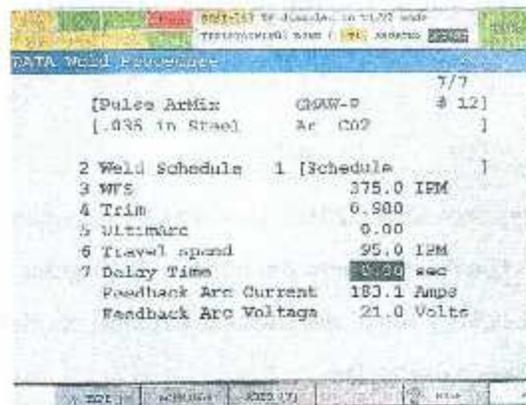


Figura 6.9: Pantalla detallada del horario 1 en Procedimiento 2: *TESISYASMIN01*

El software muestra horarios de oscilación (*weaving*) igual que con los de soldadura; en estos horarios se encuentra el control de las condiciones de la forma de onda que se realizará durante el movimiento de oscilación. Las instrucciones de forma de onda le dicen al robot qué patrón de onda usar para la soldadura de arco con oscilación.

El horario de la forma de onda, el cuál se muestra en la Figura 6.10, está compuesto por los siguientes elementos: frecuencia, amplitud, tiempo de permanencia a la derecha de la forma de onda y tiempo de permanencia a la izquierda de la forma de onda (éstas incrementan la penetración de la soldadura en las paredes laterales conjuntas durante la oscilación), el ángulo para el patrón en L, la elevación, azimuth que permite cambiar el ángulo de la oscilación cuando no se puede rotar la herramienta, la elevación del centro del vector de oscilación sobre el plano de oscilación, el radio del patrón círculo y el grupo al que pertenece el robot.

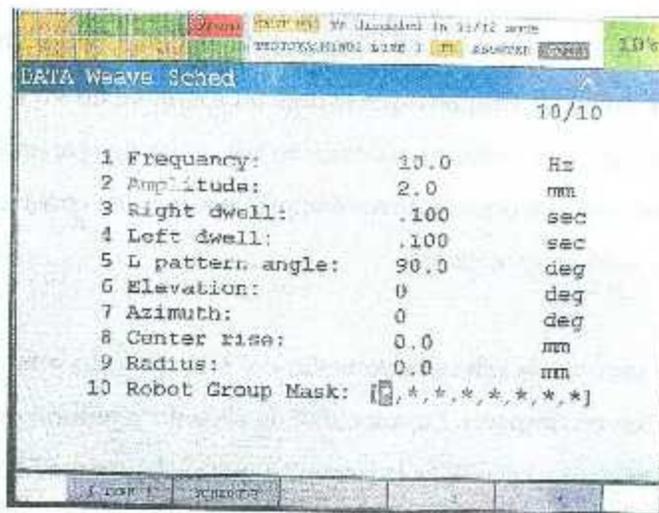


Figura 6.10: Horario de la forma de onda.

De acuerdo a [Mancheño y Fernández, 2012], la oscilación es especialmente útil cuando se requiere realizar soldaduras verticales y relleno del cordón en ángulo. La acción de oscilación es usada con el movimiento circular y lineal del robot solamente. Se debe enseñar la posición de inicio y la posición final para cada oscilación.

Así, fijados los valores de arranque y paro durante estas pruebas se pudo probar la influencia en la calidad final de la unión de parámetros como el proceso, gas, material, posición de soldadura, velocidad de soldadura, tipo de avance de la antorcha, voltaje, corriente, velocidad de alimentación del micro-alambre, frecuencia y amplitud de onda.

6.3. Parámetros a gestionar

Las características de soldadura para el proceso GMAW fueron establecidas de acuerdo a los parámetros que se muestran en la Tabla 6.1 y se muestran en la Figura 6.11, los parámetros no incluidos en esta tabla se asumieron fijos.

Tabla 6.1: Parámetros de soldadura utilizados

Velocidad de alimentación (IPM)	300, 375, 440, 500
Trim (Tensión)	0.5, 0.9, 1.2, 1.5
Velocidad de soldadura (IPM)	20, 47, 71, 95, 189, 250
Forma de onda	Seno, figura 8, círculo, figura L
Frecuencia de onda (Hz)	5, 10
Amplitud de onda (mm)	2
Distancia de la boquilla al punto de trabajo (mm)	12
Distancia de la punta de contacto al punto de trabajo (largo de arco) (mm)	0.9

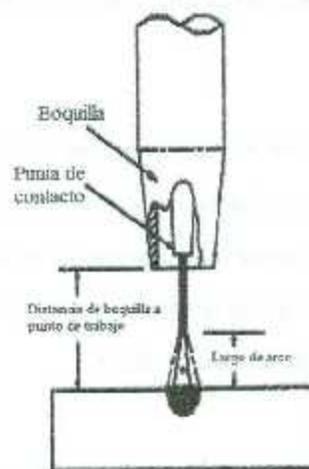


Figura 6.11: Parámetros de soldadura MIG.

6.4. Experimentación

Para el estudio experimental de parámetros de soldadura robotizada se utilizó una mezcla de Argón y CO_2 80/20 que es utilizado como gas de protección. El electrodo consumible es un micro-alambre de 0.9 mm con silicio y magnesio, cubierto de cobre para evitar la oxidación (cumple con las normas ASME SFA 5.18 ER 70S – 6 y AWS A 5.18 ER 70S – 6) [Lincoln Electric, 2016]. El material

seleccionado fueron placas de acero comercial con dimensiones 300.0 mm x 50.0 mm x 3.175 mm como metal base; a estas placas de prueba se les conoce como probetas (ver Figura 6.12).

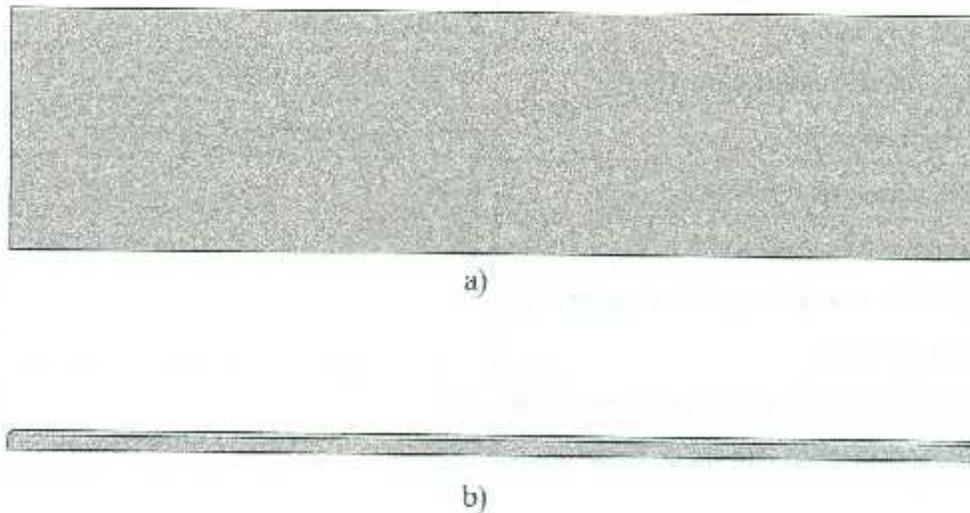


Figura 6.12: a) Vista superior de la placa de acero; b) Vista lateral de la placa

De acuerdo a [Mancheño y Fernández, 2012] referente a las técnicas para la obtención de una buena soldadura, se recomienda distanciar la antorcha de 9 mm a 12 mm del punto de contacto al punto de trabajo; esto se tomó en cuenta al momento de posicionar la misma en el inicio y final del cordón de soldadura. A parte se sugiere que la distancia ideal del micro-alambre al punto de trabajo sea igual al diámetro del electrodo consumible.

Todas las uniones fueron hechas en un solo movimiento en ambas caras de las placas. Nórese que en todas las pruebas se utilizó la misma distancia de la boquilla al punto de trabajo y la distancia de la punta de contacto al punto de trabajo tal como se muestra en la Tabla 6.1. Después del proceso de soldadura fueron realizadas inspecciones visuales y pruebas de tensión con la máquina de ensayo por tensión universal *GALDABINI*, refiérase a Apéndice A, a fin de evaluar rotura por tensión de las uniones soldadas bajo diferentes condiciones de parámetros.

Capítulo 7

Pruebas y resultados

En este capítulo se presentan y explican las pruebas realizadas en las placas de acero comercial, tanto de soldadura como de tensión. Un total de 36 experimentos con diferentes combinaciones de corriente de soldadura, voltaje de arco, velocidad de soldadura, forma de onda y trayectoria, entre otros fueron realizados. Los resultados en función de los parámetros de soldadura y la tensión aplicada se han resumido en tablas.

A continuación se presentan fotografías de las uniones y otras más ejemplificando el punto de separación después de la prueba destructiva de tensión, bitácora de las pruebas que incluyen los parámetros que se modificaron para hacer la comparativa de los mismos y llegar a la conclusión de este trabajo.

Se solicitó a herreros expertos con años de experiencia que realizaran tres uniones (ver Figura 7.1) para tener un punto de comparación entre el cordón de soldadura de un experto y el robot, así como una comparativa en las pruebas de destrucción. Los expertos usan soldadura MIG, con micro-alambre y gas carbónico.



Figura 7.1: Unión hecha por los expertos.

Se contó con el apoyo del Laboratorio de Mecánica del Instituto Tecnológico de La Laguna para realizar pruebas destructivas. El límite elástico del acero comercial es de 689 MPa (cerca de 11 Tn), la tensión alcanzada por las placas soldadas por los herreros fueron de 11.4 Tn (693.1 MPa), 10.1 Tn (614.09 MPa) y 11.1 Tn (674.8 MPa). El material pierde su resistencia original por el efecto de endurecimiento por deformación en el área de la zona fundida durante la solidificación.

Estas uniones se realizaron con la mesa en posición horizontal y la trayectoria de soldadura es horizontal con un ángulo de recorrido conocido como ángulo de arrastre, ya que el movimiento es *Backhand* (hacia atrás). En estas pruebas se experimentó con los tipos de velocidad, el tipo de terminación, la velocidad de avance, la velocidad de alimentación, la función *Trim* que es la que regula el voltaje del arco.

Se realizaron 15 experimentos con una trayectoria de soldadura horizontal con diferentes condiciones de velocidad de alimentación, *Trim*, velocidad de soldadura y sin ningún tipo de oscilación como se muestra en la Tabla 7.1. La Tabla 7.2 muestra los 12 experimentos realizados con oscilación durante la trayectoria de soldadura horizontal en combinación con las diferentes condiciones de *Trim*, velocidad de alimentación y velocidad de soldadura.

Adicionalmente, se llevaron a cabo 8 experimentos con una trayectoria de soldadura vertical que incluye la combinación de condiciones de velocidad de alimentación, velocidad de soldadura, oscilación y *Trim*; éstas se muestran en la Tabla 7.3. En total se realizaron 36 pruebas.

Tabla 7.1: Condiciones de soldadura trayectoria horizontal.

Número de Prueba	Velocidad de Alimentación (IPM)	Trim	Velocidad de Soldadura (IPM)
0	375	0.9	20
1	375	0.9	20
2	300	0.9	47
3	375	0.9	47
4	375	0.9	71
5	375	0.9	95
6	375	0.9	189
7	375	0.9	189

Tabla 7.1 (Cont.): Condiciones de soldadura trayectoria horizontal.

Número de Prueba	Velocidad de Alimentación (IPM)	Trim	Velocidad de Soldadura (IPM)
8	375	0.9	250
9	500	0.9	250
10	500	0.9	189
11	500	0.9	47
12	440	0.5	47
13	375	1.5	47
14	375	0.9	47

Tabla 7.2: Condiciones de soldadura trayectoria horizontal con oscilación.

Número de Prueba	Velocidad de Alimentación	Trim	Velocidad de Soldadura (IPM)	Forma de Onda	Frecuencia (Hertz)	Amplitud (mm)
15	375	0.9	47	Seno	10	2
16	375	0.9	47	Figura 8	10	2
17	375	0.9	47	Figura 8	5	2
18	375	0.9	47	Círculo	10	2
19	375	0.9	47	L	10	2
20	375	0.9	47	Seno	10	2
21	375	0.9	47	•	•	•
22	375	0.9	47	Figura 8	10	2
23	375	0.9	47	Figura 8	5	2
24	375	0.9	47	I.	5	2
25	375	0.9	47	Círculo	5	2
26	440	0.9	47	Figura 8	5	2
27	440	0.9	71	Figura 8	5	2

Tabla 7.3: Condiciones de soldadura trayectoria vertical con oscilación.

Número de Prueba	Velocidad de Alimentación	Trim	Velocidad de Soldadura (IPM)	Forma de Onda	Frecuencia (Hertz)	Amplitud (mm)
28	440	0.9	71	Figura 8	5	2
29	440	0.9	47	Figura 8	5	2
30	440	0.9	95	Figura 8	5	2
31	375	0.9	47	Figura 8	5	2
32	375	0.9	71	Figura 8	5	2
33	375	0.9	95	Figura 8	5	2
34	440	0.5	47	Figura 8	5	2
35	440	1.2	47	Figura 8	5	2

El total de 36 experimentos con diferentes combinaciones de corriente de soldadura, voltaje de arco, velocidad de soldadura, forma de onda y trayectoria, entre otros fueron realizados. Los resultados en función de los parámetros de soldadura y la tensión aplicada se han resumido en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4: Valores leídos y tensión aplicada.

Número de Prueba	Voltaje leído (Volts)	Corriente leída (Amperes)	Tensión de ruptura (Tn)
0	21.1	175.6	N.A.
1	21.0	175.4	N.A.
2	20.6	160.0	8
3	20.9	160.6	10.8
4	21.5	166.1	9.1
5	21.0	166.9	9.4
6	21.6	181.9	5.8
7	21.2	177.4	6.8
8	20.8	177.6	5
9	23.4	243.3	6
10	23.5	245.0	3.08
11	23.1	230.3	9.05

Tabla 7.4 (Cont.): Valores leídos y tensión aplicada.

Número de Prueba	Voltaje leído (Volts)	Corriente leída (Amperes)	Tensión de ruptura (Tn)
12	21.9	210.4	10.5
13	13.6	220.5	5.1
14	33.0	291.6	6.4
15	21.4	182.2	6.8
16	21.4	184.7	9.5
17	21.6	187.4	10.1
18	21.6	174.2	9.75
19	21.2	172.3	9.75
20	20.8	195.6	7.5
21	20.8	208.9	8.4
22	21.6	151.2	9.2
23	21.6	179.8	9.2
24	21.4	171.7	6.5
25	21.0	172.9	9.5
26	22.4	186.5	7
27	21.8	209.3	4.75
28	22.9	199.6	9.6
29	21.9	225.4	10.25
30	22.0	236.3	7.25
31	20.4	194.5	9.01
32	21.1	180.8	8.25
33	19.5	219.4	10
34	16.6	179.5	6.25
35	29.3	258.7	9.5

7.1. Inspección visual de las probetas

En la inspección visual los primeros experimentos presentan perforaciones en el metal base, estos sirvieron como punto de partida para encontrar una velocidad de soldadura adecuada. Se encontró que la velocidad mínima adecuada era de 47 IPM. Aumentando la velocidad de soldadu-

ra el cordón presenta salpicaduras de tamaño pequeño. Estas salpicaduras también se presentaron al aumentar el valor de Trim a su máximo o bien en su mínimo valor cuando se tiene el movimiento de oscilación habilitado. La terminación superficial en general fue buena.

En las Figuras 7.2 a 7.20 se presentan fotografías de los cordones soldados en los experimentos antes de ser sometidos a la prueba de tensión.

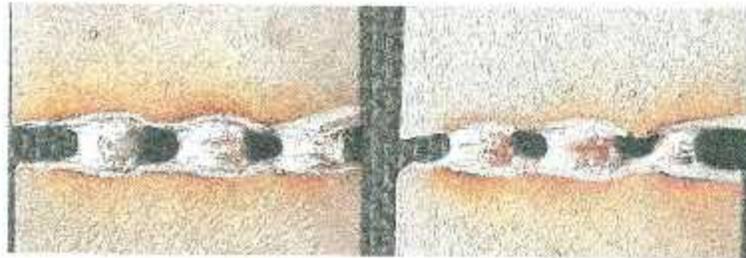


Figura 7.2: Pruebas 00 y 01

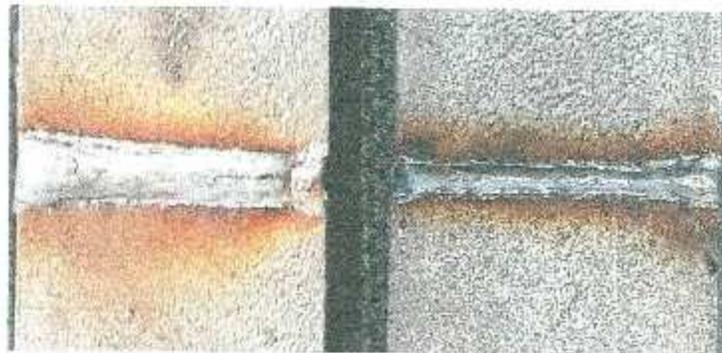


Figura 7.3: Pruebas 02 y 03

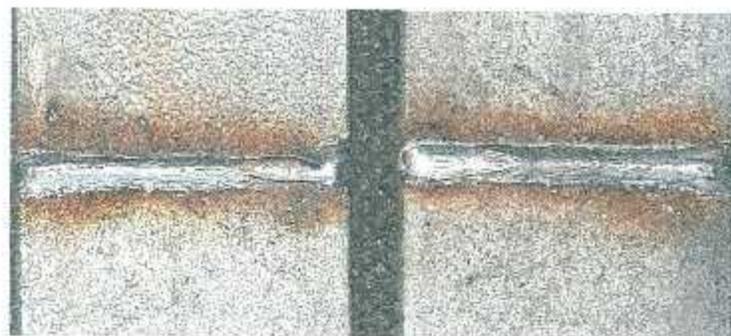


Figura 7.4: Pruebas 04 y 05

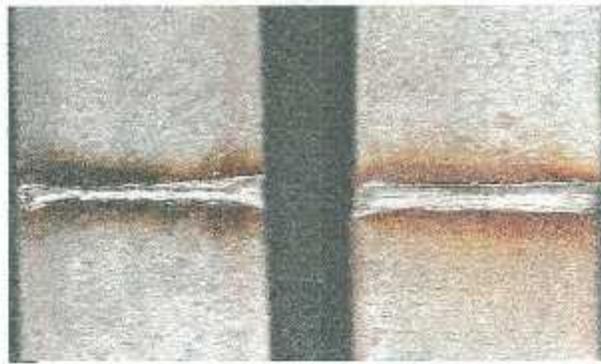


Figura 7.5: Pruebas 06 y 07

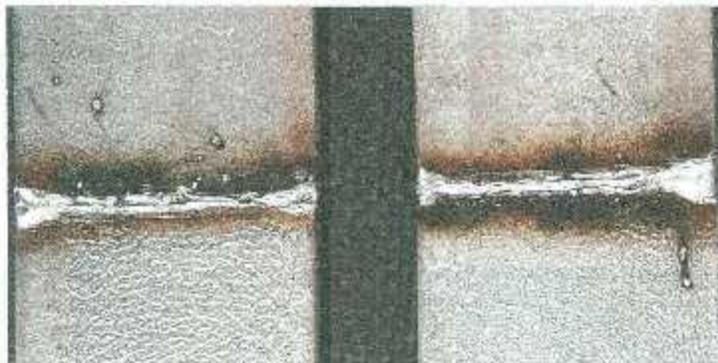


Figura 7.6: Pruebas 08 y 09

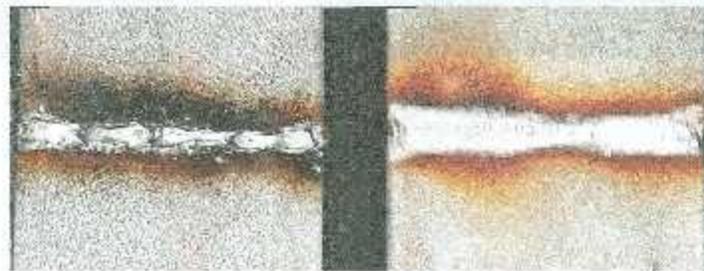


Figura 7.7: Pruebas 10 y 11

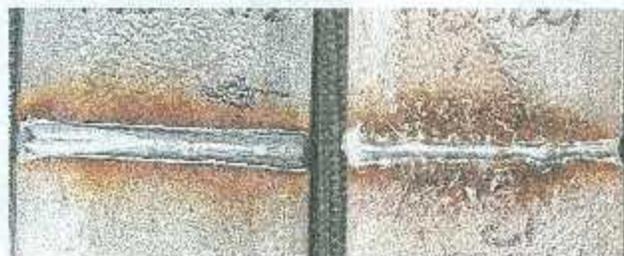


Figura 7.8: Pruebas 12 y 13

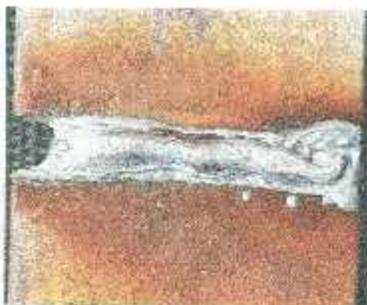


Figura 7.9: Prueba 14

La Figura 7.10 muestra el derecho y revés del primer uso de las formas de onda, con un forma senoidal. La diferencia entre una cara y otra es la frecuencia y amplitud usada en cada onda, ya que no se tenía conocimiento de qué tipo de cordón realizaría con los parámetros defecto de los horarios del movimiento oscilatorio.

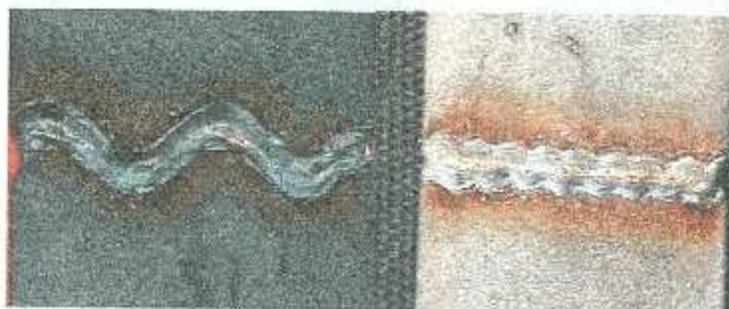


Figura 7.10: Prueba 15



Figura 7.11: Pruebas 16 y 17

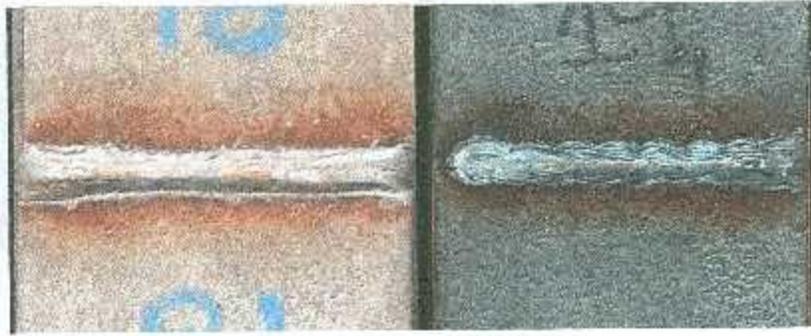


Figura 7.12: Pruebas 18 y 19

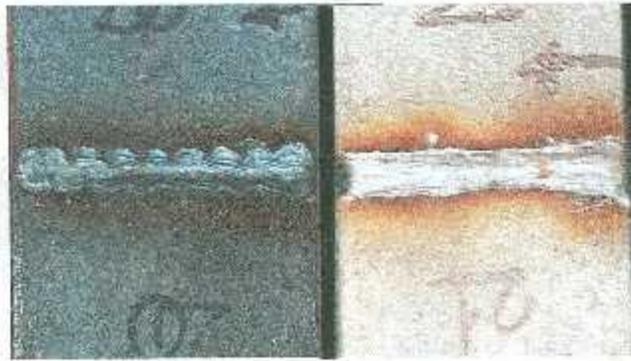


Figura 7.13: Pruebas 20 y 21

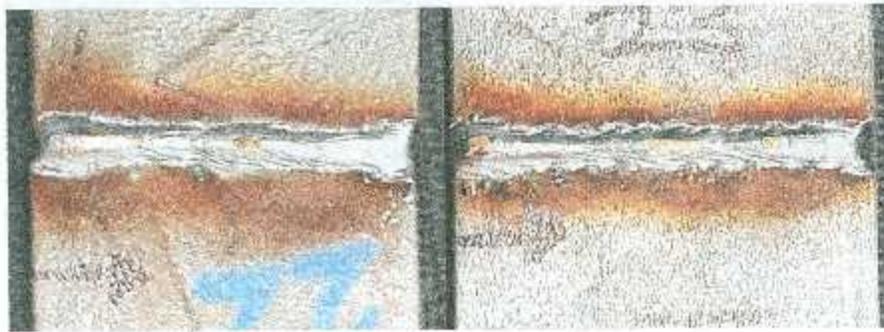


Figura 7.14: Pruebas 22 y 23

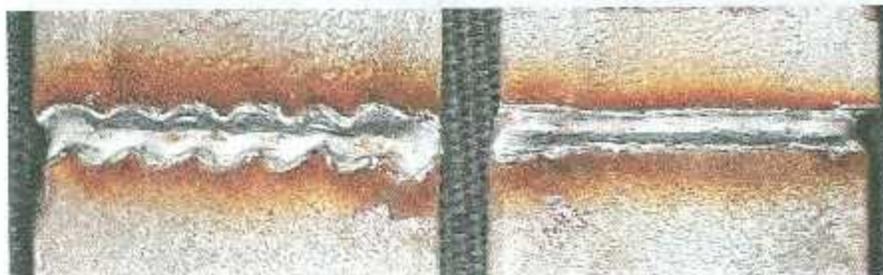


Figura 7.15: Pruebas 24 y 25

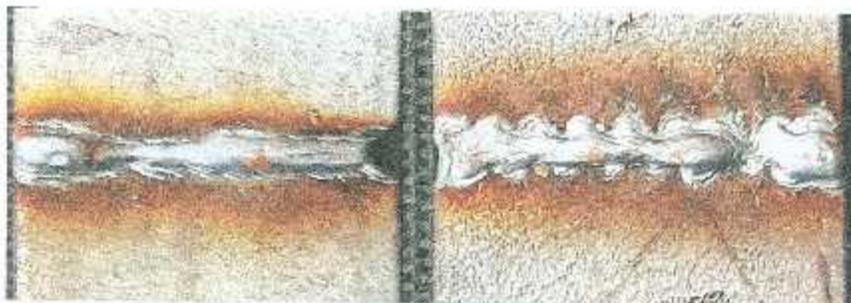


Figura 7.16: Pruebas 26 y 27

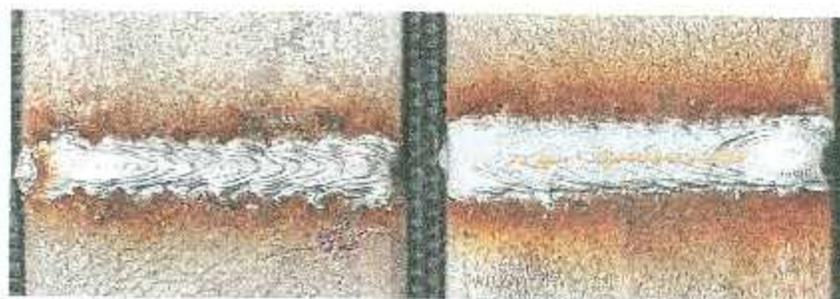


Figura 7.17: Pruebas 28 y 29



Figura 7.18: Pruebas 30 y 31



Figura 7.19: Pruebas 32 y 33



Figura 7.20: Pruebas 34 y 35

Las placas fueron sometidas a una prueba destructiva de tensión usando la máquina de ensayo por tensión universal antes mencionada. Las probetas con soldadura robotizada que soportaron una tensión similar a la obtenida de la puesta a prueba de los herreros tienen un acabado de cordón de soldadura similar al que realizan ellos de forma manual; éstas son las prueba 3, 12 y 17. La mejor prueba de soldadura vertical fue la obtenida en la prueba 29 con 10.25 Tn (623.4 MPa), la cuál se considera bastante buena y cercana al límite elástico del material.

La Figura 7.21 muestra el estado físico de los experimentos que tuvieron la mayor resistencia a la tensión aplicada en las pruebas destructivas.



Figura 7.21: Probetas después de la prueba destructiva.

Capítulo 8

Conclusiones

Los sistemas de soldadura robotizada han recibido gran atención gracias a que son altamente eficientes en el incremento de la producción, así como de la calidad y la reducción de costos y tiempos de producción.

La mayoría de las probetas soldadas presentaron una buena terminación superficial, niveles bajos de salpicadura y escorias. A mayor velocidad de soldadura se obtiene un cordón delgado y la penetración disminuye de manera considerable. El aumento de la velocidad de alimentación incrementa la corriente obtenida en la retroalimentación leída por el software, pero no parece tener influencia en la penetración ya que la influencia de la velocidad con la que se mueve la antorcha es mayor en cuanto al depósito del material se refiere. La disminución del voltaje presentó cordones más delgados y niveles altos de salpicadura. En este cambio de valores se observó que la velocidad de alimentación del micro-alambre también influye en el ancho del cordón.

La mejor combinación de valores para la trayectoria horizontal fueron: Trim de entre 0.5 y 0.9, velocidad de soldadura 47 IPM y una velocidad de alimentación de entre 375 y 440 IPM. Para la trayectoria vertical con oscilación se encontró como la mejor combinación: un Trim de 0.9, una velocidad de alimentación de 440 IPM y una velocidad de soldadura de 47 IPM con forma de onda de figura 8, frecuencia de 5 Hz y amplitud de la onda de 2 mm.

Aunque algunas soldaduras realizadas por herreros con muchos años de experiencia resistie-

ron un poco más, esta diferencia es casi despreciable, y es compensada ampliamente por la alta productividad que se puede alcanzar utilizando soldadura robotizada.

Haciendo referencia a la información obtenida estos resultados no son definitivos pero sí fundamentales en la selección de parámetros adecuados e igualmente puede ser encontrada una combinación de valores con mejores acabados y mayor resistencia a la ruptura.

Con las numerosas pruebas de soldadura realizadas, se ha obtenido una base lo suficientemente sólida sobre los parámetros de influencia en la soldadura robotizada. La estación de soldadura robotizada ha cumplido con las especificaciones establecidas, incorporando los resultados del abundante conocimiento experimental acumulado durante este trabajo, así como las conclusiones obtenidas del análisis de resultados en las pruebas realizadas. Sin lugar a dudas, se ha completado con éxito el objetivo principal de esta tesis.

8.1. Trabajo futuro

Como trabajo futuro se pretende integrar éste trabajo a un sistema inteligente de soldadura que permita seleccionar los parámetros más adecuados a cada tipo de material y tipo de aplicación (horizontal, vertical, etc.). Asimismo, es conveniente utilizar una mesa de trabajo adecuada para el posicionamiento de las piezas.

Apéndice A

Máquina de ensayo por tensión universal

Con años de experiencia en la industria de ensayo de materiales, los sistemas de instrumentos Galdabini (como máquinas de ensayo, de prueba de impacto y más) se encuentran en aplicaciones e industrias tales como plásticos, metales, materiales compuestos, elastómeros, componentes, textiles, aeroespaciales, automotrices y biomédicos. La clasificación de materiales para garantizar resultados cada vez mejores es una necesidad común en la industria, donde cada diseño está sujeto a las características funcionales de diferentes componentes.

En 1934 introducen la primera máquina de ensayo por tensión universal (entrada en el mercado de pruebas de calidad), estas máquinas son capaces de realizar muchos tipos y variaciones de pruebas de fluencia y de rotura por tensión, como: rotura por tensión, deformación por fluencia, rotura por fluencia, relajación de la tensión (liberación de esfuerzos) y muchas otras aplicaciones especiales.

La máquina funciona hidráulicamente (ver Figura A.1, A.3 y A.4) por medio de aceite en presión suministrado por una bomba con émbolos múltiples con capacidad variables. El cuerpo es de acero en el cuál están recabados los cilindros y los asientos para las válvulas. Las válvulas de acero, con asientos cónicos, dos cojinetes de bolas que durante la rotación imprime el movimiento al correspondiente émbolo.



Figura A.1: Máquina de ensayo universal GATDABINI

El árbol de mando a excéntrico gira en los cojinetes de bolas y durante la rotación imprime el movimiento al correspondiente émbolo. El movimiento del excéntrico es transmitido al émbolo por medio un balancín que tiene el objetivo de transmitir el mando de regulación de la capacidad. El dispositivo regulador de la capacidad está constituido por balancines y un árbol con excéntrico contrac cuyos golpean los planos en el final de la carrera de retorno.

Haciendo girar a mano el árbol con excéntrico se puede limitar la carrera de los balancines, y de reflejo en los émbolos de la bomba, variando en consecuencia la capacidad. El mando es ejecutado a mano, por medio de la palanca coligada al excéntrica (véase Figura A.3).

En esta columna de la máquina de ensayo universal de piso es donde se montan las mordazas para la prueba de tensión, y las lunetas para pruebas de compresión. Al pie de esta columna se tiene el sistema de elevación para el acomodo de las mordazas y la pieza a tensionar (ver Figura A.2); esta columna está conectada a la parte donde el operador aplica la fuerza de tensión y la velocidad. Se registra en una gráfica el esfuerzo aplicado.

La prueba de tensión que se realiza con este equipo consiste en las dos mordazas que sujetan los extremos de la probeta y de forma manual el operador aumenta la tensión que se aplica. El

movimiento de la máquina no es perceptible al ojo mientras se realiza la prueba hasta que llega la separación de las probetas. En la carátula de la máquina se tiene la graduación para la toma del dato de la tensión máxima alcanzada.

La máquina se suministra normalmente equipada con un cuadrante con cuatro escalas que es muy fácil cambiar maniobrando el volante puesto a la derecha del cuadrante. A continuación se describen los 4 tipos de escalas.

1. Escala con valor máximo, correspondiente a la carga máxima admisible por la máquina.
2. Escala correspondiente a la mitad, o a una tercera parte de la carga máxima.
3. Escala correspondiente a la quinta o a la sexta parte de la carga máxima.
4. Escala correspondiente a la décima parte de la carga máxima.

Con este sistema es posible obtener una amplia gama de sensibilidad, con perfecta lectura de los esfuerzos correspondientes a decenas de toneladas y pudiendo apreciar diferencias del orden de decenas de gramos. Cada una de estas escalas corresponde a una determina carga sobre el péndulo del dinamómetro, por esto, al cambiar de escala es también preciso cambiar la carga del péndulo. Esta carga puede ser variada sustituyendo los pesos intentados sobre la varilla del péndulo o bien alejando la varilla a la larga de su propio eje [Galdabini, 1968].

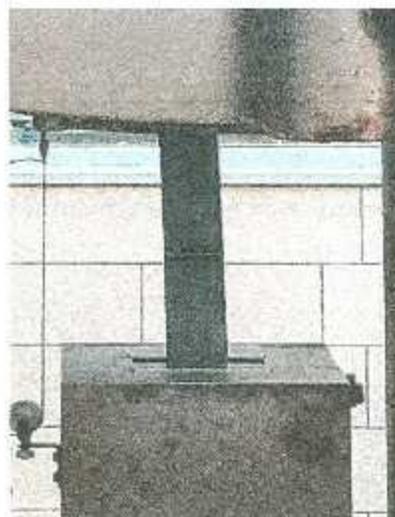


Figura A.2: Prueba de tensión

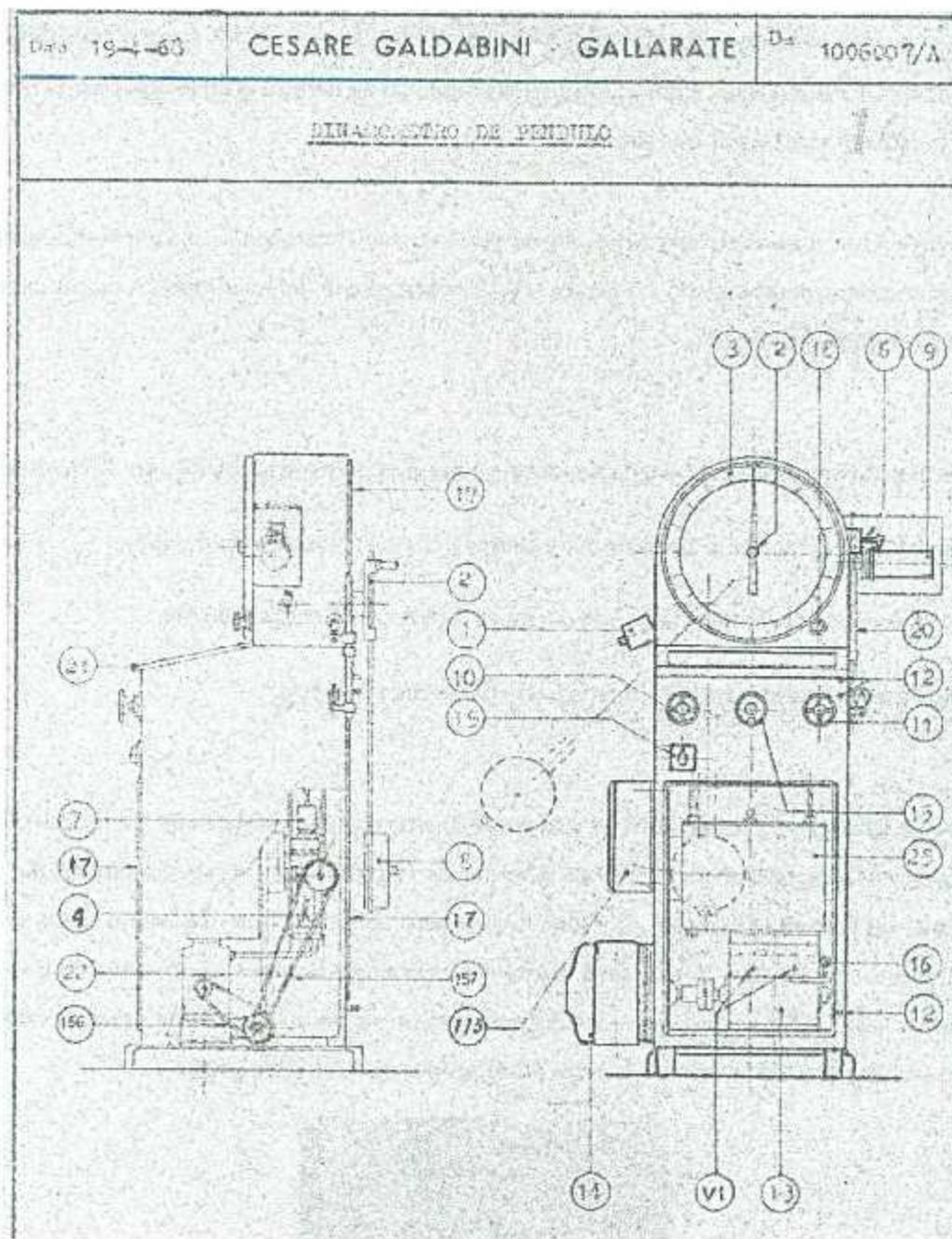


Figura A.3: Vista isométrica de la máquina de ensayos universal, folio n° 16 -dibujo n° 1006007/A

MÁQUINA PRUEBA MATERIALES "P.1/50"

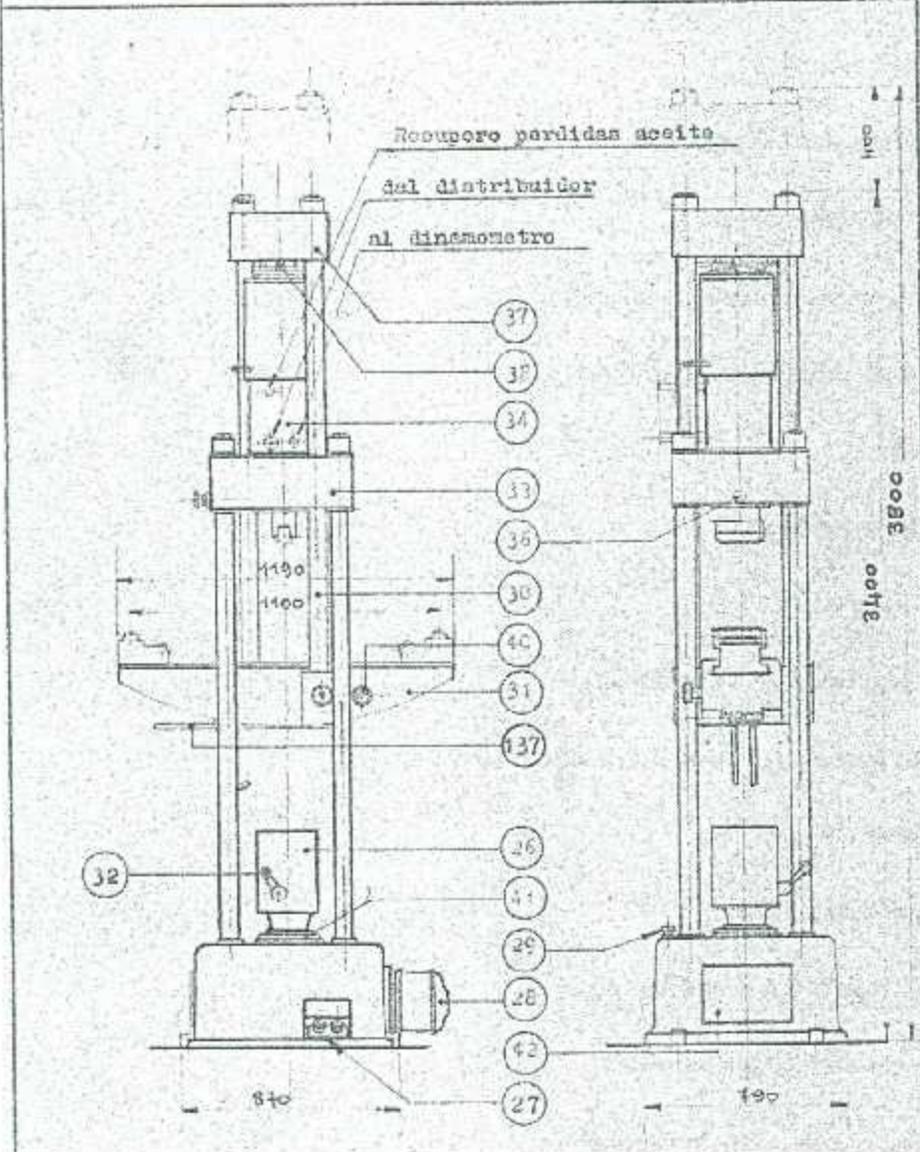


Figura A.4: Vista isométrica de la máquina de ensayos universal, folio nº 15 -dibujo nº 517501/B

1. Contrapeso dinamómetro.
2. Barra del péndulo.
3. Cuadrante dinamómetro.
4. Émbolo dinamómetro.
5. Varilla porta-plumilla dinamómetro.
6. Válvula de protección dinamómetro.
7. Péndulo.
8. Cilindro registrador.
9. Grifo "Descarga".
10. Grifo Regulación de velocidad".
11. Espigas para la nivelación del dinamómetro.
12. Bomba de alimentación.
13. Motor eléctrico.
14. Válvula regulación de la carga constante.
15. Regulación capacidad bomba.
16. Chapas de protección del dinamómetro.
17. Mando de rotación cuadrante.
18. Conmutador de mando del motor-bomba.
19. Eje de poleas.
20. Escritorio dinamómetro.
21. Tirantes dinamómetro.
22. Tanque de aceites.

-
23. Cabezal porta mordazas.
 24. Botones de presión para el mando de la cabeza inferior.
 25. Motor de mando de la cabeza inferior.
 26. Varilla nivel aceite de la cabeza inferior.
 27. Tirantes máquina.
 28. Travesaño de flexión.
 29. Palanca de mando de los cabezales.
 30. Cabezal.
 31. Cilindro.
 32. Tirante de clocaje.
 33. Travesaño superior.
 34. Movimiento émbolo.
 35. Cojinetes de bolas.
 36. Brida para base.
 37. Chapa tele-interruptor de mando porta mordazas.
 38. (137) Palanca de mando de los cabezales (PM./50).
 39. (115) Equipo eléctrico.
 40. (156) Correa para la bomba recupero aceite dinamómetro.
 41. (157) Correa demando movimiento agujas.
 42. (175) Escuadra demando movimiento agujas.
 43. (176) Varilla contrapeso.
 44. (158) Rueda dentellada movimiento agujas.
 45. (V1) Tornillo descarga aire.

