

INDICE

CAPITULO 1 INTRODUCCION	1
Sección 1.1 objetivos y alcance	4
Sección 1.2 hipótesis	5
CAPITULO 2 MARCO DE REFERENCIA.....	6
Sección 2.1 Soldadura de resistencia.....	6
Subsección 2.1.a Balance de Calor	13
Subsección 2.1.b Efectos de los procesos en los materiales.....	15
Subsección 2.1.c Métodos de aplicación de soldadura	16
Sección 2.2 Maquinas de soldadura de resistencia	17
Subsección 2.2.a Sistema Mecánico	17
Subsección 2.2.b Sistema Eléctrico	18
Subsección 2.2.c Sistema de Control	18
Sección 2.3 proceso de fabricación del tanque de agua.....	20
Subsección 2.3.a Proceso de soldadura de coples utilizando soldadura de resistencia	24
Subsección 2.3.b Prueba de Desprendimiento	25
Subsección 2.3.c Prueba de Pulsaciones	31
Capitulo 3 metodología utilizada	32
Sección 3.1 1er paso diseño de experimentos.....	34
Sección 3.2 2do paso estudio de gage r&R.....	39
Sección 3.3 3er paso estudios de cpk a variables de maquina	42
Subsección 3.3.a Estudio de Cpk a presión de soldadura	42
Subsección 3.3.b Estudio de Cpk a corriente en el secundario	44
Sección 3.5 4to paso segundo experimento doe	46
Sección 3.6 5to paso corridas de confirmacion.....	50
capitulo 4 analisis de resultados.....	52
Sección 4.1 conclusiones	54
Sección 4.2 referencias bibliograficas y herramientas utilizadas	57

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

No hay límite para la cantidad que se puede producir, ni aún en el trabajo más humilde. Las organizaciones industriales suministran productos que intentan satisfacer las necesidades y/o los requisitos de los clientes. La competencia global creciente ha conducido a que sean cada vez más estrictas las expectativas de los clientes con respecto a la calidad. Para ser competitivos y mantener un buen desempeño económico, las organizaciones y los proveedores necesitan emplear sistemas cada vez más efectivos y eficientes. Es conveniente que esos sistemas den como resultado el mejoramiento

continuo de la calidad, una satisfacción creciente de los clientes de la organización y de otros interesados (los empleados, propietarios, proveedores, la sociedad), y sobre todo que estos sistemas queden sentados como un procedimiento el cual debe estar sujeto a mejora continua.

Frecuentemente, los requisitos de los consumidores se incorporan en las "especificaciones". Sin embargo, las especificaciones pueden no garantizar por si mismas que los requisitos de un cliente se satisfarán consistentemente, si existen deficiencias en el sistema de organización para suministrar y apoyar el producto. En consecuencia, estas inquietudes han llevado al desarrollo de las normas y directrices de los sistemas de calidad que complementan los requisitos pertinentes del producto dados en las especificaciones técnicas.

El proyecto de tesis que a continuación se presenta hace referencia al proceso de soldadura de resistencia de proyección, utilizado para unir coples a los tanques para calentador de agua. Este es un proceso de manufactura muy importante y utilizado actualmente en la industria debido a que es un método de unión muy rápido y no requiere un tercer elemento. Tiene un alto grado de complejidad ya que se requiere que numerosos factores y la combinación de algunas variables deban estar en control para lograr repetibilidad y que éste, se convierta en un método confiable conforme se desarrolla el proceso de producción. Este tipo de soldadura se utiliza en la fabricación de recipientes, tanques para gasolina, tanques para agua, partes para aviones, en la manufactura de automóviles, etc. Este es un proceso que se puede aplicar de manera automatizada o manual.

El proceso de soldadura de resistencia de proyección es un proceso Termo-Eléctrico para unir partes metálicas, el cual se realiza por el calentamiento que experimentan los metales debido a su resistencia al flujo de una corriente eléctrica. Los electrodos se aplican a los extremos de las piezas, se colocan juntas a presión y se hace pasar por ellas una corriente eléctrica intensa durante un tiempo determinado.

La zona de unión de las dos piezas, como es la que mayor resistencia eléctrica ofrece, se calienta y funde los metales, creando una unión fuerte sin necesidad de utilizar algún material adicional o fundente.

El estudio que a continuación se presenta pretende mostrar la estrategia, las técnicas y herramientas utilizadas para determinar si el método de prueba de tipo destructivo actual utilizado en el control de proceso de la soldadura de coples a tanques de agua es confiable. Para lograrlo se utilizarán herramientas en las que las variables se someten a pruebas y experimentos para interactuar entre sí y encontrar aquellas que tengan más influencia en el proceso de soldadura.

Aparte de la prueba de desprendimiento, los tanques son sometidos a una prueba de Fatiga que simula en corto tiempo el efecto que el calentador sufrirá a lo largo de la vida útil en las condiciones normales como son el uso cotidiano, calidad del agua, defectos en tuberías, cambios en presiones y los defectos que pudiesen tener el resto de los elementos que conforman el producto. Además que los tanques se someten 100% a una prueba de fugas.

Todos estos controles son necesarios para lograr el control y aseguramiento del proceso ya que una mala soldadura provocaría una fuga que pudiera llegar hasta el cliente convirtiéndose en un reclamo o una garantía perdiendo así prestigio de la compañía.

Por motivos de privacidad y competencia el nombre de la empresa donde se lleva a cabo el trabajo, el nombre de la compañía productora de la maquina, estadísticas y algunos valores clave serán omitidos, siendo estos, no importantes para el fin.

Sección 1.1 OBJETIVOS Y ALCANCES

Para la empresa, el proceso de soldadura es uno de los procesos clave, demasiado importante, ya que de él, depende la integridad y la durabilidad del producto.

Partiendo de estos hechos es tarea de este proyecto de tesis el alcanzar los siguientes objetivos:

1. Investigar, documentar y conocer todos los aspectos técnicos que refieren al proceso de soldadura de resistencia de proyección, por medio de seminarios, bibliografía, manuales,

- catálogos, normas vigentes, paginas de Internet, experiencia de personas con conocimientos y experiencia en este tipo de proceso, etcétera.
2. Utilizar herramientas estadísticas para el análisis de las variables y los factores que intervienen en el proceso de soldadura.
 3. Realizar experimentos directamente en cupones de lámina cortados directamente del mismo lote del acero que se utiliza en los tanques que se utilizan en producción.
 4. Analizar los resultados con el fin de lograr una conclusión y comprobar la hipótesis para así proponer un mejor método de prueba que pueda garantizar un nivel aceptable de confianza y que sea capaz de cumplir con todos los requerimientos de calidad.

Sección 1.2 HIPOTESIS

Con este trabajo de tesis se pretende demostrar la hipótesis de que el método actual de prueba de tipo destructivo para control de proceso de soldadura de coples, utilizado en la manufactura de tanques de calentadores de agua no es 100% repetible, no se puede predecir y existe una posibilidad de que un defecto llegue al final de la línea de producción o que llegue al cliente final convirtiéndose en un rechazo y reclamo de garantía.

Capítulo 2

MARCO DE REFERENCIA

La manufactura de calentadores de agua a nivel industrial data desde 1930. Su tecnología ha venido cambiando desde entonces, pero en sí, el componente principal, el tanque para agua, no ha evolucionado tan significativamente.

Existen diferentes métodos para unir los acoplamientos a los tanques de agua, por ejemplo: Soldadura tipo MIG (GMAW), Soldadura de Arco Sumergido (SAW), TIG (GTAW), Láser, Soldadura de Resistencia de Proyección y algunos otros, dependiendo del material a soldar, el volumen de producción y las características estéticas y funcionales del producto a fabricar, la presión al que va a ser sometido el tanque de agua en campo y la capacidad volumétrica del tanque.

El producto propio de la investigación es soldado a través de Soldadura de Resistencia de Proyección.

A continuación se presenta una breve reseña del tipo de proceso.

Sección 2.1 SOLDADURA DE RESISTENCIA

Actualmente podemos encontrar en la industria diferentes tipos de procesos de soldadura de resistencia, pero el principio básico es el mismo. La figura No. 1 muestra un arreglo típico de soldadura de resistencia. A continuación se enlistan los más importantes.

- Soldadura de Punto: Es el tipo de soldadura de resistencia más común en la industria. Se realiza juntando las piezas a soldar entre 2 electrodos que tienen forma de barra cónica y están conectados a un transformador de alta corriente y bajo voltaje. La corriente se activa y pasa a través de los metales al juntar los electrodos con cierta presión, la cual hace que las piezas se junten lo más posible tratando de evitar que haya espacio o separación entre ellas. Una vez que los metales se han fundido la corriente se apaga y los electrodos mantienen las piezas en su lugar mientras que el punto de soldadura se enfría.
- Soldadura de Proyección: Se realiza de la misma manera que la Soldadura de Punto con la excepción de que la corriente se localiza en una pequeña proyección que se encuentra previamente estampada, marcada o maquinada en una de las piezas que van a ser soldadas. La proyección puede ser uno o más pequeños "dientitos" o en el caso de los acoplamientos, tuercas o tornillos, estos pueden tener una protuberancia de tipo piramidal en todo el diámetro de la pieza.

Las piezas se colocan entre los electrodos que son de gran tamaño o área, los cuales son planos o de forma adaptable para el trabajo a realizar. La corriente se divide equitativamente hacia todas las proyecciones haciendo soldaduras de gran resistencia y fuerza. El calor y la presión continúan hasta que la proyección se deforma lo suficiente hasta que las piezas se unan una a la otra de manera plana.

- Soldadura de Costura: Es una línea dispuesta de tal manera que las piezas a soldar se traslapan y se hacen pasar a través de electrodos de forma circular y

que son rotatorios, los cuales presionan las piezas una contra la otra aplicándoles corriente a lo largo de la costura de soldadura.

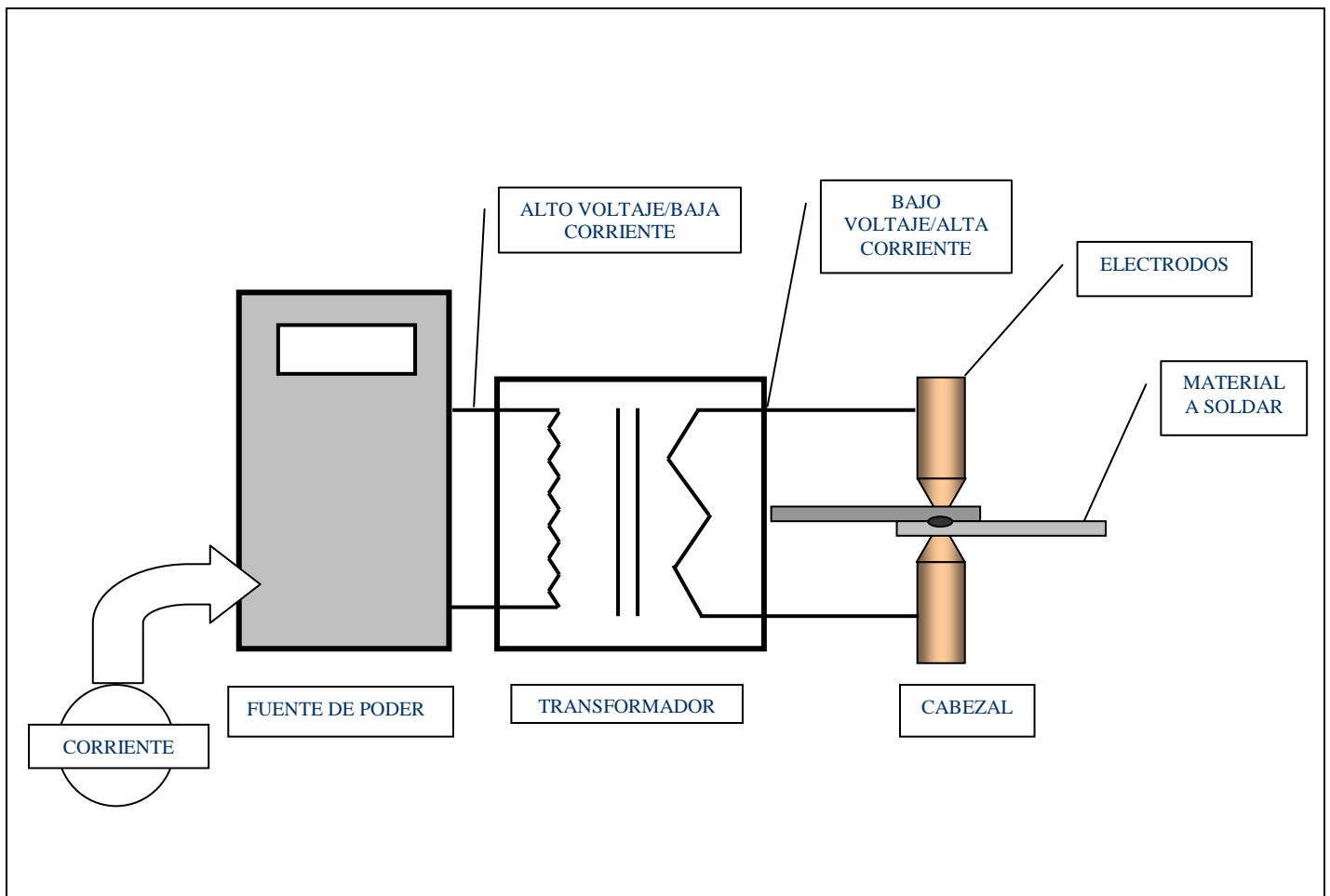


Fig. No.1

La corriente entra de manera normal a una fuente de poder la cual provee corriente primaria en alto voltaje y baja corriente, la cual es guiada a un transformador que convierte la corriente en bajo voltaje y alta corriente. A esta zona se le conoce como “primario”. La corriente es recibida en el Secundario, la cual es la zona donde es aplicada esta energía para realizar el trabajo.

En todas las formas de Soldadura de Resistencia, las partes son calentadas hasta fundir el material (o llevarlos a su estado “plástico”), después las partes se enfrían creando el punto de soldadura (Nugget).

En las figuras num. 2 a num. 10 que a continuación se presentan se muestra la forma en que un punto de soldadura se genera. Desde que es atrapado por los electrodos hasta que el “Nugget” es logrado.

Fig. No. 2.1

Las dos láminas de un espesor X son atrapadas por el par de electrodos sin aplicarles corriente eléctrica.

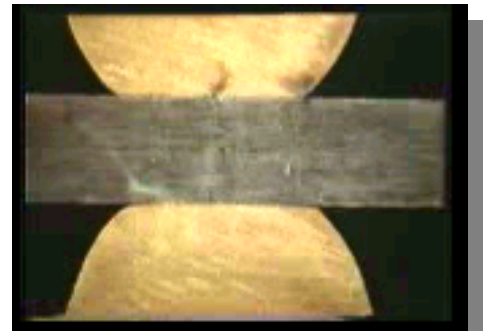


Fig. No. 2.2

La corriente eléctrica comienza a llegar al electrodo superior y pasa a través de las láminas, comenzándose a calentar los puntos de contacto y a empezar a quemar el recubrimiento que tiene la lámina.

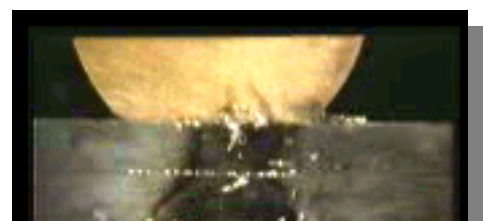
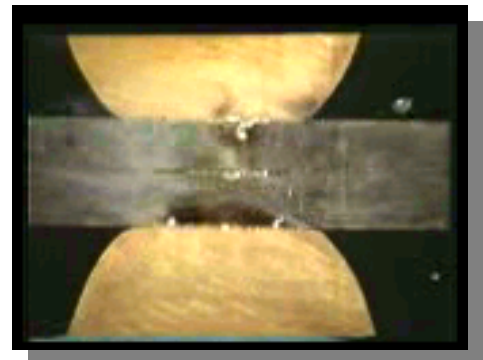


Fig. No. 2.3

El calor ha empezado a hacerse presente en el cuerpo de las láminas con una tendencia hacia el centro.

Fig. No. 2.4

El calor se ha acumulado en el centro, exactamente en el traslape de las láminas, en la unión.

Fig. No. 2.5

La tendencia del calor ahora es hacia fuera. El "Nugget" se ha comenzado a generar.

Fig. No. 2.6

La fundición del acero ha comenzado, el metal llega al rojo vivo o estado "plástico".

Fig. No. 2.7

Los dos metales se han unido. En este momento la corriente deja de pasar. Los electrodos quedan en posición sin retraerse continuando con la presión inicial.

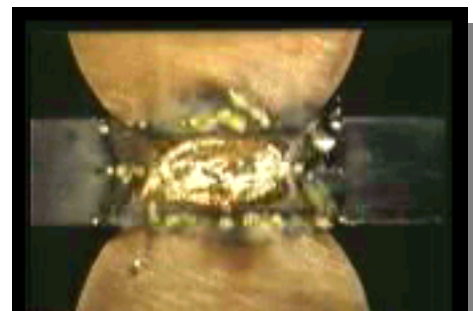
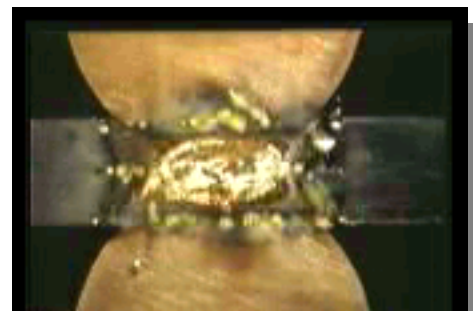
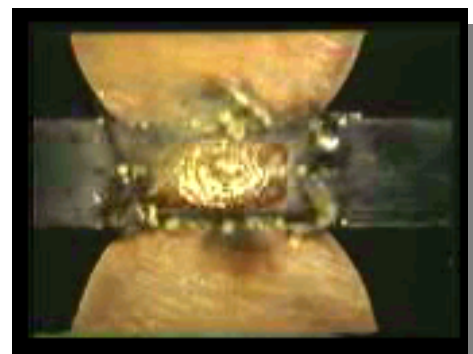
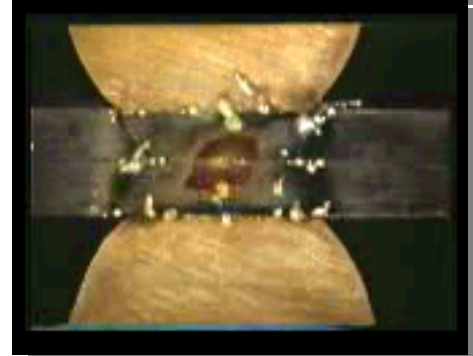
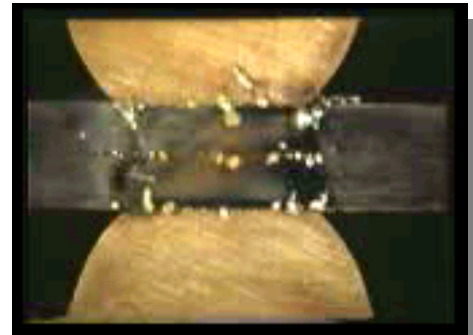


Fig. No. 2.8

El enfriamiento comienza, la fusión se ha dado, es necesario que esa unión se solidifique para que el punto sea fuerte y no se quiebre.

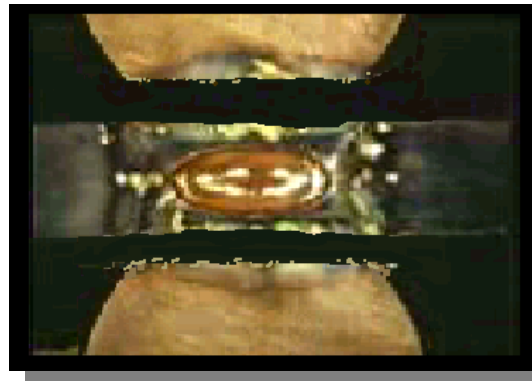
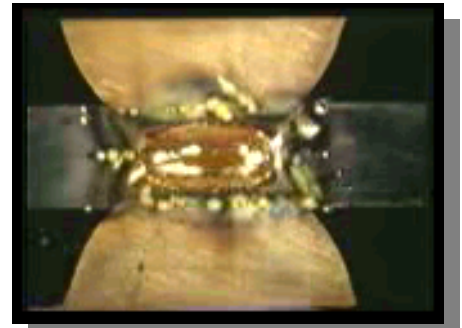


Fig. No. 2.9

El “Nugget” ha sido creado y solidificado. Los electrodos se retraen y las láminas se enfrían de manera natural. La pieza queda liberada y se puede mover de lugar.

El calor generado depende de la resistencia y la conductividad térmica del metal y del tiempo que la corriente es aplicada. El calor generado esta expresado por la ecuación.

$$E=I^2 \cdot R \cdot t$$

Donde:

E es la energía calorífica

I es la corriente

R es la resistencia eléctrica

t es el tiempo en que la corriente es aplicada

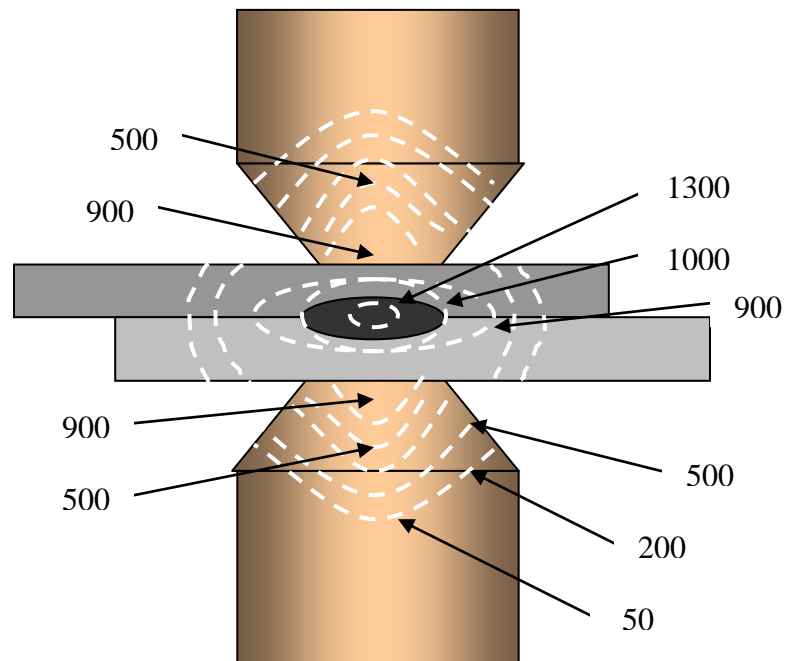


Fig. No. 3 Temperaturas aproximadas en el instante de estarse llevando a cabo el punto de soldadura. Cifras en grados centígrados.

Como su nombre lo dice Soldadura de Resistencia hace uso de la resistencia eléctrica de los materiales para generar calor en el punto de fusión. En un circuito existen también otras resistencias que al hacer contacto se producirá algo de calor. El secreto esta en balancear el calor al punto donde se requiere.

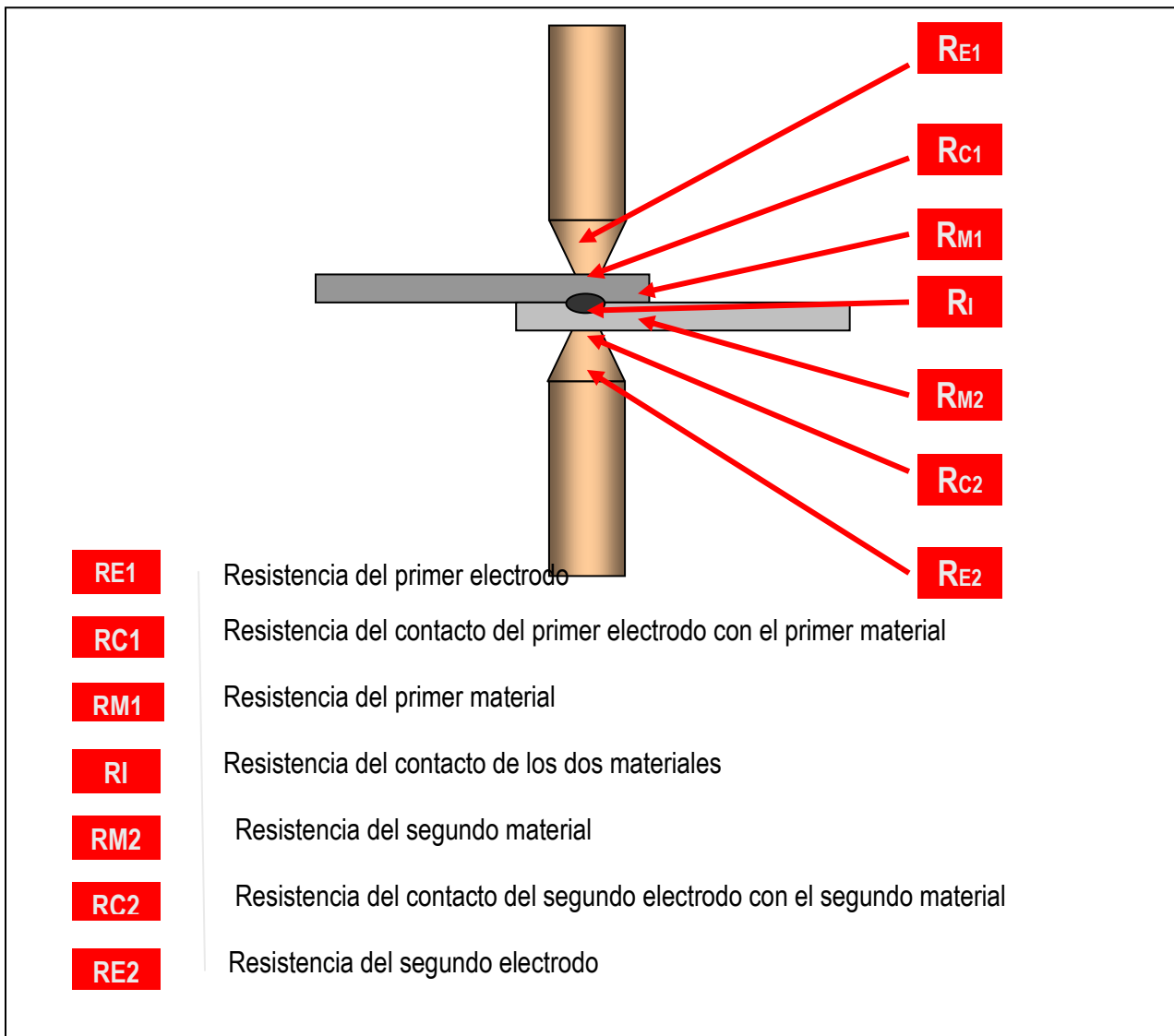


Fig. No. 4. Diferentes resistencias encontradas en un arreglo de electrodos para soldadura de resistencia.

Subsección 2.1.a BALANCE DE CALOR

Durante el proceso de soldadura de resistencia, parte del calor generado se pierde en los alrededores por Conducción, Convección y Radiación. El balance de calor esta en función de:

1. La conductividad térmica y eléctrica de los materiales a ser soldados.
2. La geometría relativa de las partes a ser soldadas.
3. La conductividad térmica y eléctrica de los electrodos.
4. La geometría de los electrodos.
5. Polaridad
6. Programación de los parámetros para soldadura.

La meta de la soldadura de resistencia es lograr que el calor generado se dirija lo mas cercano posible al punto donde deseamos colocar la soldadura.

En soldadura de resistencia podemos observar 3 tipos de uniones:

Unión de Estado Sólido: También llamada de Termo-compresión. Se da en materiales que no tienen igual estructura molecular, por ejemplo molibdeno y tungsteno, son unidos utilizando un periodo muy corto de calentamiento, alta energía y gran cantidad de fuerza. Hay un mínimo crecimiento del grano, alto valor al esfuerzo cortante y tensil y bajo valor al desprendimiento.



Fig. No 5.1 Unión de estado

Unión de Fusión: Se da entre materiales con estructuras moleculares iguales o desiguales. Es llevar la unión hasta el estado líquido de los materiales. El enfriamiento posterior y la combinación de los materiales forman una pepita entre ambos creándose una unión entre ellos. Normalmente requiere de gran energía de soldado y largos o cortos tiempos de soldado, dependiendo de las características de los materiales. Se pueden observar excelentes resistencias a la tensión, desprendimiento y al corte.



Unión de Aporte por resistencia o Fig. No 5.2. Fusión de 2 bajo punto de fusión para unir materiales disímiles o combinaciones de materiales grueso/delgado. El material de fusión “empapa” ambas partes. Existe mínimo crecimiento de granos, largo tiempo de calentamiento con bajos valores de energía, excelente resistencia a la tensión, y baja resistencia al desprendimiento y al corte.



Fig. No 5.3. Unión de aporte por resistencia de los materiales

Subsección 2.1.b EFECTOS DE LOS PROCESOS EN LOS MATERIALES

En los procesos de Soldadura de Punto, Proyección y Soldadura de Costura, el volumen de la soldadura se da por metal que no fue calentado. Existe una tendencia de las partes a sufrir deformación en su cubierta exterior alrededor del área donde se presionan los electrodos. Hasta el metal frío puede ser deformado, aun antes de aplicar la soldadura o al aplicarse las corrientes de precalentamiento. Esto sucede por la presión de los electrodos. La tendencia a la deformación es mayor con metal caliente.

La tensión dentro del material puede resultar del enfriado de la soldadura. Estas tensiones son causadas por los diferenciales de calentamiento y enfriamiento de las estructuras, contribuyendo al debilitamiento o deformación de la estructura. Pueden ser compensados

arreglando el trabajo de soldadura para que sea aplicado de manera simétrica en el centro de las partes.

Subsección 2.1.c METODOS DE APLICACIÓN DE SOLDADURA DE RESISTENCIA

La soldadura de resistencia se puede aplicar de distintas maneras dependiendo de la geometría de las piezas a soldar y dependiendo del número de puntos que se necesiten aplicar en un solo disparo.

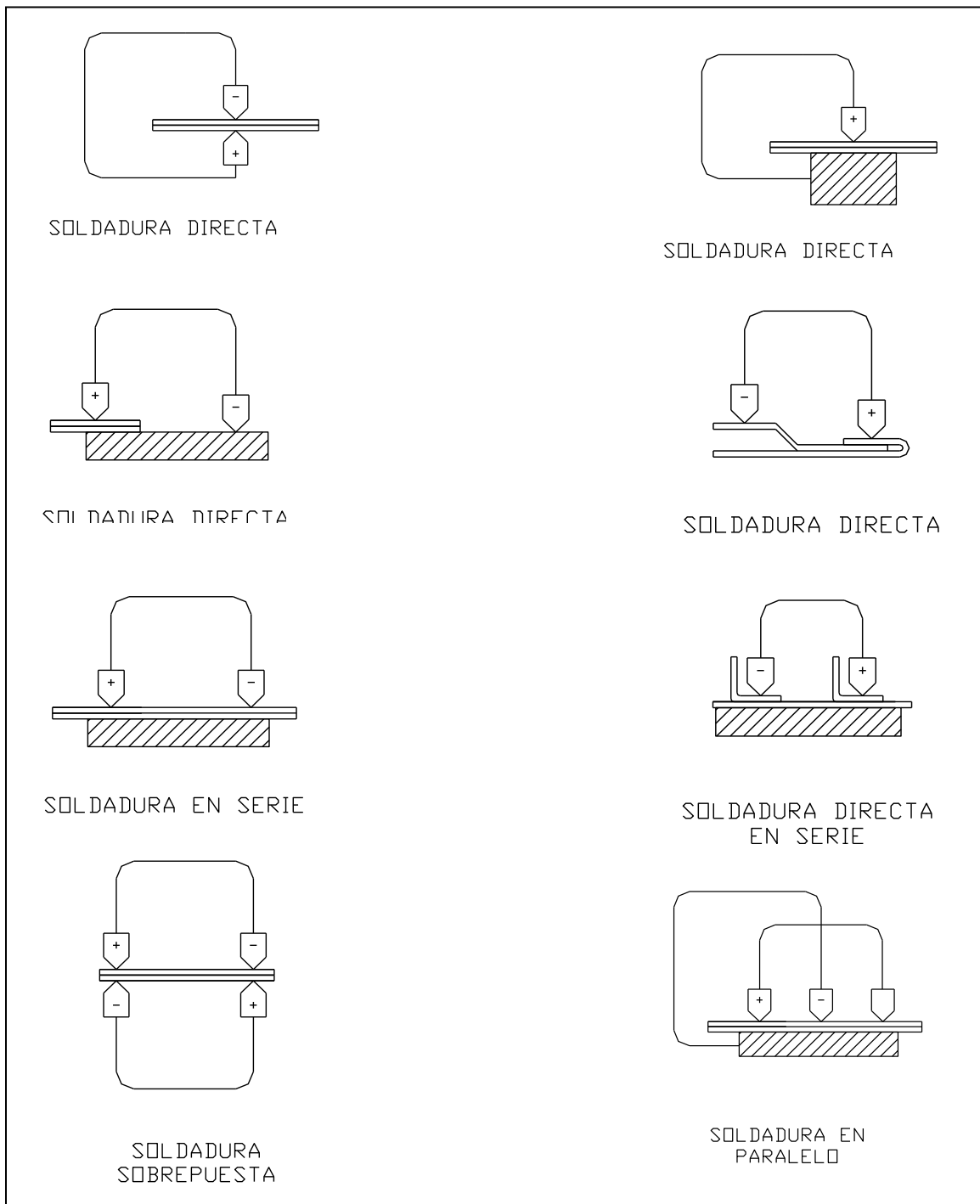


Fig. No. 6 Tipos de aplicación de soldadura de resistencia.

Sección 2.2 MAQUINAS DE SOLDADURA DE RESISTENCIA

En el mercado existen innumerables tipos, capacidades y marcas de soldadoras de Resistencia de Punto, pero todas siguen el mismo principio.

Una soldadora se compone de 4 sistemas básicos para lograr su función: Sistema Mecánico, Sistema Eléctrico, Sistema de Control y Factor humano.



Fig. No. 7 Maquina de soldadura de resistencia de punto de tipo prensa.

Subsección 2.2.a SISTEMA MECANICO

Consiste en un marco metálico de acero de gran rigidez al cual se le colocan todos los demás componentes, como son:

- Sistema eléctrico
- Sistema de control
- Filtro, regulador y lubricador de aire.

- Válvulas
- Cilindro neumático.
- Sistema de enfriamiento

Subsección 2.2.a SISTEMA ELECTRICO

Consiste en todo aquello que interviene en la captura, transformación y conducción de la corriente eléctrica para lograr la soldadura.

- Transformador
- SCR
- Cables
- Electrodo
- Holders o Porta-electrodos

Subsección 2.2.c SISTEMA DE CONTROL

El control es la unidad donde se ingresan los parámetros deseados para llevar a cabo la soldadura.

En este control son ingresados los programas conteniendo los valores de tiempo, los cuales están dados en ciclos (1/60 seg.) Hertz y corriente la cual esta dada en KA (KiloAmpere).

Los tiempos que intervienen en el proceso son:

Squeeze Time: Es el tiempo que tardan los electrodos en juntarse entrando en contacto con la pieza de trabajo, desde que se activa el pedal hasta que se activa la corriente, la cual debe de iniciarse solamente hasta que los electrodos se hayan juntado y se encuentren presionando la pieza.

Weld Time (Tiempo de soldado): Es el tiempo durante el cual la corriente es activada y se hace pasar a través de la pieza de trabajo.

Hold Time (Tiempo de Retención): Este tiempo permite a la parte de permanecer sujeta con los electrodos después de que la corriente haya dejado de pasar. En este tiempo se permite al metal líquido que fue fundido solidificar. Si este tiempo es muy corto, el punto de soldadura o “Nugget” se puede quebrar.

Off Time: Cuando los electrodos se retraen, comienza el Off Time, el cual permite al operador relocalizar o reacomodar la pieza de trabajo para realizar el siguiente punto. Esta opción se utiliza cuando el trabajo es un proceso continuo.

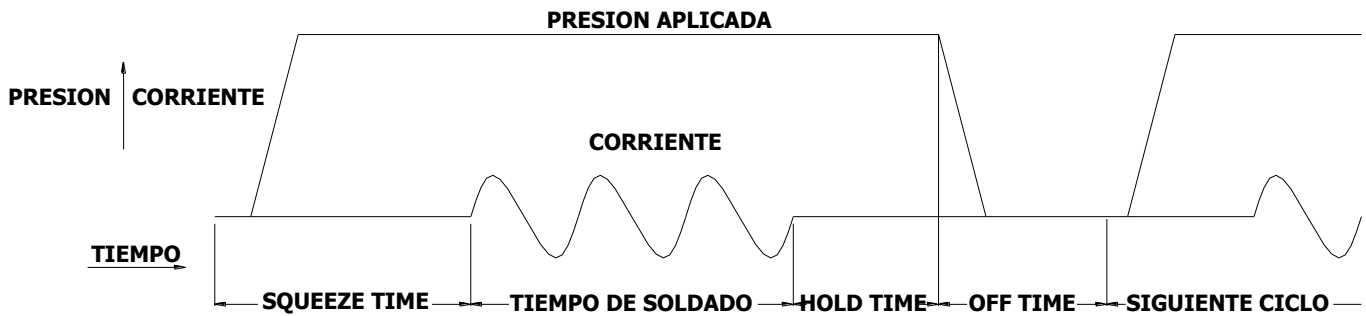


Fig. No. 8.1 Ciclo normal de un proceso de soldadura de Resistencia.

Up Slope Time: Esta opción comienza justo después del Squeeze time, su función es la de incrementar la corriente gradualmente con el fin de dar un Pre-calentado a la pieza de trabajo. Se utiliza mucho cuando las piezas o láminas tienen algún tipo de recubrimiento, como el Galvanizado o Electro galvanizado.

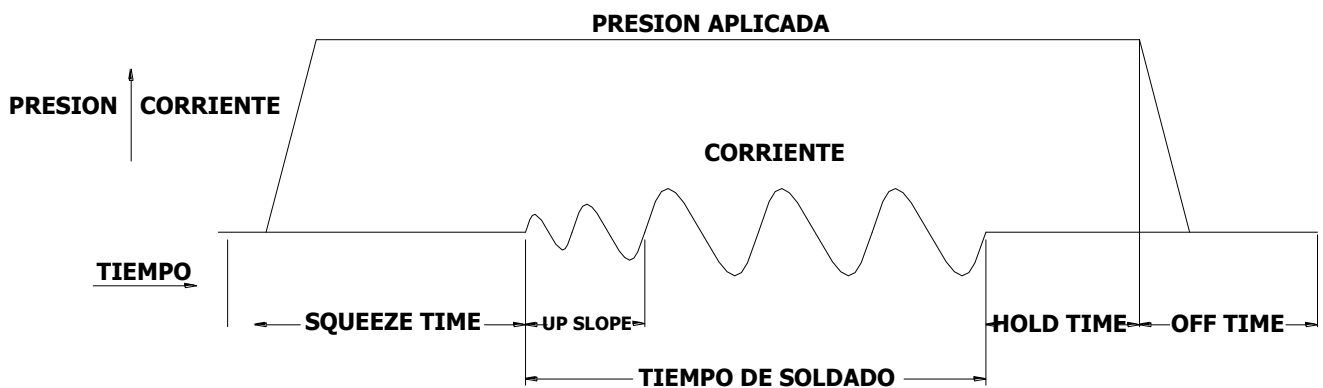


Fig. No. 8.2 Ciclo normal de un proceso de soldadura de Resistencia incluyendo la opción de Up-Slope.

Sección 2.3 PROCESO DE FABRICACION DEL TANQUE DE AGUA

Un calentador de agua (Boiler) requiere de un tanque donde se almacene el agua y se conserve con la temperatura ajustada en el termostato para su uso. Estos tanques de agua requieren de tener puertos de entrada y salida del agua, así como puertos para accesorios como son las válvulas de alivio, termostatos y válvulas de drenado.

Las normas vigentes para fabricación de tanques para calentador de agua hasta 120 galones de capacidad y con una presión de 150 PSI permiten el uso del proceso de soldadura de resistencia de proyección para la unión de los puertos o acoplamientos al tanque. Otras capacidades requieren otro tipo de soldadura para el mismo fin.

Estos acoplamientos generalmente son anillos de acero al carbón con rosca interna cónica de acuerdo a las especificaciones de National Pipe Thread para la instalación fácil de tubería y accesorios. Los acoplamientos tienen una proyección anular para utilizarse estratégicamente para la unión con el material del tanque.

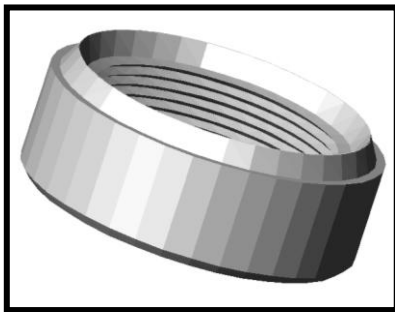
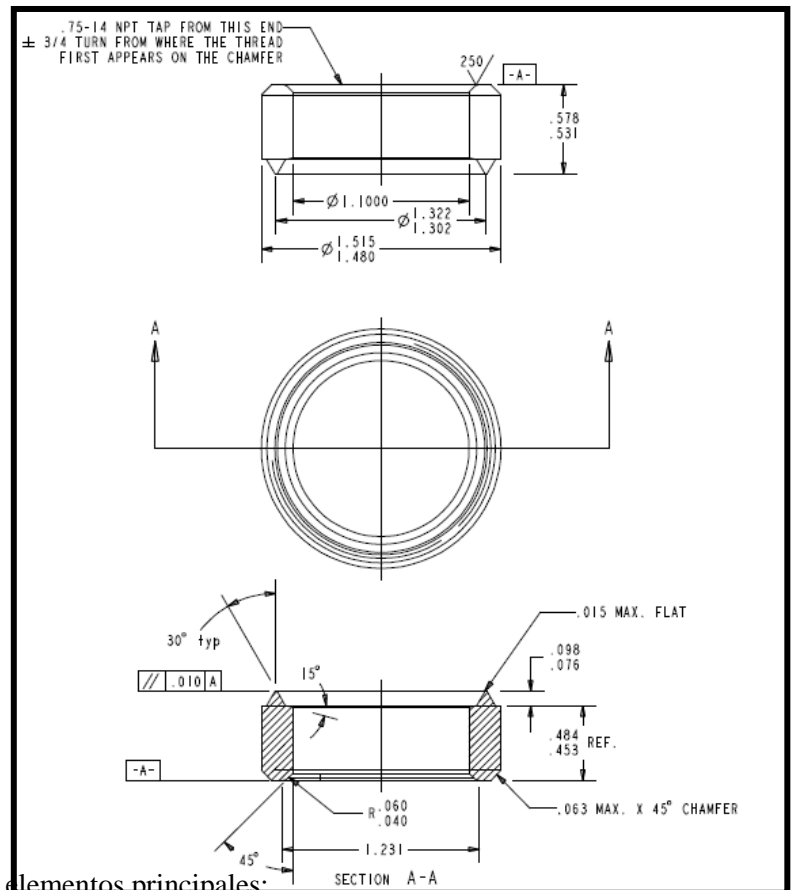


Fig. No. 9 Cople, geometría y detalles.



El tanque de agua se compone de 4 elementos principales:

- Cuerpo

- Cabeza
- Chimenea
- Coples

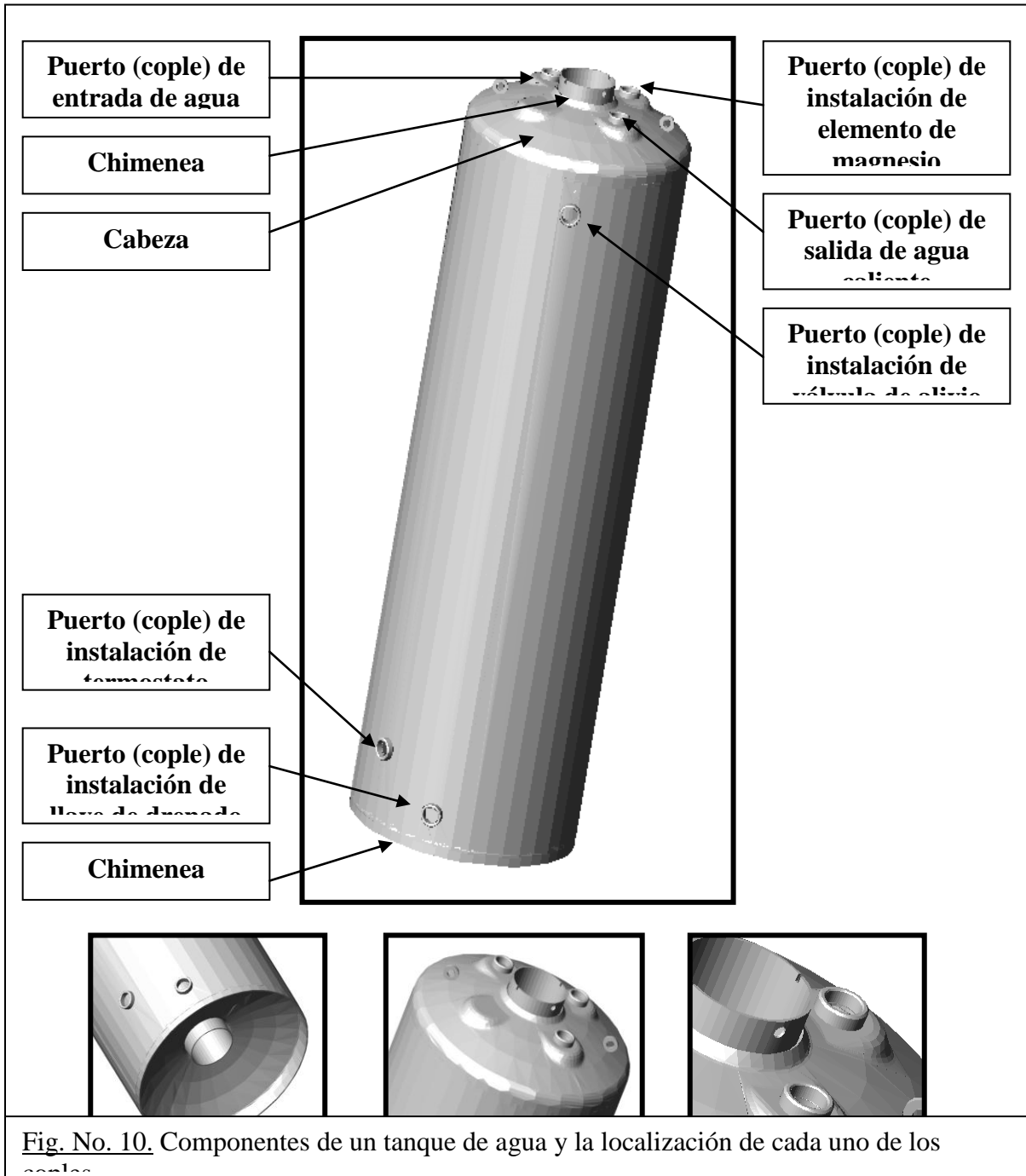


Fig. No. 10. Componentes de un tanque de agua y la localización de cada uno de los coples

La materia prima son rollos de lamina de acero que conforme se va desenrollando, la lamina se va enderezando, desorillando y perforando de acuerdo al modelo a correr. Posteriormente las láminas se cortan a las dimensiones necesarias. Todo este proceso se lleva a cabo en una maquina de Corte a Distancia (Cut to Length).

Una vez apiladas las láminas, estas, son roladas y soldadas para generar el cuerpo del tanque en una maquina soldadora de resistencia de costura. Posteriormente se le sueldan los coples al cuerpo utilizando soldadura de proyección. A continuación se le inserta la cabeza al cuerpo y se suelda utilizando soldadura MIG. Los tanques son colgados y son pasados a través de un baño de sal acida a 155 grados Fahrenheit para después ser porcelanizados.

El proceso de curado de porcelana consiste en hacer pasar el tanque a través de un horno de 3 etapas, en las cuales el tanque debe llegar a una temperatura de 1350 grados Fahrenheit en un lapso de 2 a 5 minutos haciendo que la porcelana vitrifique. Después el tanque se va enfriando a temperatura ambiente conforme va saliendo del horno y se transporta hasta el área de ensamble final.

En esta etapa del proceso la chimenea es ensamblada y soldada al tanque utilizando soldadura MIG. Posteriormente el tanque pasa por la prueba de fugas.

A continuación se muestra el diagrama de proceso indicando el flujo del material desde materia prima hasta que el tanque queda terminado.

<u>HOJA DE RUTA DE PROCESO</u>									
No. DOCUMENTO: _____ NUMERO DE PARTE: <u> Tanque </u> DESC. DE PARTE: <u> TANQUE </u>					FECHA: <u> NOV-2006 </u> REVISION: <u> A </u> PREPARADO POR: <u> J. A. Lopez </u> PAGINA: <u> 1-1 </u>				

STEP	OPER	MOV OP	MOV	ALM	INSP	OPERATION DESCRIPTION	AREA	MAQUINA/AREA	MATERIAL	DOCUMENTOS DE SOPORTE
1				●		Almacenamiento de rollos de acero.	B05	FOSA	Rollo de acero	
2		●				Cizallado de lamina en maquina cortadora. Perforacion de lamina.	B05	CTL	Rollo de acero	
3				●		Almacenamiento de atados.	B05	RACKS	Lamina de acero	
4	●					Rolado y soldado de shell para formar tanque.	B05	SOLDADORA DE RESISTENCIA DE COSTURA	Shell	

Fig. No. 11. Hoja de ruta de proceso de fabricación del tanque de agua.

Subsección 2.3.a PROCESO DE SOLDADURA DE COPLES UTILIZANDO SOLDADURA DE RESISTENCIA

En el cople, la proyección tiene forma piramidal en los 360 grados de la circunferencia. Para lograr la soldadura se coloca la pieza a soldar, en este caso el tanque, en el electrodo inferior, posteriormente se coloca el cople sobre la lámina. Cuando la maquina es accionada, el pistón neumático hace bajar al electrodo superior hasta hacer contacto con el acoplamiento ejerciéndole una fuerza inicial para mantener unidas ambas piezas y lograr que la resistencia sea menor al fluir la corriente eléctrica en el lado del secundario. El pistón continuará ejerciendo la fuerza por un tiempo hasta el momento en que la corriente comience a fluir. A este tiempo se le llama “Squeeze

Time” y es necesario para que el sistema neumático se estabilice y llegue a la presión de trabajo deseada. Dura aproximadamente 0.5 seg. Una vez concluido este tiempo el control de soldadura permite el flujo de la corriente eléctrica por un tiempo determinado. Debido a que la resistencia al flujo es mayor en el punto de contacto de la proyección con la lamina, se genera alto calor tanto en lamina como en la proyección del acoplamiento, ocasionando que esta se funda y se colapse ayudada por la fuerza que esta ejerciendo el actuador neumático. Para ayudar a que la velocidad del colapsado sea uniforme la maquina cuenta con un juego de resortes sometidos a compresión que actúan en el momento preciso. La corriente fluye por un periodo de 0.083 segundos. A este tiempo se le llama “Weld Time” o Tiempo de soldado.

Una vez concluido el paso de la corriente, el pistón neumático permanece ejerciendo fuerza para permitir que la soldadura se forje y que las piezas se hayan unido satisfactoriamente. Este efecto ocurre aproximadamente en 0.16 seg. A este tiempo se le llama “Hold Time” o Tiempo de enfriamiento. Finalizando este tiempo el pistón retrae el electrodo superior liberando las piezas soldadas.

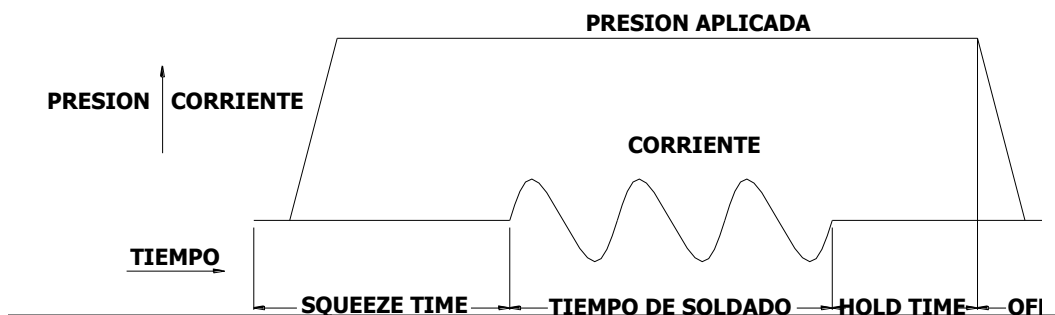


Fig. No. 12. Gráfica de rutina de soldadura utilizada en el proceso de unión de coples a tanques de agua.

En Soldadura de Resistencia no existe hasta el día de hoy un metodo 100% confiable que mida la integridad de la soldadura durante el proceso. Lo que si existen son dispositivos que miden valores como voltaje y corriente en el secundario, voltaje y corriente en el primario, fuerza y desplazamiento del pistón al momento de realizar la soldadura. El dispositivo comúnmente conocido como Weld Scope registra los valores y los compara contra los límites de control previamente establecidos para determinar si la soldadura es buena o mala en tiempo real. Actualmente la empresa donde se lleva a cabo la experimentación no cuenta con este tipo de dispositivos. El método de medición que se utiliza para comprobar que la soldadura es buena o mala es a través de dos pruebas destructivas que se realizan. La primera se llama “Prueba de Desprendimiento”, la cual se realiza durante el proceso, antes de iniciar una corrida al cambio de modelo o al cambio de electrodos, y cada hora. La segunda es la “Prueba de Pulsaciones”, la cual

se realiza seleccionando un tanque aleatoriamente de cada lote de producto al final de la línea. A continuación se describen a detalle ambas pruebas.

Subsección 2.3.a.1 Prueba de Desprendimiento

Debido a que realizar pruebas destructivas directamente en el producto resultaría costoso, fue necesario implementar un método que fuera rápido, sencillo de operar y que mostrara si el acoplamiento se desprende del material base totalmente, que de alguna manera indica si la soldadura se ha llevado a cabo con éxito o no. Para esto se utilizan placas o cupones previamente cortados y perforados utilizando el mismo material que se utiliza en producción. Estos cupones se sueldan y se llevan a una prensa hidráulica. Utilizando un punzón de forma cónica se trata de desprender el acoplamiento del material base a través de la fuerza ejercida por el pistón. En esta prueba solo se tienen dos salidas, una es que el material se desprenda totalmente o no. Esto es 360 grados del acoplamiento, lo cual significa pasa o no pasa.

Para objeto de llevar a cabo el estudio, se compro y se integro a la prensa una celda de carga y un indicador digital de marca Futek con capacidad de hasta 50,000 lbs para poder tener un valor numérico al momento de realizar el desprendimiento. A esta maquina se le llamara de aquí en adelante Probadora de coples. El dato que se obtiene es el pico de la fuerza utilizada antes del punto de ruptura.

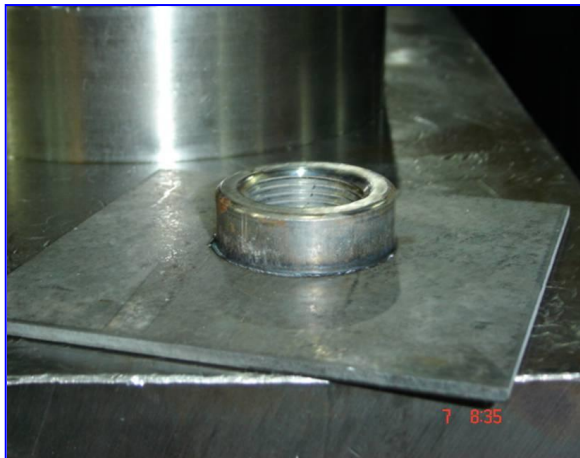


Fig. No. 13.1 - Cupón soldado para utilizarlo en prueba de desprendimiento



Fig. No. 13.2 - Punzón para prueba de desprendimiento



Fig. No. 13.3 – El cupón es colocado sobre una copa que esta sentada en una celda de carga.

Fig. No. 13.4. El punzón es colocado en el cople con la forma cónica tocando las cuerdas de la rosca del cople.

Fig. No. 13.5. El vástago del pistón es llevado hasta hacer contacto con el punzón



Fig. No. 13.6 – El pistón hidráulico es activado hasta que el cople es desprendido del cupón.



Fig. No. 13.7 – Cople desprendido de cupón



Fig. No. 13.8 – Cople desprendido de cupón

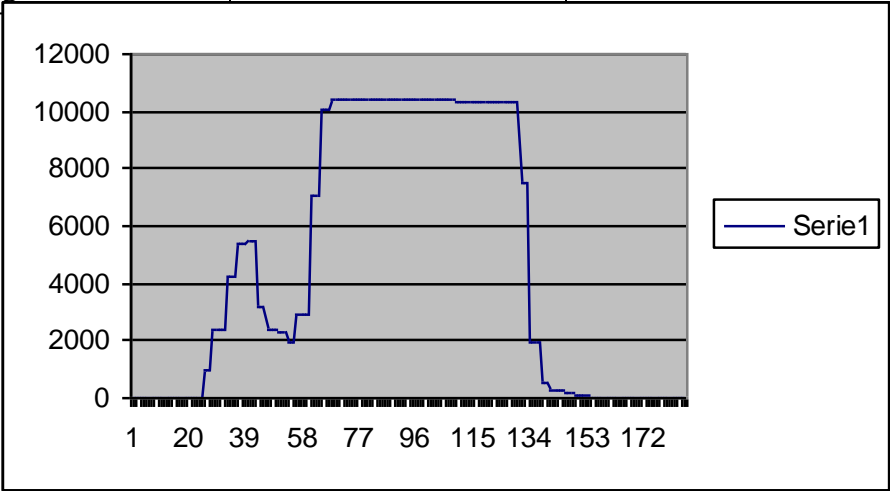




Fig. No. 13.10 – Display digital de celda de carga.

Fig. No. 13.9 – Software Futek IPM500 para análisis y para colección de datos de celda de carga.

Fig. No. 13.11 – Grafica obtenida de software Futek IPM500 para análisis y para grafica de datos de celda de carga. La grafica compara libras fuerza en el eje Y contra



Una soldadura aceptable es aquella en la que el total de la circunferencia del cople se desprende totalmente del cupón como muestra la siguiente figura:

Fig. No. 14.1 Soldadura aceptable debido a que el material base se desprendió al 100%



Una soldadura no aceptable es aquella en la que no se desprende totalmente la lámina del cupón o aquella en la que al momento de colapsarse la proyección, esta arroja rebaba y se pega en las cuerdas de las roscas.

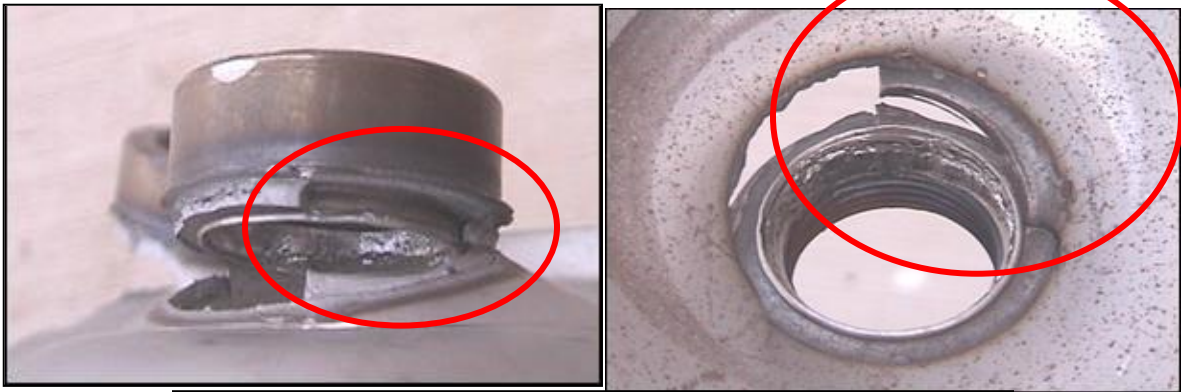


Fig. No. 14.2 – Soldadura rechazada por no desprenderse al 100%



Fig. No. 14.3 – Material depositado en las cuerdas de la rosca.



Fig. No. 14.4 – Material depositado en las cuerdas de la rosca.



Fig. No. 14.5 – Material depositado en las cuerdas de la rosca.



Fig. No. 14.6 – Material no rechazado pero que indica marcas de sobrecalentamiento. Los electrodos se han visto afectados.

Fig. No. 14.7 – Rosca dañada en los elementos que se instalan en los coples a consecuencia de material extraño o rebaba en los coples.



Fig. No. 14.8 – Calentador de agua rechazado por el cliente debido a una fuga



Fig. No. 14.9 – Fuga de cople debido a una falla en la soldadura. Fotografía obtenida en la planta del cliente



Subsección 2.3.a.2 Prueba de pulsaciones

Esta es una prueba en la cual se somete el tanque a fatiga. Consiste en llenar el tanque con agua hasta el tope, posteriormente se le aplica aire comprimido con una presión que va de 0 a 120 PSI, en un promedio de 20 a 22 ciclos por minuto. La prueba dura hasta alcanzar 150,000 ciclos o hasta que se presente una fuga. Este análisis se lleva a cabo para verificar la integridad de todas las uniones del tanque, las cuales algunas son hechas con soldadura MIG y otras con soldadura de resistencia de costura tipo Mash. Cuando una soldadura es débil o sufrió sobrecalentamiento, esta, tiende a fracturarse debido al constante movimiento de las pulsaciones.



Fig. No 15.1. Arreglo de tanques en prueba de pulsaciones.



Fig. No. 15.2 Manómetro indicador de la presión instalado en el tanque de agua en la prueba de pulsaciones.

Capítulo 3

METODOLOGIA UTILIZADA

En Soldadura de Resistencia de proyección la corriente viaja en el circuito secundario pasando a través de las piezas a soldar, produciéndose calor en la zona donde hay más resistencia al paso de la corriente eléctrica.

Hoy en día, en la práctica industrial de soldadura de resistencia, muchas de las rutinas de soldar se crean a partir de experimentación a prueba y error, basándose en la posible poca o mucha experiencia que las personas encargadas de esta tarea tienen. En ocasiones estas rutinas pueden ser buenas pero a la vez de alto costo de operación, o pueden ser buenas pero solo al inicio de la corrida de producción y tornarse inefectivas al cabo de algunos disparos. Otro método que se utiliza también es el de “un factor a la vez” que en ocasiones no se llega a conclusiones correctas.

Este proyecto de tesis pretende demostrar que los métodos de prueba de tipo destructivo no ofrecen un grado de confiabilidad aceptable y que instrumentos de medición se deben de utilizar en paralelo para poder establecer un método confiable de prueba. Las soldaduras de coples a tanques de agua uniones deben de cumplir con las especificaciones visuales de calidad y que logren someterse a pruebas destructivas para comprobar la resistencia en la unión.

Como se menciona anteriormente, Soldadura de Resistencia es un proceso en el que intervienen un sinnúmero de variables, de entre las cuales se encuentran variables controlables y variables ruido.

VARIABLES CONTROLABLES

1. Corriente en el primario
2. Corriente en el secundario
3. Tiempo de soldadura
4. Tiempo de retención
5. Tiempo de enfriado

6. Frecuencia
7. Voltaje en el primario
8. Voltaje en el secundario
9. Fuerza de soldadura
10. Espesor de la lamina
11. Material de electrodos
12. Geometría de electrodos
13. Aislamiento de electrodos en secundario.
14. Temperatura/enfriamiento de electrodos.
15. Brincos de corriente
16. Planicidad de la superficie del material a soldar.

VARIABLES RUIDO

1. Fluctuaciones de voltaje en primario
2. Composición química del material a soldar.

La manera como se demostró esta hipótesis es la siguiente:

1. *PASO 1.* Determinar que variables son las que mas contribuyen al correcto funcionamiento del proceso por medio de Diseño de experimentos.
2. *PASO 2.* Comprobar si el método actual de prueba puede identificar partes aceptables de partes de rechazo.

Para lograrlo se aplicara la técnica de Gage R&R para medir la capacidad del instrumento de medición.

3. *PASO 3.* Comprobar si el proceso de soldadura es repetible.

Utilizando un estudio de capacidad Cpk a 2 de las variables importantes del proceso.

4. *PASO 4.* Comprobar si el proceso actual se puede predecir.

Llevar a cabo diseños de experimentos para determinar cuales variables tienen mas impacto en el proceso y hacer una comparación contra las ecuaciones matemáticas que rigen las bases o los fundamentos de soldadura de resistencia

5. *PASO 5.* Realizar corridas de validación para comprobar resultados utilizando los valores obtenidos en el diseño de experimentos.

Sección 3.1 1er PASO DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El primer paso que se llevo a cabo fue hacer una experimentación con variables conocidas, las cuales fueron determinadas en base a la experiencia, con el fin de determinar cual de las variables contribuye más al proceso. Para lograr esto se utilizó la técnica de Diseño de Experimentos, la cual es una metodología sistemática y eficiente para conducir experimentos de proceso. En DOE se mueven las múltiples entradas a un proceso, en una manera estadística con el fin de observar sus resultados correspondientes a la salida del proceso. DOE se utiliza para “interrogar al proceso” forzando las variables para obtener la información necesaria.

En un proceso no todas las variables afectan al resultado tanto como otras. Con esta técnica se van a identificar cuales de las variables son críticas y cuales se deben de controlar de una manera segura para obtener el resultado óptimo. También se determina cuales variables ajustar para minimizar el efecto de las variables no controlables y así crear un proceso robusto.

Para realizar el diseño experimentos se seleccionaron coples de acero al carbón con rosca de 3/4” NPT y placas de acero al carbón rolando en frío de 4” x 4” de 0.053” de espesor con una perforación de 1.125”.

La maquina que se utiliza es una soldadora de tipo prensa de la marca RWC, con un transformador de 570 KVA en corriente directa. El control de soldadura es MEDAR3500.

La composición química de cada parte a soldar se muestra a continuación para futura referencia.

Cople

%P	%S	%Sn	%Ti	%C	%Cu	%Mo	%Si	%Ni	%Cr	%V	%Mn	Dureza RB
0.006	0.004	0.002	0.002	0.08	0.05	0.003	0.08	0.08	0.1	0.009	0.37	24-26

Placa (cupón) de Acero

%P	%S	%Sn		%C			%Si	%Ni	%Cr		%Mn	Dureza RB
0.05	0.004	0.002		0.04			0.08	0.08	0.1		0.38	78

Fig. No. 16- Composición química de los elementos a soldar.

Los parámetros que participan en el estudio fueron seleccionados debido a que son parámetros que pueden ser controlados en cada disparo con algún dispositivo que permite mantenerlos fijos durante el experimento desde el control propio de la maquina o bien con algún

dispositivo instalado en la maquina, y que son parámetros que por la naturaleza del proceso infieren directamente en la integridad de la soldadura. Los rangos propuestos para el experimento surgieron de pruebas de acercamiento que se realizaron con el fin de establecer límites normales de operación, esto es que se llevaron a cabo disparos con parámetros ajustados basados en la experiencia. Para el límite inferior, los resultados debían ser que el acoplamiento al menos se desprendiera los 360 grados en la prueba de desprendimiento haciendo uso de la probadora de cople. Para el límite superior, los resultados debían ser que el cople no presentara expulsión de material hacia las cuerdas de la rosca, lo cual se considera rechazo en cuanto a términos de calidad. En este punto todavía el “Ajuste fino” no ha sido del todo establecido para delimitar de manera correcta las fronteras del diseño.

Una vez que estos acercamientos dados, se procedió a empezar un Diseño de Experimentos con los siguientes parámetros:

- PRESION: Es la presión a la que el cilindro que sostiene el electrodo superior actúa para cerrarse y aprisionar las piezas a soldar. Opera al presionar el mando bi-manual. Esta presión se ajusta de manera manual mediante un regulador de perilla y un manómetro análogo graduado. Su unidad de medida es PSI (libras por pulgada cuadrada). Su rango de operación es de 0 a 150 PSI y su graduación es en múltiplos de 5.
- CORRIENTE: Es el porcentaje de corriente disponible en el transformador al momento del disparo. Generalmente en este tipo de maquinas se da este valor para facilidad en su interpretación. Este es un valor digital que se ajusta mediante una computadora, la cual se encuentra instalada en el control de soldadura. Las unidades están dadas en porcentaje. Su rango de operación es de 1 a 99% y su graduación es en múltiplos de 1.
- TIEMPO: Es el tiempo de duración del paso de la corriente. La unidad de medida son ciclos, los cuales equivalen a 1/60 de segundo. Este es un valor digital que se ajusta mediante una computadora, la cual se encuentra instalada en el control de soldadura. Su rango de operación es de 1 a 99 ciclos.

Las salidas o resultados de cada experimento se medirán en Libras fuerza al realizar la prueba de desprendimiento.

Los mejores resultados serán aquellos que el valor obtenido en la prueba de desprendimiento sea mas alto, pero que sea aceptable (libre de expulsión de material) y que los valores de corriente sean bajos ya que entre mas alto, mas será el costo para la empresa.

Para el estudio se designaron los siguientes rangos de experimentación:

- Presión 55 a 85 PSI
- Corriente 80% a 94%
- Tiempo 3 a 5 ciclos

Std Order	Run Order	Presion	Tiempo	Corriente	Y	Resultado	Notas
4	1	85	5	84	5511	Aceptable	
1	2	55	3	84	5452	Aceptable	
12	3	85	5	84	5652	Aceptable	
2	4	85	3	84	3891	No Aceptable	No 100%
14	5	85	3	94	6303	Aceptable	
16	6	85	5	94	5719	No Aceptable	No 100%
24	7	85	5	94	5887	No Aceptable	No 100%
11	8	85	5	84	5441	Aceptable	
9	9	55	3	84	6344	Aceptable	
22	10	85	3	94	6534	Aceptable	
23	11	55	5	94	2536	No Aceptable	Expulsion material
17	12	55	3	84	5523	Aceptable	
20	13	70	4	80	5240	No Aceptable	No 100%

RESULTADOS PRELIMINARES

El estudio no se pudo realizar como se esperaba, los resultados mostraron que aun se debían cerrar mas los limites para volver a realizar el diseño de experimentos ya que muchos coples después de haber sido soldados y medidos no pasaron la prueba de desprendimiento y algunos se quedaron pegados a los electrodos debido al sobrecalentamiento y a la sobre expulsión de material, motivo por el cual el estudio no pudo continuar y se debe repetir ya que los resultados no fueron satisfactorios.

Al estar realizando cada una de las pruebas de desprendimiento surgió un grado de desconfianza ya que no se obtuvieron los resultados esperados y los datos no se comportaron de una manera lógica con respecto a la experiencia que se tiene en el proceso, motivo por el cual es necesario probar la capacidad del instrumento de medición.

Sección 3.2 2do PASO. ESTUDIO DE GAGE R&R

Debido a que las muestras son destructivas sería imposible hacer un estudio de Gage R&R directamente con las muestras en la prensa de prueba de desprendimiento y también sería imposible hacer un master por el mismo motivo, así que se optó por hacer el estudio utilizando un “master” o referencia con peso conocido y en un tiempo establecido de manera que se asemeje a la realidad lo más posible y que no sea destructivo, aunque no es completamente igual. El procedimiento para llevar a cabo el estudio fue el siguiente:

3 Operadores, 2 Rondas, 10 veces

1. Tomar pieza y colocarla en la copa de prensa.
2. Extender el vástago del pistón hasta tocar la pieza.
3. Esperar 5 segundos.
4. Accionar la palanca para ejercer la fuerza sobre la pieza durante 3 segundos.

5. Tomar la lectura.
6. Soltar palanca para retraer el pistón.

Las lecturas fueron como sigue:

	OPERADOR 1		OPERADOR 2		OPERADOR 3	
	1ra Ronda	2da Ronda	1ra Ronda	2da Ronda	1ra Ronda	2da Ronda
1	12924	12997	12996	12902	12928	12908
2	12816	12841	12830	12810	12858	12836
3	12882	12863	12885	12872	12912	12898
4	12836	12796	12802	12798	12844	12874
5	12828	12862	12869	12882	12833	12844
6	12736	12757	12759	12850	12678	12853
7	12876	12852	12903	12865	12906	12941
8	12846	12896	12853	12824	12853	12898
9	12852	12835	12845	12872	12849	12862
10	12812	12854	12853	12876	12895	12899

Los resultados fueron los siguientes:

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Desprendimiento

Gage name: Prensa de desprendimiento
 Date of study:
 Reported by: J.A. Lopez
 Tolerance: +/-1000
 Misc: Libras Fuerza

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Pieza	9	109216	12135.1	12.0423	0.000
Operador	2	4170	2085.1	2.0692	0.155
Pieza * Operador	18	18139	1007.7	0.8369	0.648
Repeatability	30	36121	1204.0		
Total	59	167645			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Pieza	9	109216	12135.1	10.7351	0.000
Operador	2	4170	2085.1	1.8446	0.169
Repeatability	48	54260	1130.4		

Total 59 167645

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1178.14	39.11
Repeatability	1130.41	37.53
Reproducibility	47.73	1.58
Operator	47.73	1.58
Part-To-Part	1834.11	60.89
Total Variation	3012.25	100.00

Process tolerance = 2000

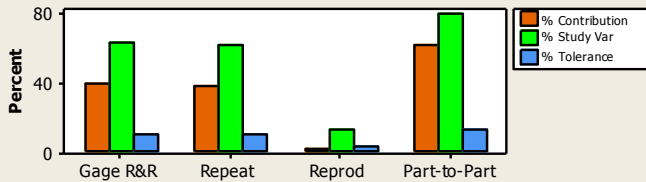
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	34.3241	205.944	62.54	10.30
Repeatability	33.6215	201.729	61.26	10.09
Reproducibility	6.9090	41.454	12.59	2.07
Operator	6.9090	41.454	12.59	2.07
Part-To-Part	42.8265	256.959	78.03	12.85
Total Variation	54.8840	329.304	100.00	16.47

Lecturas de desprendimiento de coples

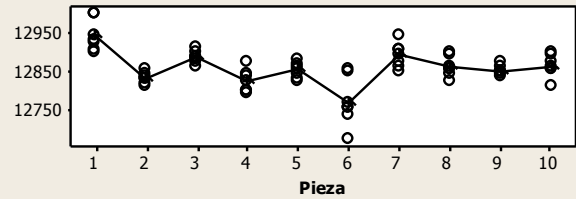
Gage name: Prensa de desprendimiento
Date of study:

Reported by: J.A. Lopez
Tolerance: +/-1000
Misc: Libras Fuerza

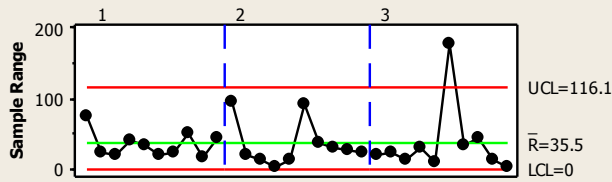
Components of Variation



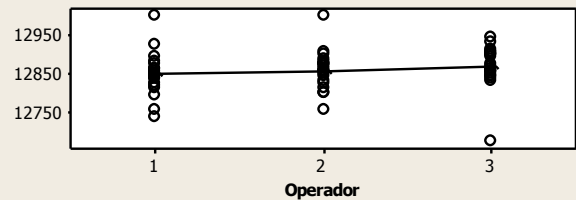
Desprendimiento by Pieza



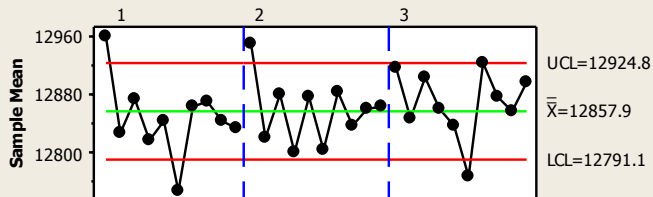
R Chart by Operator



Desprendimiento by Operator



Xbar Chart by Operator



Operator * Pieza Interaction

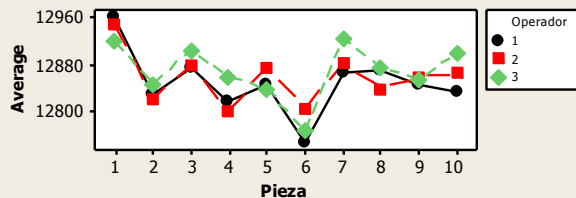
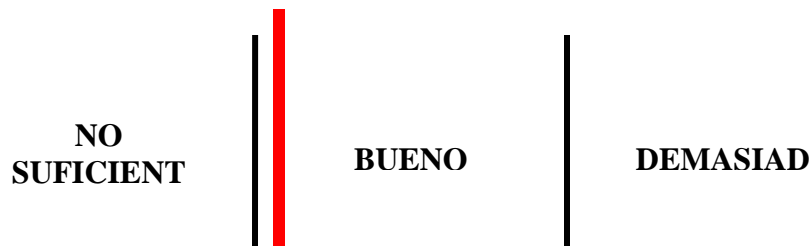


Fig. No. 17. Six-Pack estadístico obtenido de Minitab con resultados de gage R&R.

RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados nos indica que el instrumento de medición que estamos utilizando es hasta cierto punto bueno ya que tiene un 10.30% de Repetibilidad y Reproducibilidad, pero debemos de recordar que no es lo ideal ya que no se esta midiendo con las piezas que son parte del estudio. No se pudiera medir con piezas del estudio ya que son de tipo destructivas.



Sección 3.3 3er PASO ESTUDIOS DE Cpk VARIABLES DE MAQUINA

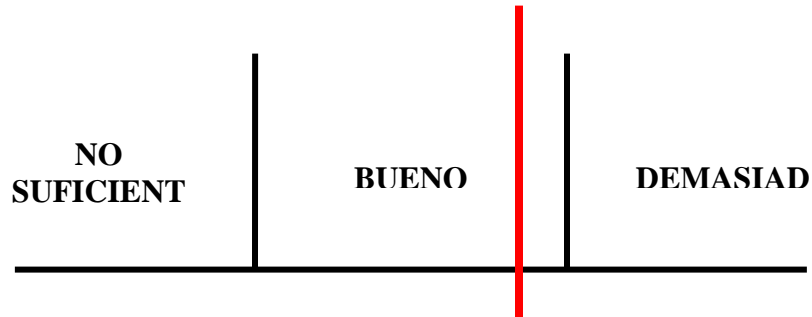
Subsección 3.3.a Estudio de Cpk a presión de soldadora al momento del disparo.

El estudio de capacidad a la presión o a la fuerza de soldadura se llevo a cabo instalando un transductor de presión conectado a la línea neumática de entrada al pistón de soldadura. Este transductor esta conectado a un display digital el cual arroja una lectura de presión al momento del disparo de soldadura. Las lecturas obtenidas se muestran a continuación.

Corrida	Presión
1	70.2
2	70.3
3	69.3
4	70.4
5	70.3
6	70.3
7	70.8
8	70.5
9	69.8
10	70.4
11	70.3
12	69.8
13	70.6
14	70.4
15	69.9
16	69.4
17	70.3

Fig. No. 18 – lecturas obtenidas para estudio de Cpk de la variable “presión”.

Los resultados muestran que el arreglo neumático conectado al pistón de soldadura es capaz de repetir y ofrecer un nivel confiable de presión neumática para realizarse la soldadura. El resultado fue $Cpk = 1.66$, lo que indica que es un proceso capaz.



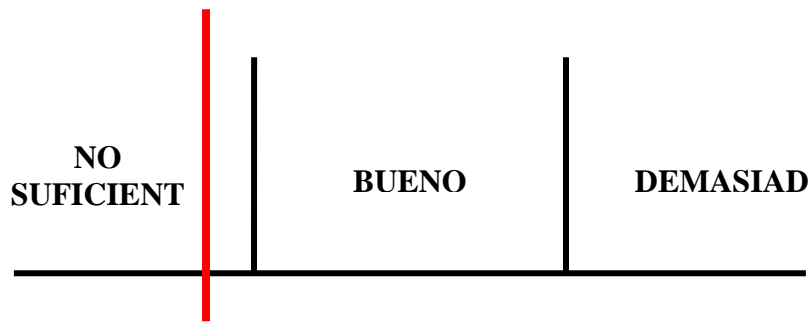
Subsección 3.3.b ESTUDIO DE Cpk a corriente en el secundario al momento del disparo.

El estudio de capacidad se llevo a cabo al proceso utilizando un dispositivo para medir corriente en el secundario. El dispositivo es un Weld Scope marca Dengensha WS-80. El método de medición es colocando un toroide alrededor de los electrodos, que al cerrarse el circuito se toma la lectura en paralelo. Este toroide esta conectado al Weld Scope proporcionando una lectura en el display digital.

Las lecturas obtenidas son las siguientes:

Corrida	Corriente en secundario
1	74675
2	75987
3	74345
4	75987
5	75294
6	75495
7	75458
8	75484
9	75489
10	74988
11	75322
12	75165
13	74489
14	75764
15	74346
16	75709
17	75469
18	75987
19	74310
20	75203

Fig. No. 20 – Lecturas obtenidas para estudio de Cpk de corriente en el secundario utilizando Weld scope Dengensha WS-80



Sección 3.5 4to PASO SEGUNDO EXPERIMENTO DOE

El experimento fue necesario repetirlo para poder perseguir los resultados deseados. Se cerraron los límites aun más. Los siguientes rangos seleccionados son:

- Presión 60 a 80 PSI
- Corriente 80% a 96%
- Tiempo 4 a 6 ciclos

El diseño es factorial 2³ igual a 8 corridas, con tres replicas igual a 24 corridas más 5 puntos centrales, total 29 corridas.

Factor	Bajo	Alto
Presión	60	80
Corriente	80	96
Tiempo	4	6

Run Order	P	T	C	Y
1	80	6	80	5787
2	60	4	80	5670
3	80	6	80	6104
4	80	4	80	4066
5	80	4	96	6774
6	80	6	96	5853
7	80	6	96	6403
8	80	6	80	5902
9	60	4	80	6620
10	80	4	96	6850
11	60	6	96	4748
12	60	4	80	6040
13	70	5	88	5605

14	60	4	96	6627
15	60	6	96	3535
16	80	4	80	5225
17	70	5	88	6122
18	70	5	88	6662
19	70	5	88	5880
20	80	6	80	6098
21	60	6	80	6617
22	60	4	96	6779
23	70	5	88	5301
24	60	6	80	6755
25	60	4	96	6298
26	80	4	96	6641
27	60	6	96	4248
28	80	6	96	7113
29	80	4	80	4847

Fig. No. 22 – Parámetros y lecturas obtenidas en las corridas del diseño de experimentos utilizando la prueba de desprendimiento.

Std Order	RunOrder	CenterPt	Blocks	P	T	C	Y
4	1	1	1	-1	-1	-1	5787
1	2	1	1	1	-1	-1	5670
12	3	1	1	-1	1	-1	6104
2	4	1	1	1	1	-1	4066
14	5	1	1	-1	-1	1	6774
16	6	1	1	1	-1	1	5853
24	7	1	1	-1	1	1	6403
11	8	1	1	1	1	1	5902
9	9	1	1	-1	-1	-1	6620
22	10	1	1	1	-1	-1	6850
23	11	1	1	-1	1	-1	4748
17	12	1	1	1	1	-1	6040
29	13	1	1	-1	-1	1	5605
5	14	1	1	1	-1	1	6627
7	15	1	1	-1	1	1	3535
18	16	1	1	1	1	1	5225
26	17	1	1	-1	-1	-1	6122
27	18	1	1	1	-1	-1	6662
25	19	1	1	-1	1	-1	5880
20	20	1	1	1	1	-1	6098
3	21	1	1	-1	-1	1	6617
21	22	1	1	1	-1	1	6779

28	23	1	1	-1	1	1	5301
19	24	1	1	1	1	1	6755
13	25	0	1	0	0	0	6298
6	26	0	1	0	0	0	6641
15	27	0	1	0	0	0	4248
8	28	0	1	0	0	0	7113
10	29	0	1	0	0	0	4847

Fig. -No. 23. – Orden de corrida y lecturas obtenidas del diseño de

Análisis

Factorial Fit: Y versus P, T, C

Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5917.6	191.2	30.96	0.000
P	252.6	126.3	191.2	0.66	0.516
T	-825.6	-412.8	191.2	-2.16	0.043 ← Significativo
C	60.7	30.3	191.2	0.16	0.876
P*T	100.0	50.0	191.2	0.26	0.796
P*C	231.8	115.9	191.2	0.61	0.551
T*C	-30.1	-15.1	191.2	-0.08	0.938
P*T*C	297.0	148.5	191.2	0.78	0.446
Ct Pt		-88.2	460.4	-0.19	0.850

S = 936.509

PRESS = 32553488

R-Sq = 23.68%

R-Sq(pred) = 0.00%

R-Sq(adj) = 0.00%

Analysis of Variance for Y (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	4494607	4494607	1498202	1.71	0.197
2-Way Interactions	3	387731	387731	129244	0.15	0.930
3-Way Interactions	1	529313	529313	529313	0.60	0.446
Curvature	1	32161	32161	32161	0.04	0.850
Residual Error	20	17540966	17540966	877048		
Pure Error	20	17540966	17540966	877048		
Total	28	22984778				

Unusual Observations for Y

Obs	StdOrder	Y	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
-----	----------	---	-----	--------	----------	----------

15 7 3534.58 5079.41 540.69 -1544.83 -2.02R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Fig. -No. 24. – Resultados obtenidos del software Minitab al correr el diseño de

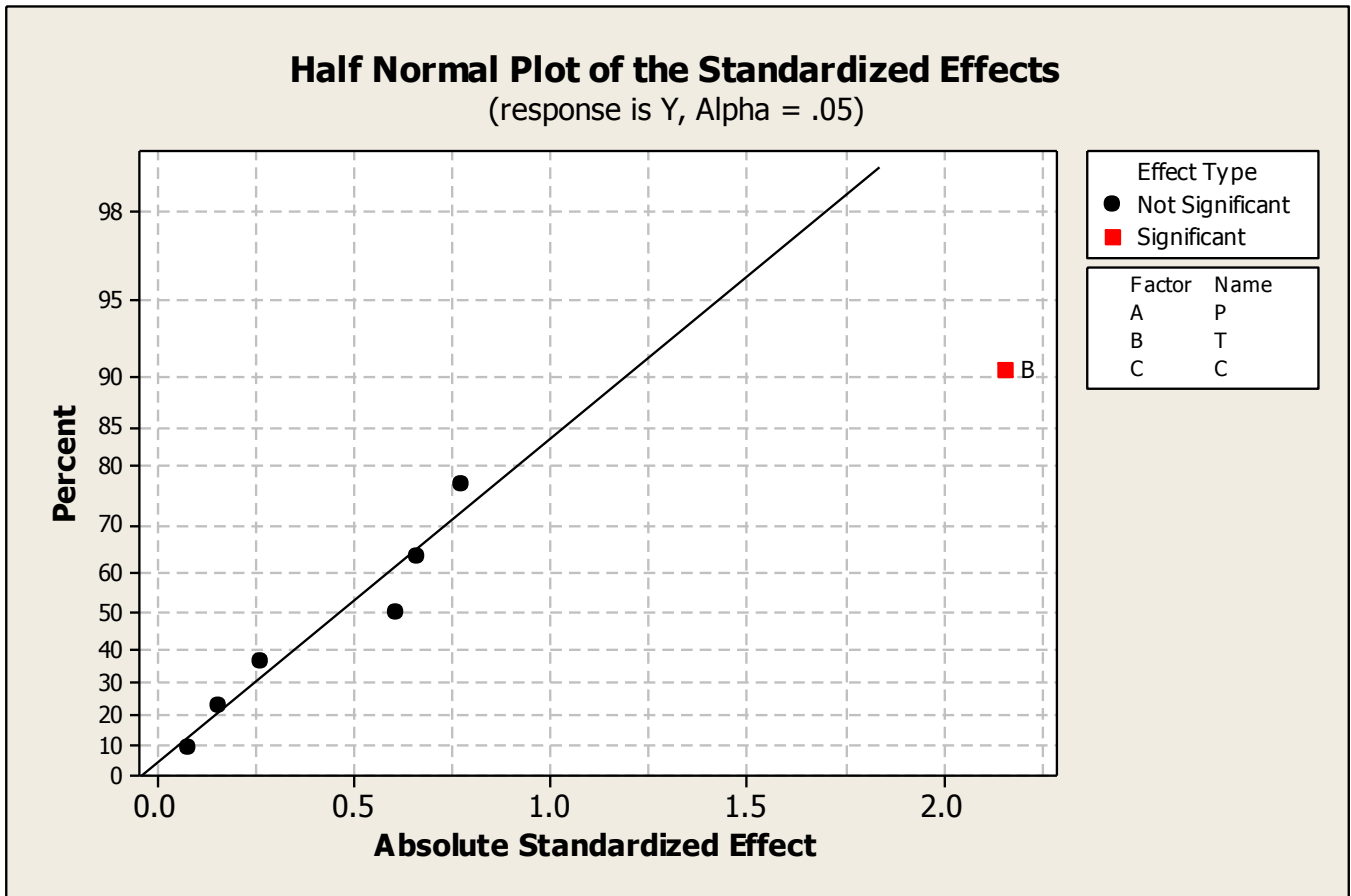


Fig. No. 25 – Grafica de variables significativas para el proceso obtenidas del software Minitab a partir del diseño de experimentos.

RESULTADOS PRELIMINARES

El único factor significativo es T (tiempo), y no tiene curvatura.

Por lo que la ecuación es la siguiente:

$$Y = 5917.6 - 412.8 T$$

Entre mas alto el valor mejor, o $T = -1$, $T = 80$

$$Y = 5917.6 - 412.8 (-1)$$

$$Y = 6330.4$$

Es decir, para obtener la más alta lectura, el tiempo tendría que establecerse en 4.

Sección 3.6 5to PASO CORRIDAS DE CONFIRMACION

Una vez obtenida la ecuación a partir del diseño de experimentos se procedió a realizar 20 corridas de confirmación con el fin de corroborar si los resultados obtenidos se pueden reproducir. Los parámetros utilizados fueron:

Factor	Valor
Presión	70
Corriente	96
Tiempo	4

ORDEN	LECTURA	RESULTADO
1	5780	Aceptable
2	6569	Aceptable
3	7318	Aceptable
4	6837	Aceptable
5	5121	Aceptable
6	7133	Aceptable
7	7382	Aceptable
8	6104	Aceptable
9	5748	Aceptable
10	6389	Rechazo
11	6612	Aceptable

12	6512	Aceptable
13	6396	Aceptable
14	6438	Aceptable
15	7487	Aceptable
16	5698	Rechazo
17	6732	Aceptable
18	7245	Aceptable
19	6772	Aceptable
20	6285	Aceptable

Fig. No. 26 – Lecturas y resultados obtenidos al realizar las corridas de confirmación después de obtener la ecuación matemática del diseño de experimentos.

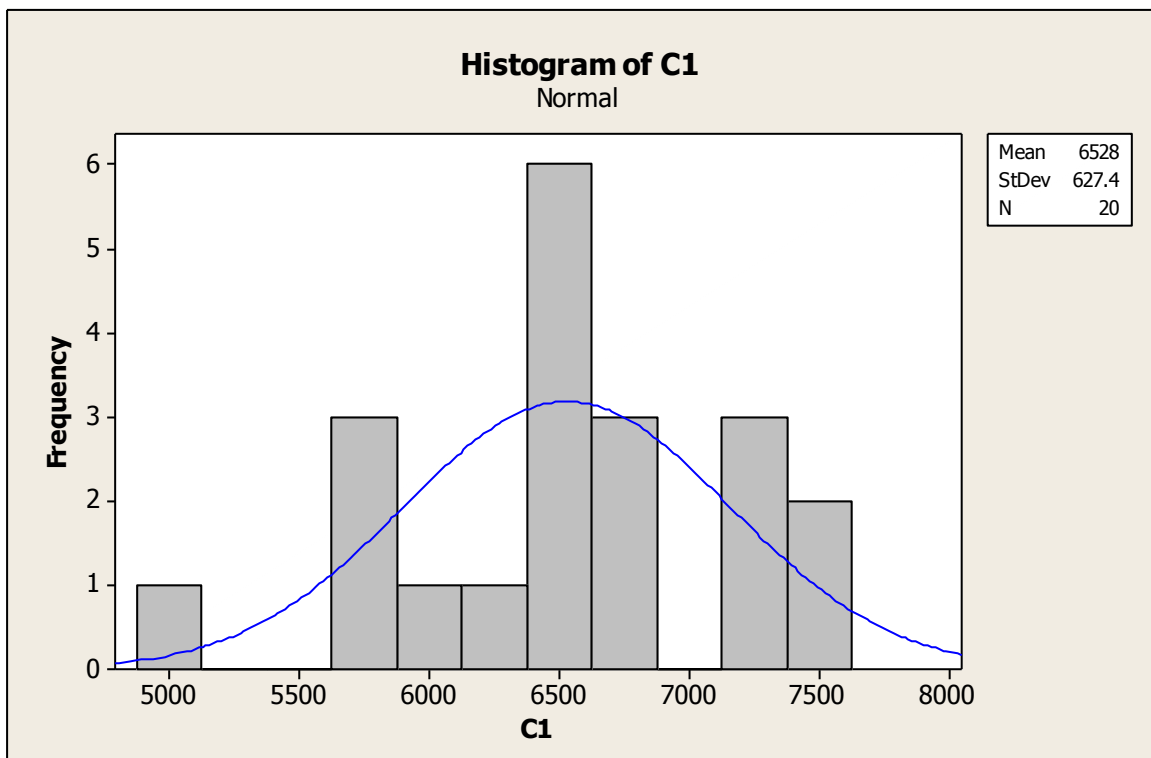
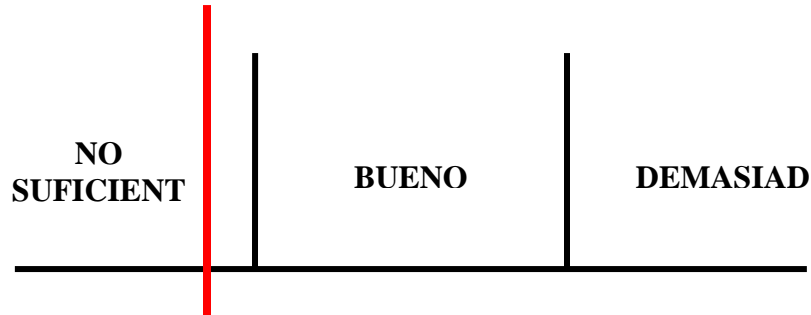


Fig. No. 27 – Histograma con la distribución de las lecturas obtenidas en las corridas de confirmación a partir de los resultados del diseño de experimentos.

RESULTADOS PRELIMINARES

Después de realizar las corridas de confirmación, 2 de las pruebas no fueron aceptables, es decir, la soldadura no se solidificó como era esperado. Los demás valores se comportan de

manera normal. Estos resultados muestran que el proceso de soldadura y prueba de desprendimiento no son confiables. Existen todavía variables que deben estar en control y siendo monitoreadas para poder entender mejor al proceso.



Capítulo 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestra un sumario de los resultados obtenidos de todos los experimentos y los estudios estadísticos realizados para comprobar la hipótesis.

PASO 1. Diseño de experimentos.

El primer diseño de experimentos arrojó resultados no favorables, el estudio no se pudo llevar a cabo ya que algunas de las corridas experimentales fueron rechazadas, esto es, que la soldadura no solidificó en los cupones, lo cual impidió continuar.

PASO 2. Gage R&R a instrumento de medición.

El estudio de Gage R&R practicado al sistema de medición dio como resultado un 10.30% de repetibilidad y reproducibilidad, lo cual nos indica que el instrumento por sí solo es capaz de repetir y de que puede ser operado por los operadores sin meter mucho ruido con su manera de llevarlo a cabo. Mas sin embargo, el estudio no es del todo confiable ya que no fue realizado con cupones de producción debido a que estas pruebas debían ser de tipo destructivo.

PASO 3. Estudio de Cpk a 2 de las variables importantes del proceso.

Cpk a presión de soldadura = 1.66, lo cual indica que esta variable es capaz de mantenerse en control durante el proceso de soldadura.

Cpk a corriente en el secundario = 0.81, lo cual demuestra que no es un proceso capaz. La desconfianza surge con las lecturas obtenidas. Se desconfía del instrumento de medición utilizado o que alguna otra variable deba ponerse en control.

PASO 4. Diseño de experimentos.

Los resultados arrojaron una ecuación la cual indica que la variable más significativa para el proceso de prueba de desprendimiento de coples es el tiempo. Esto se podría interpretar como que los valores de corriente y presión no son significativos para obtener un buen desprendimiento, recordando que para el proceso es más importante una lectura alta en la prueba.

PASO 5. Corridas de confirmación.

Se llevaron a cabo corridas de confirmación colocando en la maquina los valores de las variables o factores obtenidos en los diseños de experimentos para definir si el proceso se podría predecir. Al momento de realizar las pruebas de desprendimiento, dos de los coples fallaron en la prueba, lo cual desecha cualquier teoría de que el experimento fue un éxito. De esta manera la hipótesis planteada de que las pruebas de desprendimiento de tipo destructivas no son suficientes para verificar si un proceso de soldadura de resistencia de tipo de proyección puede estar en control.

Es necesario realizar mayor experimentación a todas las variables utilizando métodos alternativos de prueba que puedan lecturas o valores numéricos y llevarlos a un estado de control antes de poder predecir.

Sección 4.1 CONCLUSIONES

La hipótesis se comprueba, afirmando que en un proceso de soldadura de resistencia de proyección utilizado para soldar coples a tanques de agua, las pruebas de desprendimiento (destructivas) no ofrecen un grado aceptable de confianza, esto es que partes defectivas pueden ser compradas como partes aceptables, incurriendo en quejas de cliente y garantías, además que este método no se puede utilizar por ningún motivo para Control Estadístico de Proceso, tampoco que se pueda predecir y experimentar estadísticamente.

El muestreo que se lleva a cabo a cada determinado tiempo del proceso no garantiza que el producto sea aceptable en el lapso en el que no se tomaron las muestras, no garantizando así la calidad del producto final.

La utilización de las técnicas pudieron proporcionar las bases para poder comprobar la hipótesis y para sustentar la propuesta de un mejor método de medición para utilizarse durante producción y para poder realizar experimentación.

Una prueba destructiva de este tipo, es un buen indicador pero no es suficiente, por lo tanto, basado en datos sustentables, la propuesta es utilizar un método que pueda predecir la falla como lo es un Weld Scope o Weld Analyzer, que tenga la capacidad de poder medir en tiempo real las variables críticas como son 1)Corriente en secundario, 2)Voltaje en secundario, 3)Corriente en primario, 4)Presión y 5)Desplazamiento del colapso de la proyección de los coples.

El instrumento sugerido es de la marca Weldcomputer, el cual se analizó y cuenta con las herramientas adecuadas y la capacidad para coleccionar las lecturas y poder graficar. Tiene una función con la cual se pueden establecer limites y señalar a la maquina para parar o para impedir que se siga produciendo si alguna pieza no cumplió con los parámetros previamente establecidos.

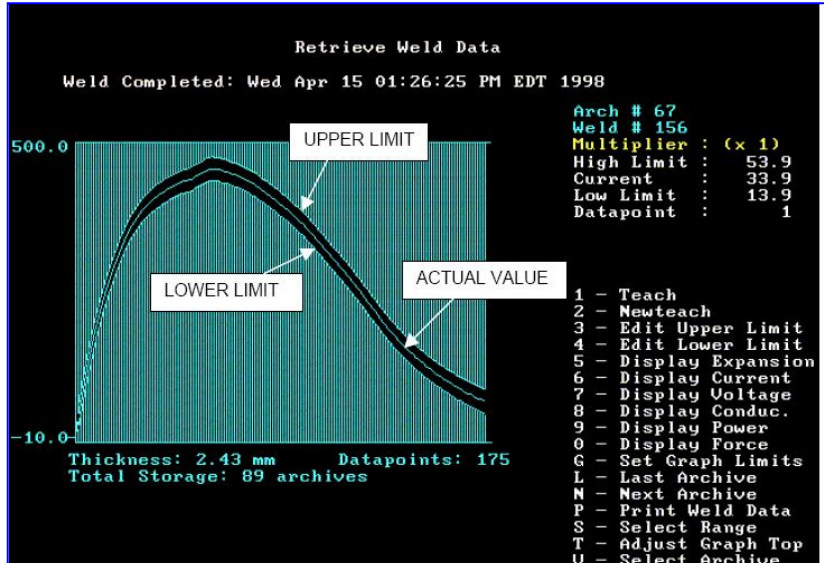


Fig. No. 28 Weld Scope y grafica disponible de Weld Computer.



El gasto estimado de cada una de las pruebas en el que actualmente se esta incurriendo es de \$0.42 Dlls por cada una, haciendo un total aproximado de \$4,500 Dlls por año por maquina.

DESCRIPCION	COSTO
Electricidad	\$ 0.004
Cople	\$ 0.26
Cupon	\$ 0.06
Mano de Obra	\$ 0.10
Total	\$ 0.42

Costo por prueba	Pruebas por hora	Horas por dia	Costo por Dia	Días por año	Costo Total Anual
\$ 0.42	3	15	\$ 18.90	240	\$ 4,536.00 Dolares

La inversión necesaria para herramentar una maquina con este sistema es de \$10,500 Dlls, inversión que se pagaría en 2.3 años y mas aun, tomando en cuenta que el método actual no es 100% confiable y que el costo de pobre calidad si un defecto llegara al cliente, esta se convierte en una propuesta viable.

Sección 4.2 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

- ✿ <http://www.spotweld.com>
- ✿ <http://www.spot-welding.com>

- ✿ <http://www.tjsnow.com>
- ✿ <http://www.cmwinc.com>
- ✿ <http://www.rwma.org>

- ✿ Design of Experiments Using the Taguchi Approach : 16 Steps to Product and Process Improvement
by [Ranjit K. Roy](#) 2001

- ✿ The Resistance Welding Manual
by [James F. Deffenbaugh](#) (Editor)
4th edition (November 1989)

- ✿ Procesos de Transferencia de Calor
Donald Q. Kern
CECSA 1999

- ✿ Ingeniería Eléctrica para todos los Ingenieros.
Roadstrum/Wolaver
Alfaomega 2000

- ✿ Manual para la elaboración de Tesis
Berenice Ibañez Brambila
Trillas 2000

- ✿ Design and Analysis of Experiments
Douglas C. Montgomery
5th Edition
Wiley

- ✿ The Lean Six Sigma Pocket Tool Book
Michael L. George/David Rowlands
Mc Graw Hill.

- ✿ El software utilizado para realizar los análisis estadísticos es Minitab Versión 14.



Fig. No. 29 Software Minitab versión 14 utilizada para los análisis estadísticos.

✱ Weld Scope o Monitor de soldadura marca Dengensha

Especificaciones

Model	WS-80
Power Source	AC 100V \pm 10%
Detector	Toroidal Coil
Detection Range Weld Current	0.5 ~ 5 kA 2 ~ 20 kA 10 ~ 100 kA
Detection Range Weld Time	1 ~ 99 cycle
Detection Range Conduction Angle	30° ~ 180°
Detection Accuracy Weld Current	\pm 2%
Detection Accuracy Weld Time	No error
Detection Accuracy Conduction Angle	3%
Display	Fluorescent graphic display

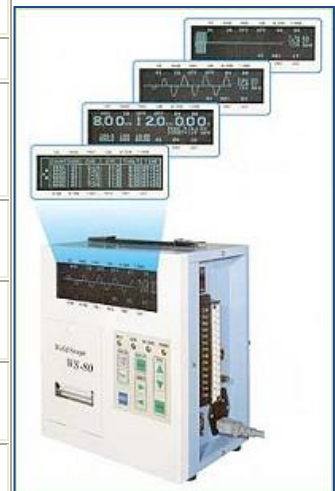


Fig. No. 30. – Especificaciones de Weld Scope Dengensha WS-80 utilizado en los estudios de Cpk de corriente en el secundario.

FACULTAD DE INGENIERIA

