Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Centro de Investigaciones de soldadura (CIS)

Título:

Prototipo de dispositivo automático de alimentación para electrodo revestido.

Autor: Alain Orozco Claro

Santa Clara, 2010.

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Centro de Investigaciones de soldadura (CIS)

Título:

Prototipo de dispositivo automático de alimentación para electrodo revestido.

Tutor: Alejandro García Rodríguez

Autor: Alain Orozco Claro

Santa Clara, 2010.

Resumen

El estudio del comportamiento eléctrico operativo de los electrodos revestidos; ha sido abordado en las principales publicaciones especializadas en soldadura. Para el estudio del comportamiento de los consumibles se ha hecho necesario eliminar la influencia del operador, requiriéndose automatizar el proceso de alimentación del electrodo. Se han reportado algunos dispositivos de alimentación automática del electrodo revestido, que garantizan la soldadura plana, sin embargo aún no se han reportado dispositivos automáticos capaces de evaluar los electrodos en las demás posiciones de soldadura. En el presente trabajo se obtiene un prototipo de dispositivo automático, que permitirá alimentar electrodos revestidos para la evaluación de su comportamiento eléctrico durante la soldadura en todas las posiciones.

Abstract

The study of the operating electrical behaviour of coated electrodes has been covered in major publications in welding. To study the behavior of consumables has become necessary to eliminate the influence of the operator, requiring power to automate the process of the electrode feed. Have been reported some automatics feeding devices of coated electrode, which ensure the flat welding position, but still have not been reported automatics devices capable of weld at the others welding positions. At this paper we obtain a prototype of automatic device, which will feed coated electrodes for the evaluation of their electrical behaviour during welding in all positions.

Índice

Introducción 5
Capítulo I: Evaluación de Electrodos Revestidos 8
1.1. Soldadura manual con electrodo revestido (SMAW) 8
1.2. Características y designación de los electrodos revestidos. 10
1.3. Selección de uno entre varios electrodos homólogos. 10
1.4. Sistemas automáticos para la soldadura con electrodo revestido. 12
1.5. Transmisiones mecánicas 17
1.6. Conclusiones parciales 19
Capítulo II: Nuevo Dispositivo de Alimentación Automática 20
2.1. Dispositivo de alimentación del electrodo (brazo de alimentación) 20
2.2. Dispositivo de alimentación de la placa a soldar. 23
2.3. El dispositivo como un todo 28
2.4. Conclusiones Parciales 32
Capítulo III: Implementación del Dispositivo 33
3.1. Tecnología de maquinado de las transmisiones 33
3.2. Ensamblaje del brazo de alimentación del electrodo. 35
3.3. Ensamblaje del transportador de la placa a soldar 37
3.4. Ensamblaje del dispositivo. 38
3.5. Especificaciones de la tecnología de soldadura. 40
3.6. Secuencia de ensamble y soldadura del conjunto. 41
3.6.1. Especificaciones de las uniones. 42
3.6.2. Costos de la soldadura. 43
3.7. Conclusiones Parciales. 46
Conclusiones 47
Recomendaciones 48
Referencias Bibliográficas 49

Introducción

El proceso de soldadura SMAW, (del inglés) Shielded Metal Arc Welding, ha sido el proceso más empleado durante años dentro de la soldadura por arco eléctrico. Es también conocido como Soldadura Manual por Arco con Electrodo Revestido, del inglés Manual Metal Arc (MMA).

Debido al avance de la tecnología en los años 80 en los campos de la electrónica y la informática, se realizaron importantes aportes hacia la automatización de los procesos tecnológicos, específicamente los procesos de soldadura: Soldadura por Arco con Alambre y Protección Gaseosa, (del inglés) Gas Metal Arc Welding (GMAW); Soldadura con Arco Sumergido, (del inglés) Submerged Arc Welding (SAW); Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa, (del inglés) Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), etc.

La utilización de electrodos manuales llegó a estabilizarse dentro de los procesos de más metal depositado a nivel mundial desde los años 90 a la actualidad, dadas sus múltiples ventajas: simplicidad, durabilidad y bajo costo del equipamiento requerido; posibilidad de ser usado en espacios abiertos y cerrados; amplio rango de consumibles para la mayoría de las aplicaciones; disponibilidad en pequeñas unidades y a relativamente bajo costo [1]. En los países latinoamericanos el 80 % del metal depositado se produce mediante el proceso SMAW, el cual se ha incrementado en las últimas décadas a nivel mundial.

El proceso de soldadura SMAW se mantiene entre los principales procesos de soldadura a nivel mundial, siendo insustituible en diversas aplicaciones de las distintas ramas de la industria de los países desarrollados y del tercer mundo. En los últimos años se continúan mejorando las características operativas de los electrodos revestidos, contribuyendo a minimizar las pérdidas metálicas por salpicadura [2] y estudiando el comportamiento del arco en las condiciones de la soldadura con baja corriente [3].

Una amplia gama de aplicaciones, tanto en taller como a pie de obra, en la soldadura de materiales de espesores superiores a 1,5 mm, se garantizan mediante SMAW. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y

calderería. La selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el costo de la soldadura [4].

Los electrodos se encuentran clasificados según especificaciones que responden a diferentes normas, entre ellas resultan referencias importantes las especificaciones de la Sociedad Americana de Soldadura (del inglés) American Welding Society, (AWS). Los electrodos para la soldadura de aceros al carbono, aceros de baja aleación y aceros inoxidables, se especifican según las normas AWS-A.5.1, AWS-A.5.5 y AWS-A.5.4 respectivamente. Según las características de las sustancias componentes de sus revestimientos, los electrodos revestidos pueden ser ácidos, básicos, rutílicos o celulósicos.

Teniendo en cuenta que en la actualidad, dentro de los procesos de soldadura por arco eléctrico, el proceso SMAW es el más extendido a nivel mundial, se viene realizando una serie de proyectos de investigación con vistas al estudio del comportamiento eléctrico operativo de los electrodos revestidos; haciéndose necesario eliminar la influencia del operario, que modifica manualmente la longitud del arco, requiriéndose automatizar el proceso de alimentación del electrodo. Algunos dispositivos de alimentación automática del electrodo revestido, reportados en la literatura, garantizan la soldadura plana, siendo necesario evaluar los electrodos en todas las posiciones. En el presente trabajo se propone el diseño mecánico de un prototipo de dispositivo automático, que permitirá alimentar electrodos revestidos durante la soldadura en todas las posiciones.

Problema Práctico

Para la prueba de electrodos revestidos, se requiere un dispositivo que permita variar el ángulo de incidencia de electrodos sobre la placa a soldar, así como soldar en todas las posibles posiciones de soldadura, plana, horizontal vertical y sobre cabeza.

Objeto de Investigación

Dispositivos de alimentación automática de electrodos revestidos.

Objetivo General

Diseño e implementación mecánica de un prototipo de dispositivo para la alimentación de electrodos revestidos, que permita variar la velocidad de soldadura, el ángulo de incidencia de los electrodos sobre la placa a soldar, así como soldar en todas las posibles posiciones de soldadura con electrodos revestidos.

Hipótesis

El diseño de una unidad que combine motores eléctricos debidamente acoplados a transmisiones de tipo tornillo y tuerca para el brazo de alimentación del electrodo y la mesa transportadora de la placa a soldar, ensamblados a una estructura trapezoidal de base variable; permitirá variar el ángulo de incidencia del electrodo sobre la placa a soldar y la soldadura en todas las posibles posiciones.

Objetivos Específicos

1. Desarrollar el marco teórico de la investigación.
2. Definir las características esenciales del dispositivo a diseñar.
3. Proponer un prototipo del dispositivo.

Tareas

1. Revisión de tipos de dispositivos de alimentación reportados en la literatura.
2. Diseño del sistema de alimentación del electrodo.
3. Diseño del sistema de desplazamiento de la placa a soldar.
4. Implementación mecánica del prototipo.

Capítulo I: Evaluación de Electrodos Revestidos

En el presente capítulo se aborda el tema de la evaluación de electrodos revestidos a partir de una revisión documental sobre las características del proceso SMAW y su importancia para la tecnología moderna. Diferentes especificaciones y tipos de electrodos son utilizados en diversos tipos de aplicaciones de la industria mecánica, siendo necesario establecer procedimientos para seleccionar los electrodos más eficientes aun dentro de la misma clasificación (homólogos). Para la evaluación del comportamiento eléctrico de los electrodos revestidos, se requiere el empleo de dispositivos automáticos que permitan eliminar la influencia del operador, por lo que se realiza un estudio de los principales tipos de dispositivos reportados en la literatura especializada. El empleo de diferentes tipos de transmisiones garantiza la concreción de dichos dispositivos, por lo que se relacionan algunas de las más empleadas con este fin.

1.1. Soldadura manual con electrodo revestido (SMAW)

El proceso se inicia cuando, en presencia de una diferencia de voltaje entre la punta metálica del electrodo y la pieza de trabajo, es cortocircuitada el alma metálica del electrodo revestido con la pieza a soldar; produciéndose, al paso de la corriente, el calentamiento por efecto Joule del metal de la punta del electrodo y sus óxidos, que activa el fenómeno de emisión electrónica y la aparición de un flujo de electrones. Producto de las altas temperaturas alcanzadas durante este proceso, las sustancias componentes del revestimiento son descompuestas en gases, que junto a los vapores del metal del alma metálica, pueden ionizarse para establecer un plasma térmico que produce suficiente energía como para unir metales por fusión [5]. El material fundido de la punta del electrodo aporta gotas que atraviesan el arco hasta ingresar al baño fundido, que una vez solidificado bajo la capa de escoria, constituirá el cordón de soldadura. La atmósfera gaseosa, que protege el arco, evita la oxidación y la nitruración a altas temperaturas del metal depositado y la capa de escoria protege al metal fundido y contribuye a desulfurar y desfosforar el mismo, elevando las propiedades mecánicas del depósito [4]. Durante el proceso se

producen pérdidas metálicas por salpicadura que atentan contra su economía [6], despidiéndose además gases y radiaciones perjudiciales para la salud [7-9] (Figura 1). El proceso puede efectuarse utilizando fuentes de corriente directa (CD) o alterna (CA), la fuente debe tener una característica descendente, donde el voltaje tiende a caer mientras se incrementa la corriente de soldadura y viceversa, produciéndose un proceso de autorregulación del punto de operación [10].

Durante el proceso de fusión del electrodo, el metal se funde a una temperatura inferior a la del revestimiento, aproximadamente a 1535 ^{0}C para el acero. El revestimiento presenta una temperatura de fusión superior a la del alma metálica debido a su contenido de materiales refractarios, formando una copa característica (Figura 1.1) según la distribución de las isotermas alrededor del arco.

.

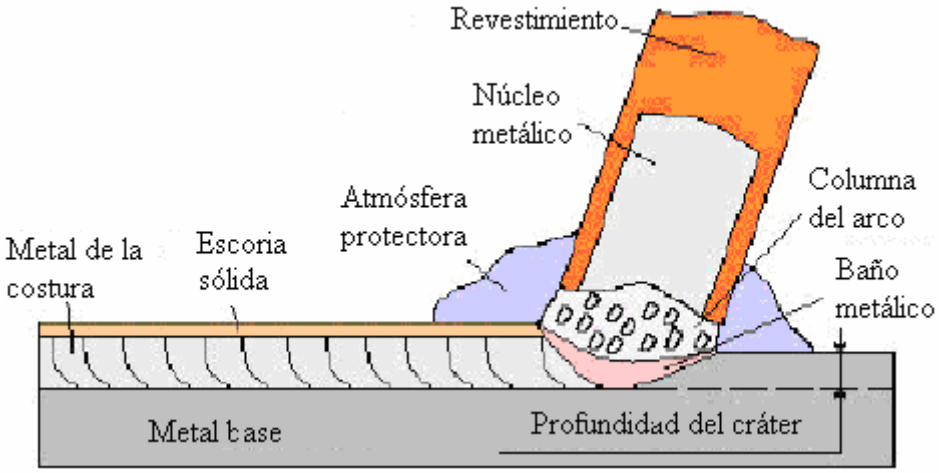

Figura 1.1: Representación esquemática del proceso SMAW.

También es posible soldar sin apoyar el electrodo con una longitud de arco mayor. El operador intenta igualar la velocidad de alimentación del electrodo a la velocidad de fusión del mismo, procurando una velocidad de soldadura estable para lograr una adecuada apariencia del cordón. La calidad del cordón de soldadura se relaciona con el grado de destreza del operador para distintas posiciones de soldadura. Las posiciones vertical y sobre-cabeza son las más exigentes [11].

El proceso SMAW se utiliza por su versatilidad en una amplia gama de aplicaciones tanto en taller como en obra en la soldadura de materiales de espesor superior a 1,5

mm. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderería, etc. La selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el coste de la soldadura [4].

1.2. Características y designación de los electrodos revestidos.

Los electrodos revestidos para la soldadura están compuestos por un alma metálica o alambre y un revestimiento. El alma es, generalmente, para los aceros de baja aleación, una varilla de aceros de aproximadamente 0,10 % de carbono. Para aceros inoxidables, contiene además, níquel y cromo.

El revestimiento cumple varias funciones en el proceso de soldadura: estabilización del arco de soldadura para evitar su oxidación y nitruración, introducción de elementos aleantes en el baño, etc.

Según la composición química de sus revestimientos, los electrodos pueden ser:

Celulósicos: Están constituidos, principalmente, por celulosa, madera o algodón; y también por silicatos naturales y ferro aleaciones reductoras. Permiten una gran penetración. Emplean cualquier tipo de corriente.

Ácidos: Están constituidos, fundamentalmente, por óxidos de hierro, silicatos y ferro aleaciones. Logra protección a través de una capa de escoria espesa. Permite utilizar cualquier tipo de corriente y es barato, pero no garantiza elevadas propiedades mecánicas.

Rutílicos: Están constituidos por rutilo (95% TiO) o ilmenita (50% TiO y 50% de FeO), silicatos y ferroaleaciones. Brinda un arco muy estable con cualquier tipo de corriente. Da propiedades mecánicas superiores a los ácidos y son poco sensibles a la humedad.

Básicos: Están constituidos por carbonato de calcio o magnesio, silicatos, ferroaleaciones, feldespato, y espatoflúor. Solo se sueldan con corriente continua, polaridad invertida. Son los electrodos que permiten obtener mejores propiedades en las uniones.

1.3. Selección de uno entre varios electrodos homólogos.

En el mercado mundial se ofertan diferentes tipos de electrodos de distintas especificaciones. Muchas veces se encuentra, dentro de una misma especificación, gran diversidad de electrodos de la misma clasificación producidos por distintos fabricantes, con materiales de diferentes orígenes, dosificaciones, tratamientos y características operativas.

Especificaciones AWS	Tipos de electrodo
A 5.1……..	Electrodos recubiertos para la soldadura por arco de acero al carbono.
A 5.3……..	Electrodos recubiertos para la soldadura por arco de aluminio y sus aleaciones.
A 5.4……...	Electrodos recubiertos para la soldadura por arco de aceros resistentes a la corrosión.
A 5.5……..	Electrodos recubiertos para la soldadura por arco de aceros de baja aleación.
A 5.6……..	Electrodos recubiertos de cobre y sus aleaciones.
A 5.11……	Electrodos recubiertos de níquel y sus aleaciones.
A 5.15……	Electrodos recubiertos para la soldadura en hierro fundido.
A 5.13 y A5.21……	Electrodos recubiertos para la soldadura superficial.

La selección del electrodo de menor relación costo/beneficio, dentro de un grupo de homólogos, no se realiza por procedimientos establecidos a nivel mundial. Según las normas, los electrodos deben cumplir con los requisitos de las clasificaciones según rangos definidos en la composición química del metal depositado y sus propiedades mecánicas, niveles de humedad del revestimiento, posiciones de soldadura, tipo y polaridad de la fuente de soldadura, etc. El procedimiento de certificación de un electrodo se ciñe a los requerimientos de su clasificación, por procedimientos estandarizados [12].

Una vía efectiva de valoración de la operatividad del electrodo, se basa en el análisis de sus características económicas, que son evaluadas en Cuba según la Norma Internacional ISO 2401-72. Entre los parámetros de consumo se contemplan: coeficiente de fusión, coeficiente de depósito, productividad del proceso, coeficiente de pérdidas, eficiencia de depósito respecto al núcleo del electrodo, eficiencia del depósito sin considerar las pérdidas por colillas, eficiencia total del electrodo [13].

En las normas descritas anteriormente no se contemplan los consumos de potencia eléctrica, ni otros aspectos operativos que influyen en los costos de las producciones. Por otra parte, no se especifican los procedimientos para calificar el comportamiento eléctrico característico de los procesos de transferencia de masa y carga a través del arco y la forma del cordón.

Ante la existencia de más de 1500 fabricantes diferentes de electrodos a nivel mundial [14], en distintas clasificaciones, es de vital importancia, ante la amplia afluencia de estos materiales en el mercado mundial, disponer de una vía para diferenciar la operatividad eléctrica de electrodos homólogos, que apoye el proceso de selección del electrodo de menor relación costo/beneficio, en determinadas aplicaciones.

1.4. Sistemas automáticos para la soldadura con electrodo revestido.

Uno de los problemas que presentan los dispositivos automáticos reportados en literatura, con respecto a la valoración de la operatividad eléctrica de los electrodos revestidos, proviene del hecho de que sólo se obtienen resultados en la posición plana. Siendo necesario obtener una valoración de la operatividad eléctrica de los electrodos revestidos, en todas las posiciones existentes: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

Para eliminar la influencia del operador, en los sistemas de estudio de la operatividad eléctrica de los electrodos revestidos, se han diseñado dispositivos de alimentación automática [15, 16]. En su tesis doctoral Wen Hou Chu [16, 17], basado en la demostración de que las técnicas para el control automático de SMAW eran aún ineficientes para sustituir totalmente la mano del hombre en las aplicaciones de este proceso, fundamenta la necesidad de una investigación sobre la aplicación de la lógica borrosa o difusa (Fuzzy Logic) en un controlador PID (Proporcional, Derivativo

e Integral) con ganancia programada para la automatización de este proceso mediante un alimentador de alambre con motores de corriente alterna.

El alimentador automático utiliza dos servomotores A y B, de corriente alterna (Figura 1.2), el servomotor B proporciona el movimiento en la dirección de la soldadura, mientras que el A permite la alimentación del electrodo hacia la pieza de trabajo.

La velocidad de alimentación del alambre es monitoreada mediante un encoder cuya salida es digitalizada mediante una tarjeta de adquisición de datos A/D PCL – 818H acoplada con una computadora 586. La misma tarjeta digitaliza la señal proveniente del sensor de corriente (Efecto Hall). Una tarjeta D/A PCL-726, acoplada a la misma computadora controla la velocidad de alimentación del electrodo. En la computadora se establece el control automático para mantener los parámetros de soldadura en los rangos requeridos.

En este caso, el parámetro de control es la corriente de soldadura, a diferencia del sistema posterior (Figura 1.3). Como todo lazo de control, ante la ocurrencia de cambios en la corriente, el sistema requiere un tiempo para estabilizar su respuesta; por lo que, inducidas por el sistema de alimentación, ocurrirán modificaciones del desempeño eléctrico específico del electrodo.

Aunque las variaciones en la longitud de arco pueden ser, según Lancaster [10], compensadas por la característica de la fuente de soldadura, el comportamiento eléctrico típico del electrodo está en función de la respuesta dinámica de la fuente de suministro y del dispositivo de alimentación forzada, cuando este debe ejercer acciones de adelanto o retraso de la velocidad de alimentación del electrodo, a partir de la detección de un cambio en la longitud del arco.

En algunos estudios publicados [1, 15, 18-20], se mencionan dispositivos de alimentación automática basados en motores, sin especificar las características de la respuesta dinámica del sistema para alimentar el electrodo ante las variaciones de longitud de arco producidas por la fusión del consumible y la dinámica de la fuente de soldadura.

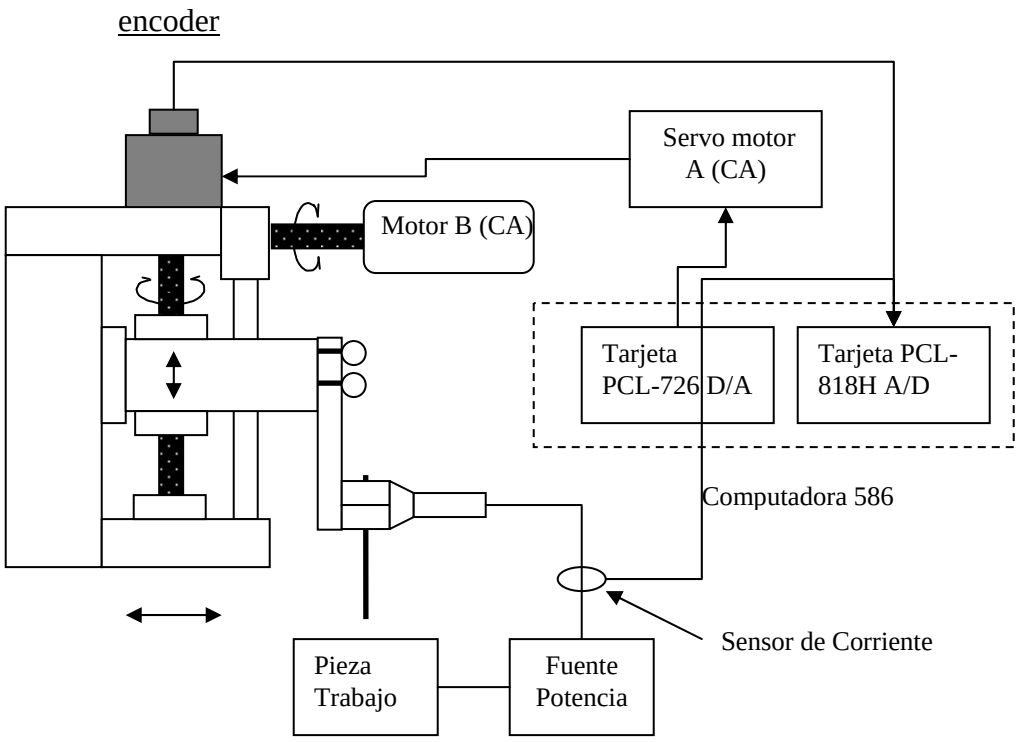

Figura 1.2: Estructura del sistema automático para el control del proceso SMAW propuesto por Wen Hou Chu en su tesis doctoral [17]

En algunos casos no se describen las estrategias de control empleadas [21]. Paton [22] compara la influencia de los sistemas de alimentación continua y pulsada del alambre, en las variables esenciales del proceso GMAW, demostrando que la alimentación pulsada estabiliza y por tanto influye en la frecuencia de los cortocircuitos. Otros autores publican los pormenores de los sistemas de control expuestos en sus sistemas de alimentación automática, sin determinar la magnitud y la forma en que se afecta la característica específica del electrodo [23].

En el esquema de la Figura 1.3 se representa un sistema [15], formado, en parte, por una fuente de potencia inversora de 350 A (9), con 65 V de voltaje a circuito abierto, y una tarjeta (3), que controla la velocidad del motor que alimenta el electrodo regulando la longitud de arco. El voltaje de alimentación del motor de corriente directa por pasos (1) regula la velocidad de alimentación del electrodo (4); mientras la velocidad de soldadura ha sido predefinida y mantenida constante (10), el carro de soldadura (11) pasa transportando la placa a soldar (2) por debajo del electrodo (4).

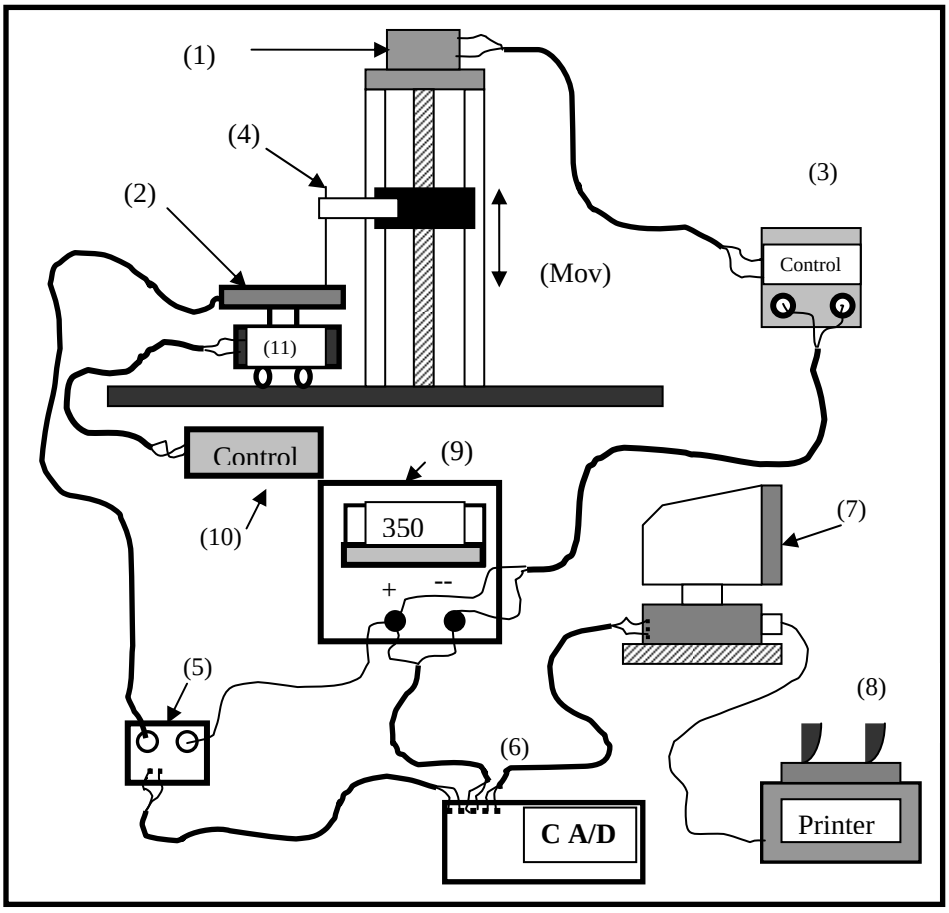

Figura 1.3: Representación esquemática de la estación experimental empleada por Rissone [15]

Los componentes fundamentales del sistema de adquisición de datos son: el sensor de efecto Hall de 300 A (5), un circuito de acondicionamiento de señal compuesto por un convertidor A/D (6), una microcomputadora (7) y una impresora (8). Este sistema de adquisición de datos permite lecturas de corriente y voltaje a frecuencias programables de 10 Hz a 100 kHz con conversión a 12 bits por canal.

El arco se proyecta por medio de lentes en una pantalla con una escala de medición que permite la observación, en tiempo real, de las variaciones en su longitud. La curva de calibración indica el voltaje de arco que fue ajustado en la tarjeta de control y mantenido prácticamente constante durante el tiempo de consumo del electrodo [15].

Los valores de voltaje y corriente instantánea se procesan por el software ANALYSER**,** que determina los parámetros usados para evaluar el comportamiento

del arco. Este sistema tiene el inconveniente de que ante las relativamente rápidas variaciones de la tasa de fusión del electrodo alrededor del punto de operación, variará la longitud de arco y será necesario variar el ritmo de alimentación del electrodo, modificando su respuesta operativa intrínseca. En todo caso, las variaciones producidas con el empleo de este dispositivo serán mucho menores que las producidas por un operador bien adiestrado, aunque no iguales a las que produciría el electrodo sin la influencia de un alimentador externo.

Bajo este principio, en el Centro de Investigaciones de Soldadura, de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, se ha construido un dispositivo similar (Figura 1.4), para la investigación. El dispositivo consta de una base metálica (3), que sostiene un soporte vertical (2) por el que se desliza por gravedad la corredera (6) solidaria al brazo (9), que soporta la tenaza (8), sosteniendo al electrodo (5) por el extremo opuesto al cordón de soldadura (11) y, a la vez, suministrando el contacto eléctrico con el conductor (10), proveniente de la fuente de soldadura, mediante una unión roscada desarmable (7).

La tenaza (8) gira respecto a un eje pasante perpendicular a la pieza (9), lo que permite ajustar el ángulo de incidencia (α) del electrodo respecto a la placa a soldar (4). La varilla (1) limita el movimiento radial del electrodo restringiendo las oscilaciones en la trayectoria del cordón (11).

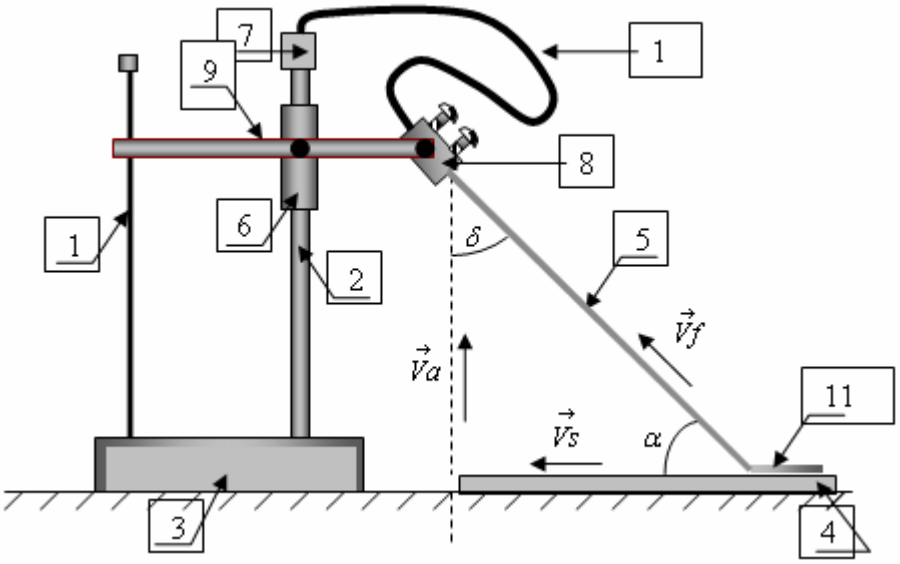

Figura 1.4: Dispositivo de alimentación automática

Hasta el momento estos dispositivos reportados han sido capaces de realizar la soldadura solo en la posición plana, lo que imposibilita la evaluación de los electrodos en las demás posiciones de soldadura. Esta incapacidad que presentan los dispositivos actuales, constituye el problema práctico y científico a resolver, que sirvió de necesaria justificación al trabajo de diseño e implementación mecánica de un dispositivo automático que permite la soldadura en todas las posiciones.

1.5. Transmisiones mecánicas

Dentro de los dispositivos automáticos y semiautomáticos de soldadura están presentes las transmisiones mecánicas (TM) debidamente acopladas con motores eléctricos, garantizando la alimentación del material de aporte y el desplazamiento del material base.

Las llamadas transmisiones mecánicas son los mecanismos que se emplean para transmitir la energía desde el motor a los órganos de trabajo de una máquina, por regla general, con transformación de la velocidad, de la fuerza y los momentos, a veces, con la transformación del carácter y de la ley del movimiento [24].

La necesidad de introducir una transmisión entre el motor y los órganos de trabajo se debe a que:

1 - Las velocidades requeridas del movimiento de los órganos de trabajo de la máquina se distinguen con mucha frecuencia de las velocidades de los motores estandarizados.

2 - A menudo un motor pone en movimiento varios mecanismos que deben funcionar a distintas velocidades.

3 - Los motores estandarizados se suelen aplicar para transmitir un movimiento giratorio uniforme, mientras que los órganos de trabajo de la máquina frecuentemente deben moverse en sentido rectilíneo, variando la velocidad o con paradas periódicas.

Existen diferentes tipos de transmisiones mecánicas que se clasifican de acuerdo con procedimiento de la transmisión del movimiento desde el elemento accionador al accionado:

1 - Transmisiones por rozamiento: con contacto directo (por fricción), o con enlace flexible (por correa)

2 - Transmisiones por engranajes: con contacto directo (por diente, como las de tuerca - tornillo y sin fin) o con enlace flexible (por cadena y correa dentada).

En el caso de los dispositivos analizados en el epígrafe anterior, se aprecian transmisiones por engranaje de contacto directo. En este caso se emplea un tornillo que desplaza a una tuerca que soporta al electrodo.

1.6. Conclusiones parciales

1. El proceso SMAW se encuentra ampliamente diseminado a nivel mundial, debido a su gran versatilidad en numerosas aplicaciones de la pequeña, mediana y gran industria.
2. No se conocen metodologías para la selección de uno entre varios electrodos homólogos en la misma clasificación. Estos pueden provenir de diferentes fabricantes que les confieren diferentes propiedades operativas.
3. Dentro de las transmisiones mecánicas existentes, las de tipo tornillo y tuerca, son las más reportadas en diseños de dispositivos automáticos de soldadura.
4. Los dispositivos reportados sólo son capaces de realizar la soldadura en la posición plana, lo que imposibilita la evaluación de los electrodos en las demás posiciones de soldadura.

Capítulo II: Nuevo Dispositivo de Alimentación Automática

En este capítulo se exponen las especificaciones de diseño del dispositivo por partes y como un todo. El brazo de alimentación del mismo mediante una transmisión de tipo tornillo – tuerca. El ángulo del electrodo puede variarse respecto a la placa a soldar y la velocidad de alimentación se puede ajustar a partir de la regulación de la velocidad de giro de un motor con reductor. La mesa transportadora de la placa de soldadura define la velocidad de soldadura a partir de una transmisión del mismo tipo. Ambos elementos se acoplan entre sí mediante una estructura trapezoidal que permite la adopción de todas las posiciones de soldadura a partir de su apoyo en diferentes bases.

2.1. Dispositivo de alimentación del electrodo (brazo de alimentación)

Para ejecutar el proceso de soldadura SMAW, se requiere alimentar el electrodo hacia la pieza de soldadura a determinada velocidad en función de las variables esenciales del proceso. La tasa de fusión del electrodo está definida por el fabricante para cada diámetro de electrodo y régimen de corriente. La velocidad de fusión del electrodo debe ser igual a la velocidad de alimentación del mismo para mantener constante la longitud de arco.

La velocidad de fusión del electrodo se define a partir de la Ecuación 2.1.

$$V_A = \frac{L_F}{t} \quad \text{(m/s)} \qquad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde t es el tiempo de soldadura, V_A es la velocidad de fusión del electrodo y L_F es la longitud de la parte que se consume del electrodo, es decir, sin tener en cuenta el desecho o colilla del mismo.

Para lograr la ejecución del proceso es necesario utilizar un dispositivo de alimentación lineal que mueve el soporte del electrodo en línea recta hacia el arco de soldadura.

Para garantizar el cumplimiento de este principio se propone el diseño de un brazo mecánico (Figura 2.1) que permita una adecuada alimentación del electrodo (8) garantizando un rango de velocidades de alimentación (Va) de la soldadura. Para

esto se diseña una TM de tipo tornillo (10) y tuerca (9) la cual es la encargada de transformar la velocidad angular (ω) del motor (M) en velocidad lineal (V_A).

Para un electrodo de diámetro 4 mm, la velocidad de fusión bajo un régimen de 160 A es de 0,0046 m/s. Para lograr ésta velocidad lineal, se utiliza un tornillo de transmisión con un paso de rosca de 2 mm, es decir, que la distancia que avanzaría la tuerca del soporte del electrodo sería de 2 mm por cada revolución del tornillo (V_A = 2 mm/rev). Para alcanzar un desplazamiento de 0,0046 m/s, se requerirían 2,3 rev/ s. Es decir 138 rpm. La confección de una rosca con este paso, es alcanzable en nuestro taller mediante una adecuada tecnología de maquinado.

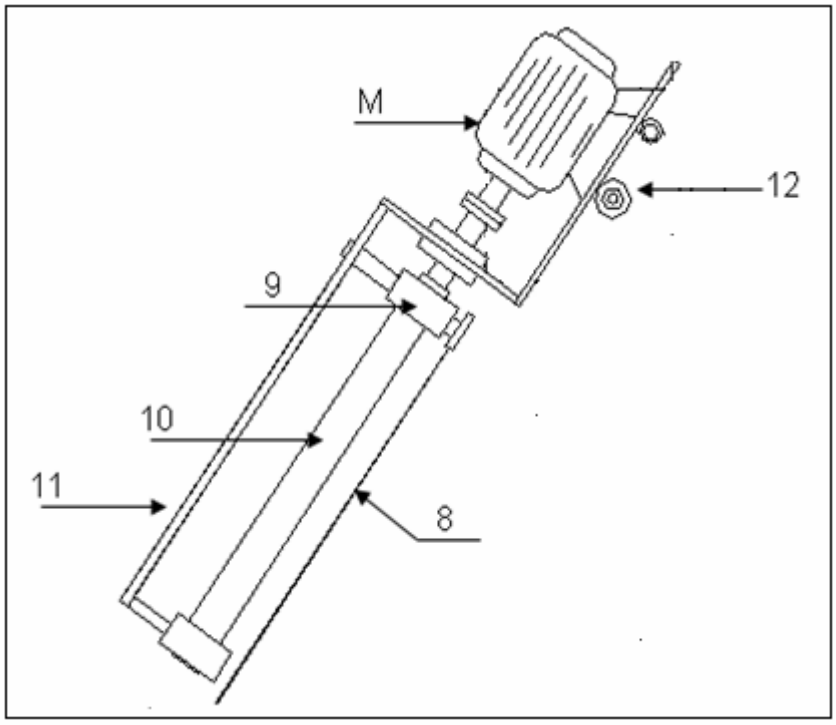

Figura 2.1: Dispositivo de alimentación del electrodo.

Dados los diferentes regímenes de trabajo y dimensiones de electrodos de diversos tipos existentes, el motor escogido debe ser capaz de operar en un rango de velocidad angular variable, se decide utilizar un motor reductor de corriente continua a 12V que proporciona 152 revoluciones por minuto con una torque de 16,7 kg·cm (Figura 2.2) [25].

La longitud del tornillo (10) debe ser mayor que la de un electrodo (8), para que el desplazamiento de la tuerca (9), a la cual esta acoplado el material de aporte (8)

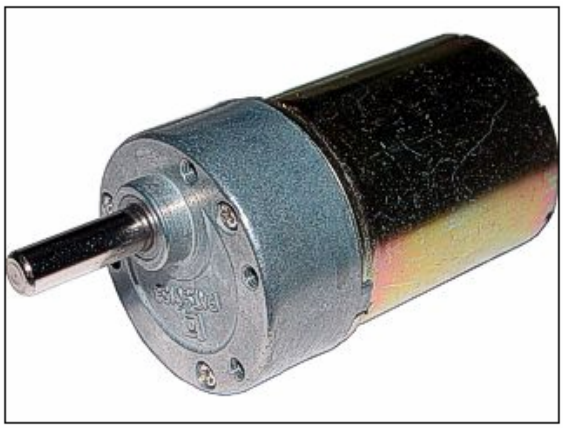

Figura 2.2: Motor eléctrico [25].

mediante un dispositivo (Figura 2.4), sea mayor que la longitud que se funde en un electrodo. En este caso el tornillo será montado en cojinetes de deslizamiento (Figura 2.3) construidos de bronce para disminuir la fricción, el desgaste y el torque ejercido sobre el motor. El material utilizado para la construcción de la estructura (11) que soporta el motor (M) y la TM, es acero de bajo contenido de carbono. El material del tornillo es de acero 45X y el de la tuerca es de bronce, siendo esta selección la más común dentro de los materiales usados en este tipo de TM.

El torque es uno de los parámetros esenciales que se deben conocer cuando se habla de transmisiones mecánicas acopladas a motores eléctricos. En la alimentación del electrodo hacia la pieza de soldadura el mecanismo demanda un mínimo valor de torque, debido a que el electrodo está sometido solamente a la acción de la presión del arco, manteniéndose separado de la placa de soldadura, esta separación se conoce como la longitud del arco soldadura.

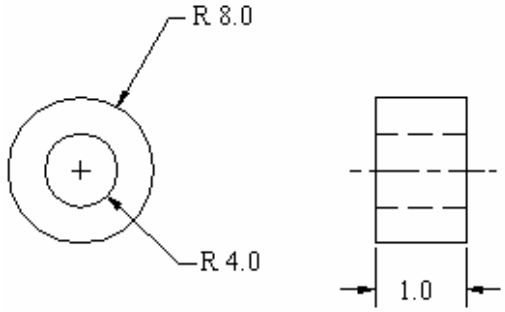

Figura 2.3: Cojinetes de deslizamiento.

En la Figura 2.3 se muestran dos vista de uno de los cuatro cojinetes de deslizamiento iguales, que se diseñan para montar los tornillos de las TM de la mesa y el brazo.

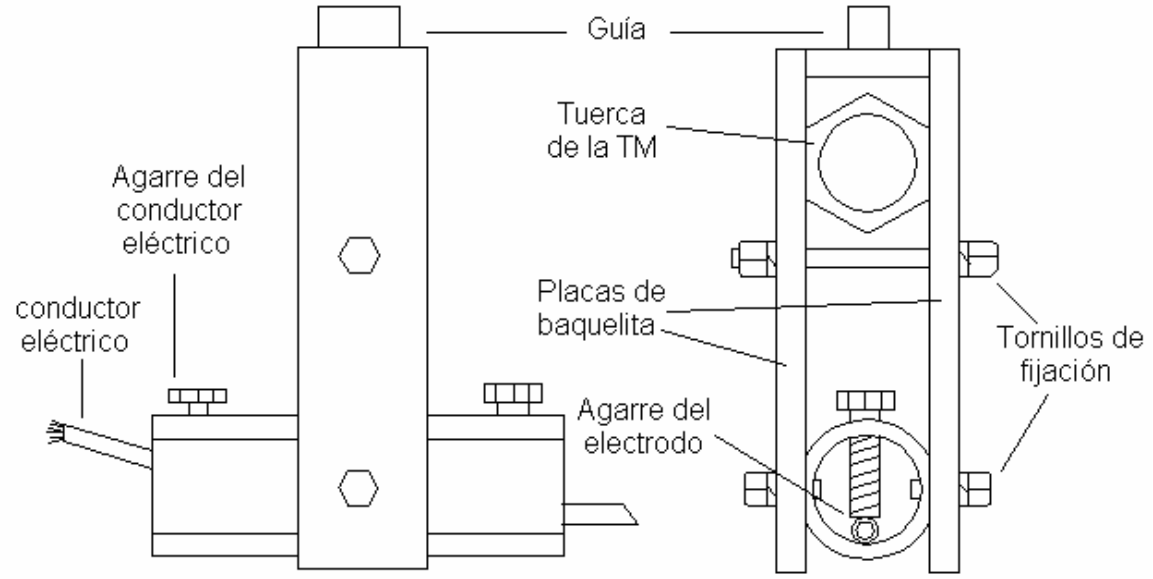

Figura 2.4: Dispositivo de fijación del electrodo a la tuerca de la TM.

En la Figura 2.4 se muestra el dispositivo encargado de fijar el electrodo a la tuerca de la TM, este está compuesto por dos placas de baquelita que mantendrán el resto del conjunto aislado eléctricamente. Tanto el electrodo como el conductor eléctrico se agarran mediante unos tornillos acoplados en el casquillo, el material de este de bronce para facilitar la conducción de la corriente.

2.2. Dispositivo de alimentación de la placa a soldar.

Para realizar un cordón de soldadura, se hace necesario que la plancha a soldar sea alimentada a la velocidad de soldadura, para garantizar el depósito de un cordón de alta calidad.

La velocidad de soldadura se determina por la Ecuación 2.2.

$$V_S = \frac{L_S}{t} \quad \text{(m/s)} \qquad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde *Vs* es la velocidad de soldadura, L_S es la longitud del cordón de soldadura y *t* es el tiempo que toma realizar la soldadura.

Como el tiempo de soldadura es el mismo en las Ecuaciones 2.1 y 2.2 se puede despejar e igualar las ecuaciones resultantes, obteniéndose la Ecuación 2.3.

$$\frac{Vs}{Va} = \frac{L_S}{L_F}$$ Ecuación 2.3

Para el caso en que se emplea un electrodo de 4 mm de diámetro con una corriente de 160 A es típico un valor de L_F = 0,28 m y de L_s= 0,14 m, de donde se obtiene la Ecuación 2.4.

$V_a=2.V_s$ (m/s) Ecuación 2.4

De lo que se demuestra que la velocidad de alimentación del electrodo es el doble que la velocidad de alimentación de la placa a soldar en estas condiciones. Habiéndose calculado anteriormente la velocidad de alimentación (138 rpm), se calcula la velocidad del motor de alimentación de la plancha a soldar que será de 69 rpm. Para esto es posible usar un reductor a partir del mismo motor, cuando el mismo posea la potencia suficiente.

La mesa consta principalmente de un soporte deslizante o porta probeta de aluminio, este acoplado a la tuerca de bronce de una TM de tipo tornillo y tuerca, al igual que la del dispositivo de alimentación (Figura 2.1), el tornillo es del mismo material, su longitud se diseña acorde a la longitud del cordón de soldadura a efectuar, en este caso se escogió un valor promedio de 0,015 m, garantizando así que el tablero se desplace lo suficiente como para que el electrodo se consuma por completo. El tornillo esta montado en cojinetes deslizantes (Figura 2.3) de bronce siguiendo el mismo diseño empleado en el dispositivo de alimentación del electrodo. El motor debe operar a menos rpm que el empleado en el brazo, debido a que la velocidad de soldadura es menor que la de alimentación del electrodo, pero a mayor torque, porque la masa del soporte junto con la probeta desarrolla mayor resistencia a la transmisión.

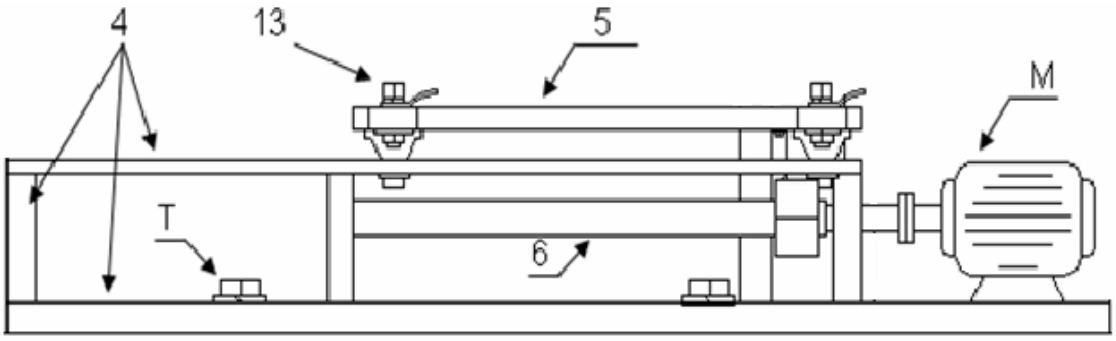

Figura 2.5: Mesa.

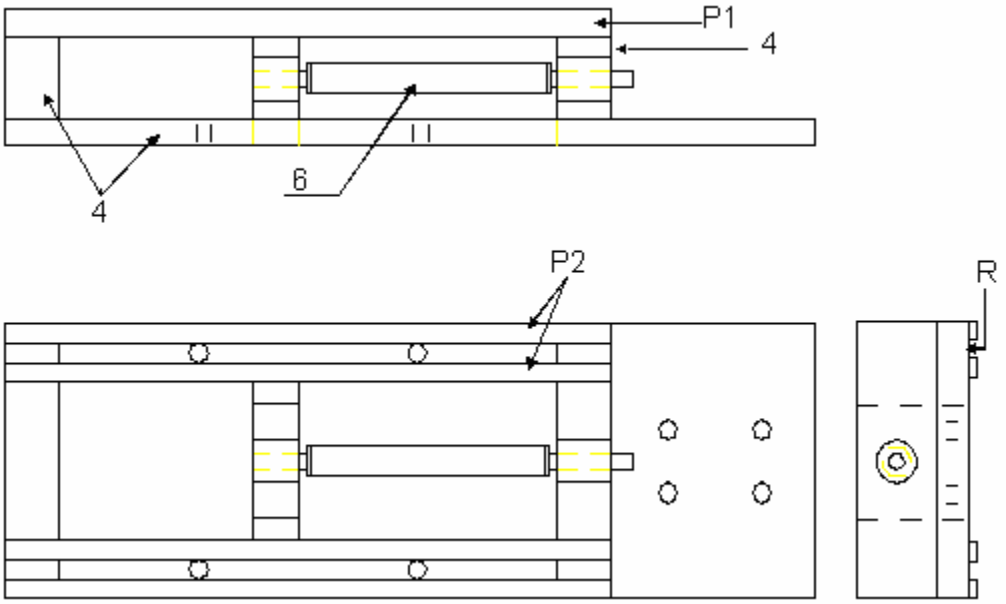

Figura 2.6: Vistas de la mesa, sin soporte porta probeta.

A continuación se presentan tres vistas de la mesa principal (Figura 2.6), por la cual se desplaza el soporte (5) encargado de sostener la palca a soldar, está compuesta principalmente por una placa base (4) de acero, al cual se sueldan dos planchas (P1, P2) con una ranura (R) cada una, por las planchas correrán los apoyos (A) del soporte (5) el cual será sostenido a través de las ranuras (R), permitiendo que el soporte (5) se mantenga fijo a la mesa (Figura 2.6), al girar el dispositivo, esta presente además un tornillo (6) montado en cojinetes de deslizamiento (Figura 2.6), encargado de trasmitirle movimiento al soporte (5), (Figura 2.5), los cojinetes están montados en la placa base (4) y en el porta cojinete (Figura 2.7).

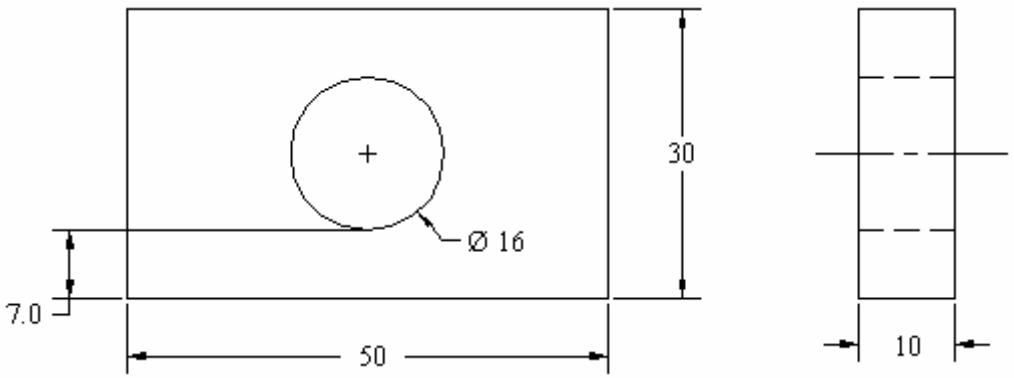

Figura 2.7: Porta cojinete.

Una de las partes del transportador de la placa a soldar es el porta cojinete (Figura 2.7) el cual sostiene el cojinete (Figura 2.3) manteniéndolo centrado y rígido.

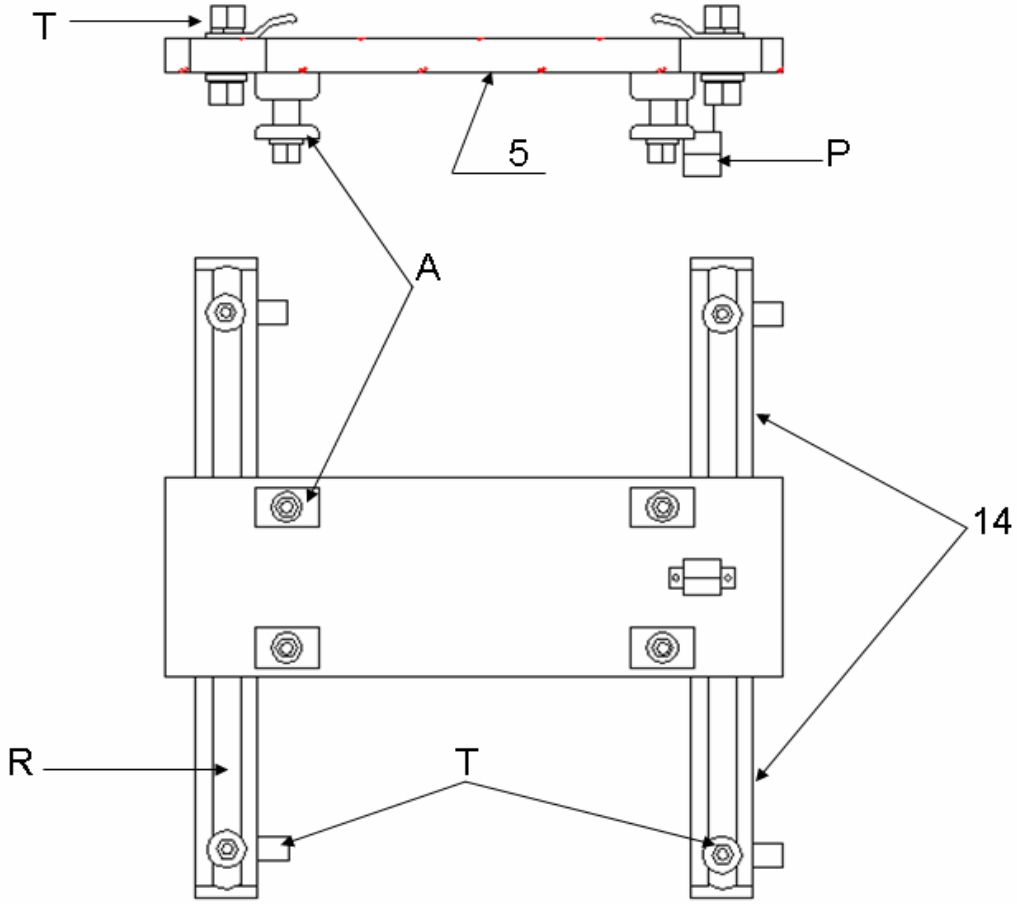

Figura 2.8: Soporte porta probeta.

El soporte es la mesa encargada de sostener la placa a soldar, esta presenta unos tornillos (T) ajustables, los cuales sostendrán la probeta directamente, pudiéndose graduar según el ancho de la probeta, debido a que están montados en planchas

(14) con ranuras (R) como se muestra en la Figura 2.6. El movimiento se transmite por una pieza (P) acoplada por la parte inferior que no es más que la tuerca de la TM.

En el caso de este diseño el valor del torque es insignificante, ya que el órgano de trabajo en las posiciones de soldadura, plana, horizontal y sobre cabeza no realiza una resistencia notable prácticamente. Se desplaza libremente, solo en la posición de soldadura vertical ascendente, en la que actúa la fuerza de gravedad (Fg). El torque se puede calcular partiendo de la Ecuación 2.3:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad \text{[N·m]} \qquad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde *T* es el torque y *P* la potencia.

La potencia que demanda el órgano de trabajo se calcula según la Ecuación 2.4:

$$P = F_g \cdot V_L \quad \text{[W]} \qquad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde *Fg* es la fuerza de gravedad y V_L es la velocidad lineal (Vs).

$$F_g = m \cdot g \quad \text{[N]} \qquad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde *m* es la masa del soporte junto con a la placa a soldar y *g* es la constante de gravedad.

El cálculo del torque que debe garantizar el motor en la posición de soldadura vertical ascendente se calcula, tomando como masa el conjunto soporte - placa a soldar de 500g y una velocidad angular de 69 rpm, obteniéndose los siguientes resultados:

$F_g = 4.91$ N

P = 0.0113 W

T = 0.0023 N·m

Como se puede observar, también en esta posición de soldadura, los valores son mínimos.

2.3. El dispositivo como un todo

El dispositivo de alimentación y el transportador de la placa se soportan en una estructura trapezoidal acomodable según la posición de la soldadura que se quiera obtener, ya sea plana (Figura 2.9), horizontal, vertical (Figura 2.10) o sobre cabeza (Figura 2.11). Por la mesa (4) se desplaza el soporte (5) que será el encargado de fijar la placa a soldar mediante unos tornillos (13), el desplazamiento será mediante una transmisión de tipo tornillo y tuerca (6) acoplado a un motor (M) eléctrico, el cual esta regulado para que el soporte (5) se desplace sobre la mesa (4), a la velocidad de soldadura. Al dispositivo de alimentación del electrodo, se le puede dar la inclinación deseada con respecto a la placa a soldar. El electrodo (8) está sujeto a una pieza (9) que se desplazar por un tornillo (10) y es guiada por una ranura en una lámina de acero (11) que soporta el tornillo (10) acoplado a un motor (M), garantizando la alimentación del electrodo a una velocidad regulada. Todo este mecanismo se une a una plancha (7) de acero mediante un eje (12) que le permite darle la inclinación deseada al electrodo (8) con respecto a la placa a soldar; la plancha (7) a su vez se fija con dos barras (B) de acero a las caras (1 y 3), conformando así el dispositivo automático de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (Figura 2.9).

En la Figura 2.9 se muestra el dispositivo automático de soldadura apoyado en la cara (1) del trapecio. En esta posición el dispositivo garantiza una soldadura plana.

Para lograr una soldadura en la posición vertical descendente el dispositivo se apoya en la cara (2) como se muestra en la Figura 2.10.

En esta posición (Figura 2.10) el soporte encargado de sujetar la placa a soldar se desplazara hacia arriba permitiendo así que el cordón de soldadura sea descendente como se mencionaba anteriormente.

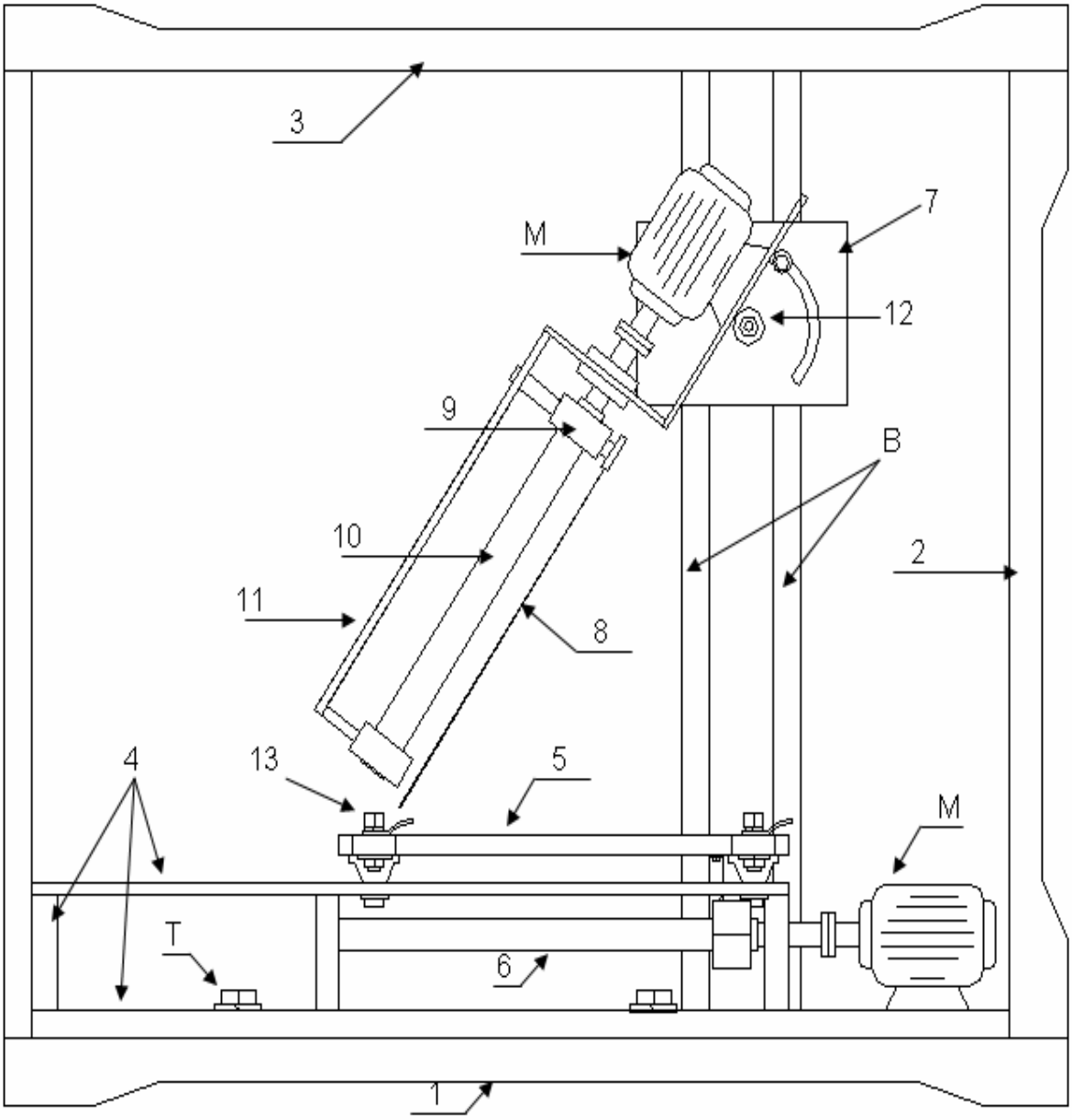

Figura 2.9: Dispositivo automático de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) (Posición plana).

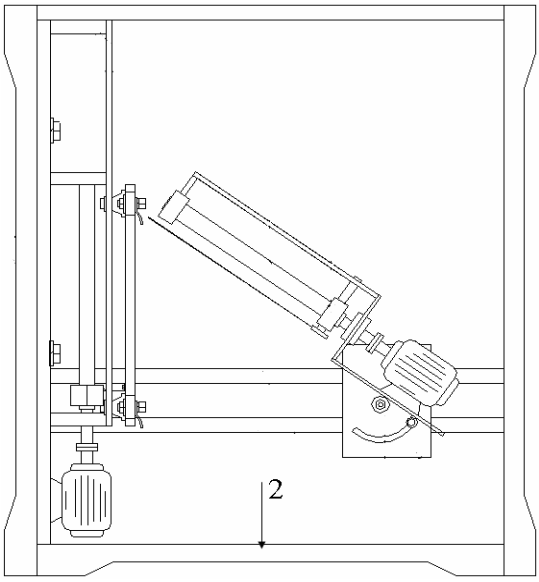

Figura 2.10: Vertical descendente.

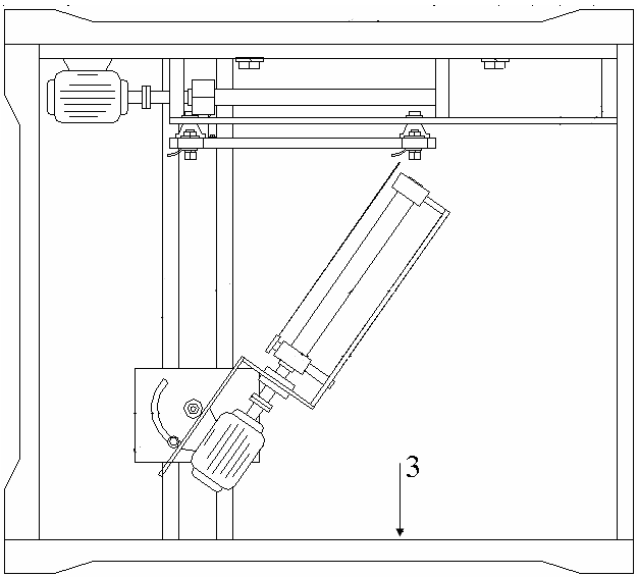

Figura 2.11: Sobre cabeza.

Se apoya en la cara (3) (Figura 2.11) para realizar una soldadura en la posición sobre cabeza, debido a que el soporte que sostiene la placa a soldar, está sujeto a la mesa principal.

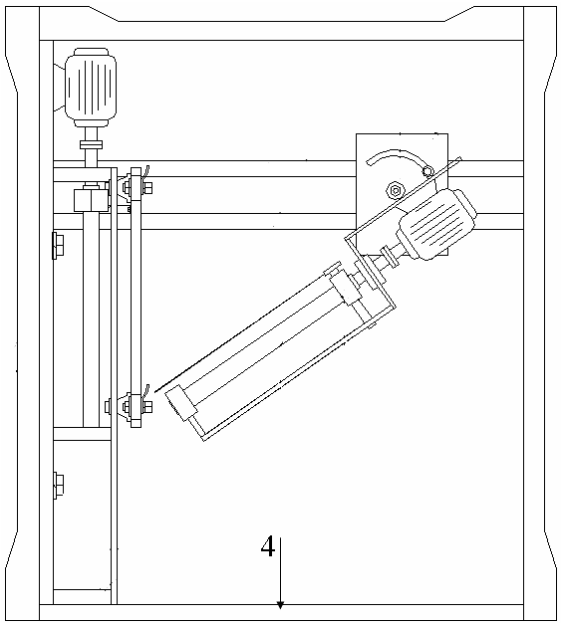

Figura 2.12: Vertical Ascendente

En el caso que se desee realizar una soldadura en la posición vertical pero ascendente se apoya en la cara (4) (Figura 2.12), en esta posición el soporte se desplazará hacia abajo logrando que el cordón de soldadura se desarrolle ascendentemente.

2.4. Conclusiones Parciales

1. Se muestran los principios de diseño del brazo y la mesa por separado, así como acoplados a la estructura general del dispositivo, demostrándose la posibilidad de emplearlo en la soldadura en las posiciones plana, horizontal, vertical (ascendente y descendente) y sobre cabeza.
2. Los cálculos realizados permiten elegir el motor más adecuado para las funciones requeridas durante la operación del dispositivo.

Capítulo III: Implementación del Dispositivo

En el presente capítulo se especifican los pasos necesarios para la implementación del brazo de alimentación y la mesa transportadora, como del dispositivo como un todo, enfatizando en las tecnologías de maquinado y soldadura, así como en las secuencias de montaje y soldadura. Como resultado final se consta con una metodología para el ensamble total del prototipo.

3.1. Tecnología de maquinado de las transmisiones

Para la elaboración en el taller, del tornillo de la TM de la mesa y el brazo, fue necesario realizar dos tecnologías de maquinado. Para la TM de la mesa se parte de una barra en bruto de longitud 200 mm y un Ø18 mm (Figura 3.1)

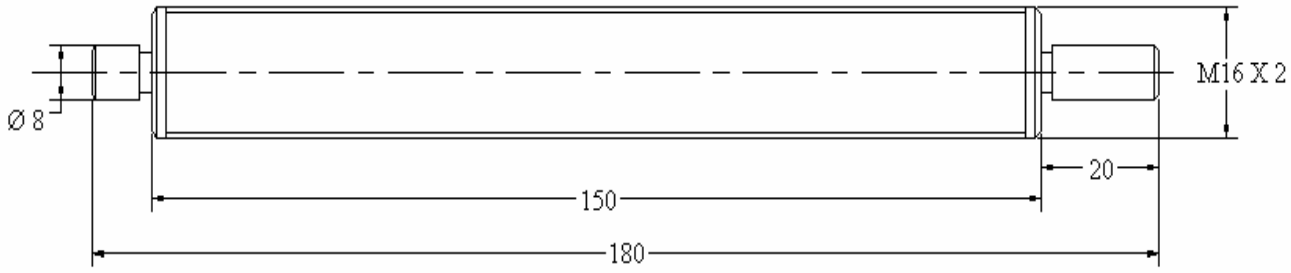

Figura: 3.1 Tornillo de la TM de la mesa

Para desarrollar la tecnología de maquinado del tornillo de la mesa deben seguirse los siguientes pasos:

A – Montar herramienta para cilindrado, biselado, refrentado y centro.

B - Colocar, centrar y fijar en plato de tres muelas dejando fuera 25 mm.

1 - Refrentar a limpiar.

2 – Hacer centro.

3 – Cilindrar Ø 18 mm a Ø10 mm en 20 mm de longitud.

C – Invertir, centrar y fijar dejando fuera 15 mm.

1 – Refrentar dejando 180 mm de longitud.

2 – Hacer centro.

3 – Cilindrar Ø 18 mm a Ø 10 mm en 10 mm de longitud.

D – Colocar entre plato y punto.

1 – Cilindrar en desbaste Ø 18 mm a Ø 16.5 mm en 150 mm de longitud.

2 – Cilindrado de acabado a Ø 16 mm.

3 – Filetear rosca M 16 X 2.

E – Colocar entre puntos con perro de arrastre en Ø 10 mm longitud 10 mm.

1 – Cilindrar en semiacabado Ø 10 mm longitud 20 mm a Ø 8.5 mm.

2 – Cilindrado de acabado Ø 8 mm.

3 – Biselar en el extremo Ø 8 mm 1 X 45^0.

4 – Biselar en el extremo Ø 16 mm 2 X 45^0.

F – Invertir entre centros con perro de arrastre en Ø 8 mm longitud 10 mm protegido.

1 – Cilindrar en semiacabado Ø 10 mm longitud 10 mm a Ø 8.5 mm.

2 – Cilindrar en acabado Ø 8 mm.

3 – Biselar extremo Ø 8 mm 1 X 45^0.

4 – Biselar extremo Ø 16 mm 2 X 45^0.

G –Montar en la rectificadora entre puntos.

1 – Rectificar en los extremos Ø 8 mm.

Para la confección de la TM del brazo se parte de una barra de acero 45X (Figura 3.11), en bruto, de 400 mm de longitud y Ø 18 mm, elaborándose la siguiente tecnología de maquinado.

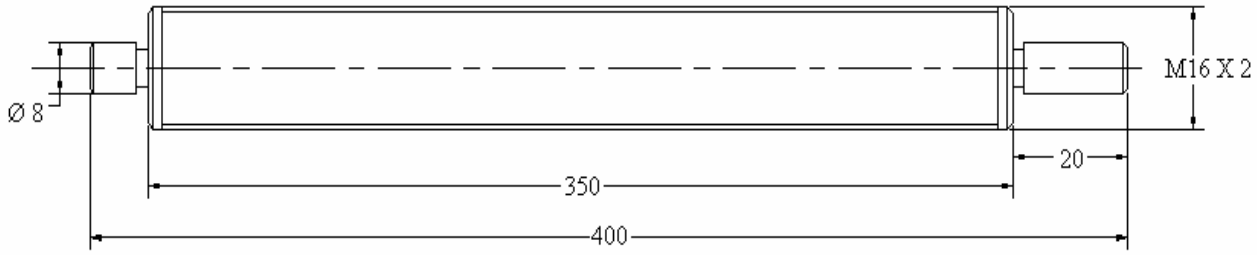

Figura 3.2: Tornillo de la TM del brazo.

Tecnología de maquinado para el tornillo del brazo de alimentación:

A – Montar herramienta para cilindrado, biselado, refrentado y centro.

B - Colocar, centrar y fijar en plato de tres muelas dejando fuera 25 mm.

1 - Refrentar a limpiar.

2 – Hacer centro.

3 – Cilindrar Ø 18 mm a Ø10 mm en 20 mm de longitud.

C – Invertir, centrar y fijar dejando fuera 15 mm.

1 – Refrentar dejando 350 mm de longitud.

2 – Hacer centro.

3 – Cilindrar Ø 18 mm a Ø 10 mm en 10 mm de longitud.

D – Colocar entre plato y punto.

1 – Cilindrar en desbaste Ø 18 mm a Ø 16.5 mm en 350 mm de longitud.

2 – Cilindrado de acabado a Ø 16 mm.

3 – Filetear rosca M 16 X 2.

E – Colocar entre puntos con perro de arrastre en Ø 10 mm longitud 10 mm.

1 – Cilindrar en semiacabado Ø 10 mm longitud 20 mm a Ø 8.5 mm.

2 – Cilindrado de acabado Ø 8 mm.

3 – Biselar en el extremo Ø 8 mm 1 X 45^0.

4 – Biselar en el extremo Ø 16 mm 2 X 45^0.

F – Invertir entre centros con perro de arrastre en Ø 8 mm 10 mm protegido.

1 – Cilindrar en semiacabado Ø 10 mm longitud 10 mm a Ø 8.5 mm.

2 – Cilindrar en acabado Ø 8 mm.

3 – Biselar extremo Ø 8 mm 1 X 45^0.

4 – Biselar extremo Ø 16 mm 2 X 45^0.

G –Montar en la rectificadora entre puntos.

1 – Rectificar en los extremos Ø 8 mm.

3.2. Ensamblaje del brazo de alimentación del electrodo.

Después de haber elaborado las piezas en el taller, se pasa al montaje de estas para la confección del brazo de alimentación:

1 - Se monta el cojinete 1, en el agujero Ø 16 que presenta la estructura del brazo (Figura 3.3).

2 - Se monta el cojinete 2 (Figura 3.3) en el agujero Ø 16 del porta cojinete.

3 - Se acopla el dispositivo que sostiene el electrodo (porta electrodo, Figura 3.3) a la tuerca de la TM.

4 – Se acopla la tuerca del porta-electrodo en el tornillo, completando la TM (Figura 3.3).

5 – Se acopla la TM por Ø 8 longitud 20 mm del tornillo (Figura 3.2) al cojinete 1 acoplado en el agujero Ø 16 (Figura 3.3).

6 – Se introduce el porta cojinete por agujero Ø 8 del cojinete 2, en el extremo del tornillo Ø 8 longitud 10 mm (Figura 3.1).

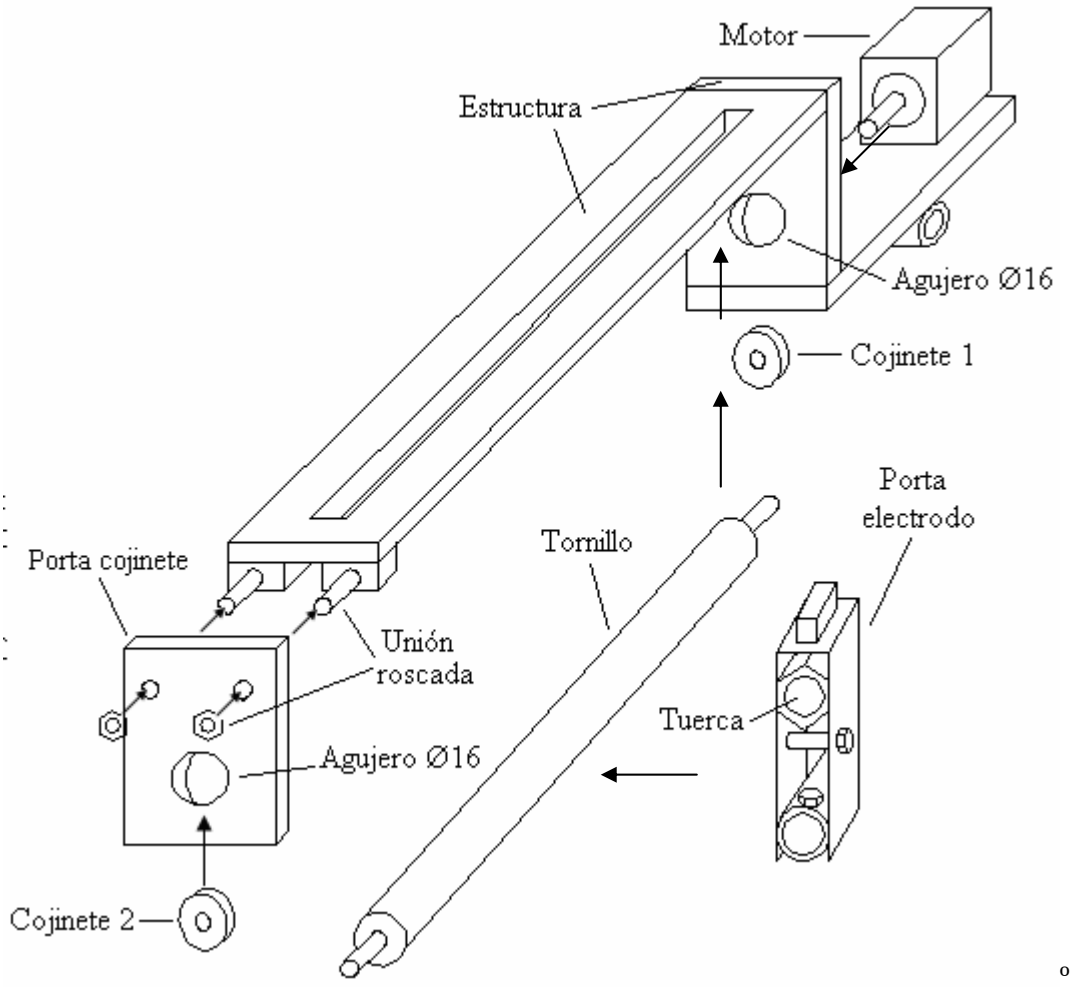

Figura 3.3: Montaje del brazo.

7 – Se fija el porta cojinete a la estructura por una unión roscada (Figura 3.3).

8 – Se acopla el motor con el tornillo de la TM (Figura 3.3).

3.3. Ensamblaje del transportador de la placa a soldar.

Para realizar el ensamblaje del transportador fue necesario seguir los pasos que se presentan a continuación:

1 – Se monta el cojinete 1 en el agujero Ø 16 de la placa base (Figura 3.4).

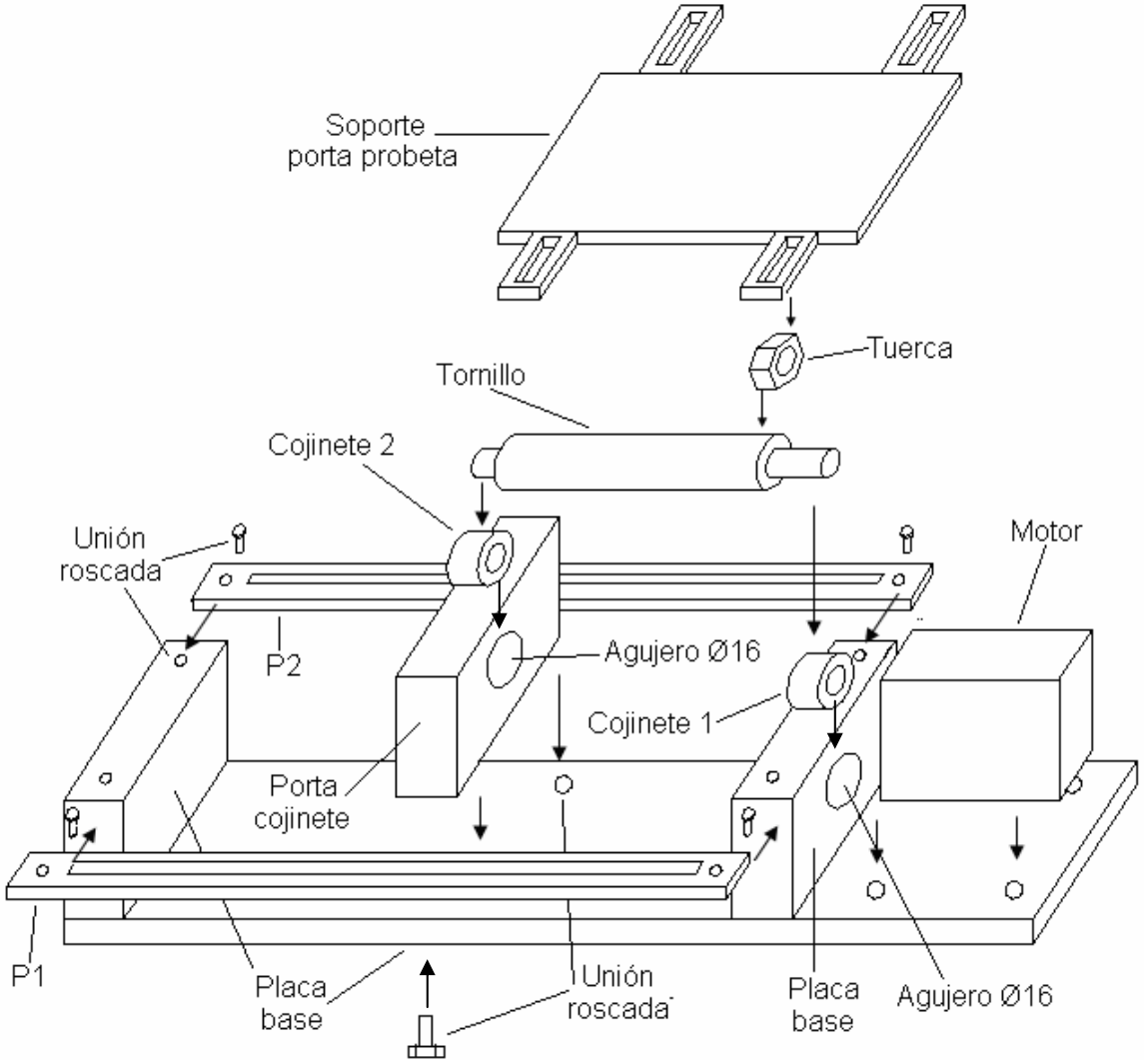

Figura 3.4 Montaje de la mesa.

2 - Se monta el cojinete 2 en el porta cojinete (Figura 3.4).

3 – Se acopla al soporte la tuerca (Figura 3.4).

4 – Se acopla el tornillo en la tuerca fijada al soporte (Figura 3.4).

5 – Se acoplan por una unión roscada las planchas ranuradas (P1, P2) en la placa base (Figura 3.4).

6 – Se monta el soporte acoplado a la TM, por Ø 8 longitud 20 mm del tornillo (Figura 3.1) en el cojinete 1 que fue montado en la placa base (Figura 3.4).

7 – Se acopla el cojinete 2 montado en el porta cojinete en Ø 8 longitud 10 mm del tornillo de la TM véase la Figura 3.4.

8 – Se fija el porta cojinete en la placa base mediante una unión roscada (Figura 3.4).

3.4. Ensamblaje del dispositivo.

Después de haberse diseñado y confeccionado todas las partes que componen el dispositivo de alimentación automática, se pasa al montaje general. Las dos partes principales del dispositivo se acoplan en conjunto en un chasis trapezoidal construido de acero de bajo contenido de carbono con un recubrimiento de zinc, para evitar la corrosión.

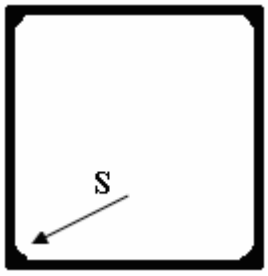

Figura 3.4: Cara 1.

La construcción del chasis, partiendo de angulares del material mencionado anteriormente, se realiza uniendo las piezas por soldadura. Ya que este es geométricamente un trapecio, se suelda primero la cara 1 (Figura 3.4) formando un rectángulo (600 X 400) mm, lo mismo se realiza para la construcción de la cara 3.

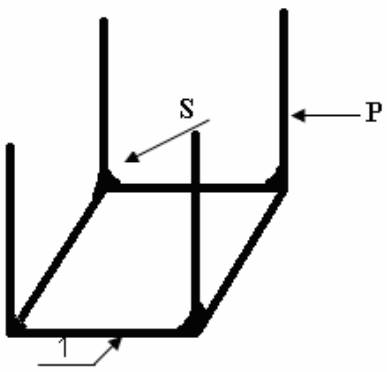

Figura 3.5: Cara 1 con cuatro pilares.

Después sueldan en la cara (1) los cuatro pilares (P) de 600 mm en un ángulo de 90^0 en cada esquina del rectángulo (Figura 3.5).

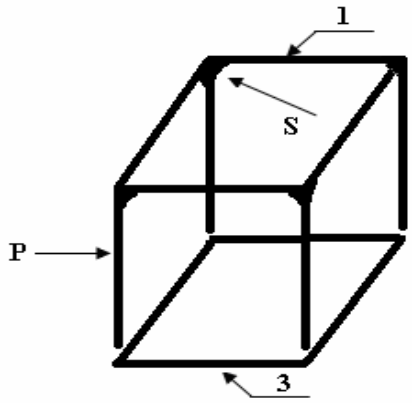

Figura 3.6: Montaje de la cara 3.

Para completar la construcción se coloca la cara (3) en la posición plana, se gira la cara (1) con los cuatro pilares y se monta en cima de la cara (3), efectuándose la soldadura (Figura 3.6).

Después de construido la estructura general se pasa al montaje de las diferentes partes del dispositivo de alimentación automática, siguiendo una sucesión de pasos:

1 - Se sueldan dos planchas (B) (Figura 2.3) de acero de la cara 1 a la cara 3 véase la Figura 2.3.

2 – Se acopla una placa (7) (Figura 2.3) que presenta un eje (12) (Figura 2.3), a las planchas (B) (Figura 2.3).

3 – Se acoplar el brazo (Figura 2.1) en el eje (12) (Figura 2.3) permitiendo así variar el ángulo de incidencia del electrodo con respecto a la placa a soldar.

4 – Se monta el transportador de la placa a soldar (Figura 2.2) en la cara 1 del dispositivo mediante una unión roscada (Figura 2.3).

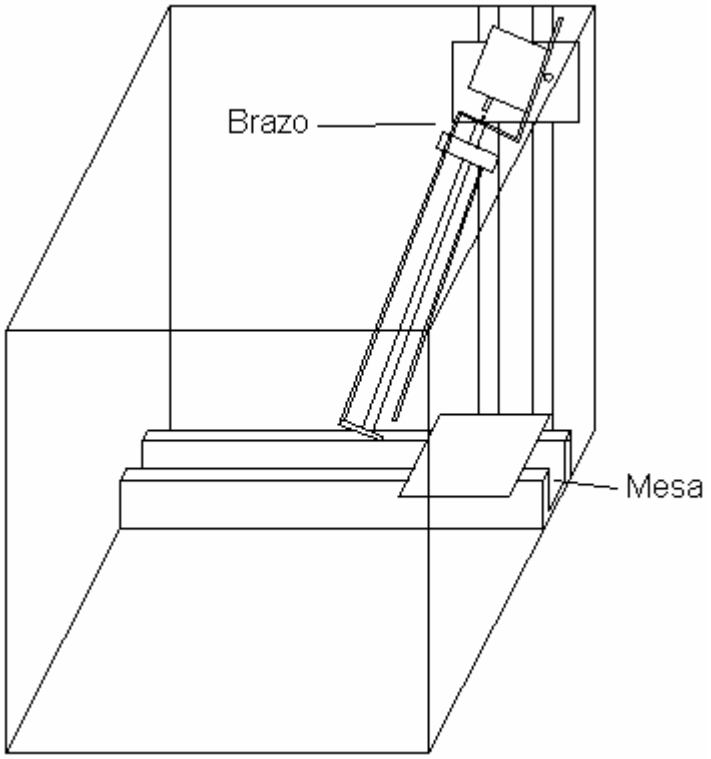

Figura 2.7: Montaje general

Después de ejecutar los pasos planteados anteriormente se concluye el montaje general del dispositivo de alimentación automática.

3.5. Especificaciones de la tecnología de soldadura.

Para la construcción del dispositivo se unirán algunas partes por soldadura, utilizando el proceso SMAW, debido a su versatilidad y la sencillez del equipamiento requerido.

Para angulares de acero de bajo contenido de carbono de espesor 2 mm, se recomienda el empleo de electrodos de diámetros inferiores a 2 mm.

En este caso se pueden emplear electrodos de la clasificación E6013 de 2 mm, que admiten una corriente de 25 A en régimen nominal. Esto garantiza un adecuado aporte térmico que evita daños en los angulares que conforman la estructura [26].

Para mayor facilidad en el proceso de cebado y mantenimiento del arco puede soldarse con corriente directa o DC. La polaridad se mantiene constante, a diferencia

de la corriente alterna, que cambia constantemente. Para el espesor del material escogido se produce una mayor uniformidad en las propiedades del cordón de soldadura aún en los menores valores de intensidad de la corriente.

La polaridad más recomendada para soldar espesores pequeños es polaridad normal, debido a que esta presenta una menor penetración.

La posición de soldadura empleada para realizar las uniones es plana, esta posición es la que menos adiestramiento del operador requiere, para lograr soldaduras de máxima calidad.

En este proceso el voltaje de arco generalmente no se reglamenta, ya que depende de la característica Volt-Ampérica de la máquina de soldadura que es descendente. El voltaje de arco depende de varios factores como: tipo y diámetro de electrodo, corriente de soldadura y longitud de arco.

La soldadura es desarrollada con costura de filete debido los espesores pequeños de las piezas a soldar (Figura 3.8).

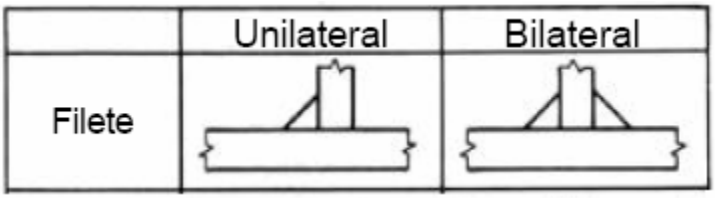

Figura 3.8: Costura de filete [27].

3.6. Secuencia de ensamble y soldadura del conjunto.

La pieza a soldar es un trapecio de dimensiones (600 X 600 X 400) mm. Para realizar las uniones se parte de 12 angulares, 8 de 600 mm y 4 de 400 mm. Primeramente se pasa a la soldadura de las caras 1 y 3, formando dos rectángulos (600 X 400) mm (Figura 3.4). El tipo de unión empleada es de esquina (Figura 3.9)

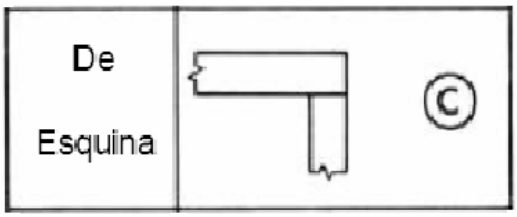

Figura 3.9: Unión de soldadura de esquina (C) [27].

A continuación se sueldan los cuatro angulares de 600 mm restantes en cada esquina de la cara (1) como se aprecia en la Figura 3.5. En este caso se emplea una unión tipo T (Figura 3.10). Posteriormente se gira la cara con los cuatro pilares y se monta en la cara (3) y se suelda empleado una unión en T.

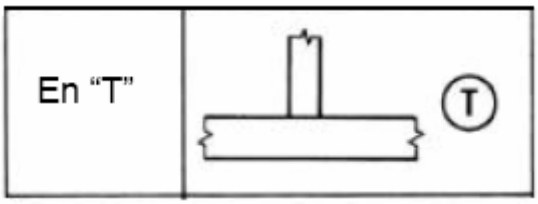

Figura 3.10: Unión de soldadura en T [27].

Las piezas deben puntearse comprobando que las uniones se encuentren en ángulo recto, mediante el empleo de una escuadra apropiada. Una vez comprobada la geometría deseada, habiendo eliminado posibles causas de tensiones en la estructura producto de errores de posicionamiento; se procede a efectuar los cordones de soldadura definitivos.

Una vez construido el trapecio se pasa a soldar dos placas (B) (Figura 2.9), que serán las encargadas de sostener mediante un eje (12) (Figura 2.9) el brazo de alimentación del electrodo.

Una vez soldada la estructura se hace necesario realizar un proceso de inspección visual para detectar posibles defectos de soldadura en la unión, comprobando la calidad de la unión soldada.

3.6.1. Especificaciones de las uniones.

La velocidad de soldadura está influenciada por el tipo de corriente, amperaje, polaridad, posición de soldadura, razón de depósito del electrodo, espesor del material, tipo de unión, ensamble de la unión, tipo de metal base, etc [26].

La velocidad de soldadura por pasada se puede calcular a partir de la Ecuación 3.1:

$$v_S = \frac{RD}{\gamma_{MD} * A_{MD}} \text{ [m/h]} \qquad \text{Ecuación 3.1}$$

donde V_s es la velocidad de soldadura (m/h), RD es la razón de depósito del electrodo (kg/h; γMD es la densidad del metal depositado (kg/m^3) que para aceros al carbono y de baja aleación se puede asumir γMD =7860 kg/m3 y AMD (m^2), es el área de la sección transversal de metal depositado en la pasada.

En este caso el AMD área de la sección transversal, se puede estimar con aproximación por la Ecuación 3.2:

$$A_{\Delta} = \frac{c^2}{2} + 0.1\left(\frac{c^2}{2}\right) \quad [m^2] \qquad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde c es la longitud del cateto, del triángulo de la sección transversal.
Con un valor del cateto, del triángulo de la sección transversal de 3 mm, una razón de depósito de 0.18 kg/h y una densidad del metal depositado de 7860 kg/m3 se obtienen los siguientes valores:

A_{Δ} = 0.00000495 m^2

Vs = 4.6 m/h

3.6.2. Costos de la soldadura.

Para estimar el costo total de la soldadura se debe calcular partiendo de la Ecuación 3.3 [26]

$C_{TS} = C_{MO+ADM} + C_{CS} + C_{EE}$; Ecuación 3.3

donde C_{TS} representa el costo total de soldadura ($),$C_{MO+ADM}$ es el costo de mano de obra y administrativos ($) C_{CS} es el costo de consumibles de soldadura ($) y C_{EE} es el costo de energía eléctrica ($).

Determinación de costos de los Consumibles de Soldadura requeridos:

El costo de los consumibles de soldadura se determina según la Ecuación 3.4.

$C_{CS} = C_E + C_F + C_{GP}$ [USD] Ecuación 3.4

donde C_{CS} representa el costo de consumibles de soldadura ($/m)

Para el caso se anula los últimos términos, ya que no se emplean los procesos de protección gaseosa ni el proceso de arco sumergido, por lo que la ecuación se reduce a:

$C_{CS} = C_E$ (porque solo se utiliza el proceso SMAW)

Determinación de la cantidad de Metal a depositar:

La masa teórica de metal a depositar por metro de costura se determina por la Ecuación 3.5.

M_{MD} (kg/m) = A_{MD} (m^2)*γ_{MD} (kg/m^3) [kg/m] Ecuación 3.5

donde M_{MD} representa la masa de metal de soldadura a depositar, A_{MD} es el área de metal a depositar, γ_{MD} es la densidad del metal de soldadura a depositar.

Para 1costura:

M_{MD1}=0.03 kg/m

Determinación del costo de Electrodos Revestido:

Para el proceso SMAW la eficiencia total del electrodo se determina por la Ecuación 3.6

$$E_T = \frac{(L_E - L_C) * E_D}{L_E}$$ Ecuación 3.6

donde L_E es la longitud del electrodo, L_C es la longitud de la colilla y E_D es la eficiencia de deposito.

Con el valor de L_E = 350 mm, L_C = 60 mm y E_D = 0.65 so obtienen el siguiente resultado:

E_T = 0,53 o E_T = 53%

Precio del electrodo: P_E =1.23 USD/kg para E6013 y de =2 mm.

El costo total de cantidad de metal depositado por el proceso se determina por la Ecuación 3.7.

$$C_{E1} = \frac{M_{MD}\ kg/m * P_E\ USD/kg}{E_T}$$ [USD] Ecuación 3.7

C_{E1} =0.07 USD/m

Como la longitud total de la costura de soldadura es de 0.7 m se obtiene un costo de la cantidad de metal depositado:

C_{E1} =0.05 USD

Determinación del costo de Energía Eléctrica:

El costo directo de energía eléctrica se determina según la Ecuación 3.8.

$$C_{EE} = \frac{P_{kWh} * V_a * I_S * M_{MD}}{1000 * RD * FO * E_{FE}} \text{ [USD]}$$ Ecuación 3.8

donde P_{kWh} representa el precio del kWh de energía eléctrica, V_a es el voltaje de arco, I_S es la corriente de soldadura, E_{FE} es la eficiencia de la fuente de energía con los valores de P_{kWh} = 0,04 USD/kWh (precio del kWh para las empresas en horario diurno), FO = 30% (según recomendación para proceso SMAW).y E_{FE} es de 85%.

C_{EE1} = 0.02 USD/m * 0.7m (para 0.7 metro de long.)

C_{EE1} =0.012 USD

El costo total de la soldadura se puede calcular mediante la Ecuación 3.9

$C_T = C_{EE} + C_E$ [USD] Ecuación 3.9

C_T = 0.062 USD

3.7. Conclusiones Parciales.

1. Se especifican las tecnologías de maquinado y soldadura necesarias para la implementación del prototipo, particularizando tanto en la secuencia de montaje, como en la de soldadura de la estructura y sus partes componentes.
2. A partir de las especificaciones referidas en la conclusión 1, se brinda una guía metodológica del procedimiento de montaje del prototipo implementado.

Conclusiones

1. El estudio documental realizado permitió realizar una revisión sobre diversos tipos de dispositivos de alimentación reportados en la literatura, determinando las características utilizadas como bases para el nuevo diseño.
2. El dispositivo se compone de una unidad que combina motores eléctricos debidamente acoplados a transmisiones de tipo tornillo y tuerca para el brazo de alimentación del electrodo y la mesa transportadora de la placa a soldar, ensamblados a una estructura trapezoidal de base variable; que permite variar el ángulo de incidencia del electrodo sobre la placa a soldar y la soldadura en todas las posibles posiciones.
3. Se ha concretado el diseño y la implementación de un prototipo de dispositivo para la alimentación de electrodos revestidos, que permite variar la velocidad de soldadura, el ángulo de incidencia de los electrodos sobre la placa a soldar, así como soldar en todas las posibles posiciones de soldadura con electrodos revestidos.

Recomendaciones

1. Desarrollo de los circuitos electrónicos para el control de velocidad de los motores de alimentación del electrodo y la mesa, a partir del censado de las señales de voltaje y/o corriente de soldadura.
2. Estudio de alternativas para el desarrollo de reductores de acople con motores eléctricos, sustituyendo la necesidad de importar los motores desde el extranjero.
3. Realizar experimentos con electrodos comerciales y comparar los resultados con los resultados obtenidos de la prueba de los mismos electrodos con un sistema de alimentación por gravedad.

Referencias Bibliográficas

1. J.P.Farias;A.Scotti;E.Surian;et.al, The effect of wollastonite on operational characteristics of AWS E6013 electrodes. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2004. 26(3): p. 17.
2. Ii`yashchenko.D. P;Sapozhkov. S. B, Splashing in manual arc coated electrode welding and methods of reducing splashing Welding International. Inglaterra, 2008 22(12): p. 874 - 877
3. Meister.R.A;Meister.A.R, Special features of arcing in coated electrode welding with low current
   Welding International,, 2010. 24(1): p. 60 - 62.
4. Ramírez, J, Soldadura por Arco Manual con Electrodos Revestidos. 2003, Universidad Central de Venezuela.Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería. p. 15.
5. Schellhase, M, Der Schweißlichtbogen-ein technologisches Werkzeug. 1985, Berlin: Editora Técnica de Berlín. p 236.
6. N.M.Rissone;E.S.Surian;et.al, Efecto de la Composición de la Escoria Sobre la Microestructura y Propiedades del Metal depositado por Electrodos de tipo ANSI/AWS 5.1/91. E6013. Revista Soldadura. Madrid, 2005: p. 14.
7. V.S.N.Osenir;M.M.Theofilo, Efeito do gas de Protecao Sobre o Teor de fumos em Processos de Soldagem Ao Arco Eléctrico. in 2nd COBEF.Congresso Brasileiro de Engenhanria de fabricacao. 2003. Uberlandia. Brazil.
8. BROTHERS, H, Certificate of Conformance to Requeriments for Welding Electrode. 2005.
9. Safety, C.C.f.O.H.a, WELDER Health and Safety Guide. 2003.
10. J.F.Lancaster, The physics of welding. Second Edition. 1986. 340.
11. Klas.Weman;et.al, Welding Processes handbook. 2003, Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. 189.
12. ANSI/AWS, Specification for carbon steel electrodes for shielded metal arc welding, Standard 5.1-91, Miami, Fl, 1991, American National Standards Institute/American Welding Society.
13. Normalización, I.n.d.l.y, Anteproyecto de la Norma Cubana sobre las Características de consumo de los electrodos Revestidos. 1985.
14. ABS, Boletín American Bureau of Shipping (ABS). 2005.
15. N. M. R. DE RISSONE, J.P.F, I. DE SOUZA BOTT, E. S. SURIAN, ANSI/AWS A5.1-91 E6013 Rutile electrodes: The Effect of Calcite. Welding Journal Supplement, 2002: p. 113-S - 124-S.
16. Wen-Hou.Chu; Automatización SMAW mediante control Fuzzy para controlador PID con ganancia programada. 2004. p. 108.
17. Wen-Hou.Chu, Automatización SMAW mediante control Fuzzy para controlador PID con ganancia programada. 2004. p. 108.
18. Roca, A.S, Nuevo criterio para el análisis de estabilidad del proceso de soldadura GMAW, empleando técnicas de Emisión Acústica e Inteligencia Artificial, in Facultad Ingeniería Mecánica.Departamento de Tecnología de

Construcción de Maquinaria. 2006, Universidad de Oriente: Santiago de Cuba. p. 105.
19. Souza, M.S.e, Validación de un sistema computarizado para el control de la calidad de electrodos revestidos, in Centro de Ciencias Exactas y Tecnología. 1995, Universidad Federal de Uberlandia: Uberlandia.
20. Farias, J.P, Metallic Mg as a coating component in C-Mn-Ni electrode. 1993, Universidad Federal de Santa Catarina, Brazil. p. 225.
21. García Rodríguez, A.G.P.C.R, Criterios sobre algunas Metodologías de Caracterización Operativa de Electrodos Revestidos en la Soldadura en Modo de Transferencia Metálica por Cortocircuitos. Soldadura & Inspeçao, 2008. 13(2): p. 141.
22. B.E.Paton.et.al, Direccionamiento del proceso de soldadura por arco a través de la programación de la alimentación del alambre electrodo. Soldadura Automática, 1977. #1: p. 1-5.
23. Yan-Wen.H;Pi-Cheng.T;Cheng-Yu.Wu, Tuning PID control of and automatic arc welding system using a SMAW process. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007. 6: p. 56-61.
24. V. DOBROVOLSKI, K.Z, ed. Elementos de maquinas 1900.
25. desconosido. Motor DC 12V 153 rpm [cited 2010; Available from: \\http.www.SuperRobotica.com.
26. M.Sc. Juan A. Pozo Morejón, M.S.E.D.C, Ing. Arnaldo Herrera Artiles Y Dr. Manuel Rodríguez Pérez,
Metodología para el establecimi de una tecnología de soldadura: CUBA.
27. UCLV, G.d.t.d.s.y.r.d.p.C - Aspectos básicos generales de la soldadura.