

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA POR ULTRASONIDO EN SOLDADURAS
DE PUNTOS POR RESISTENCIA (RSW) EN ACEROS AL CARBONO PARA
PARTES MANUFACTURADAS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

POR

VICTOR HUGO LOPEZ CORTEZ

MONOGRAFÍA

**EN OPCION COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO, COAHUILA, 15 DE DICIEMBRE DE 2005

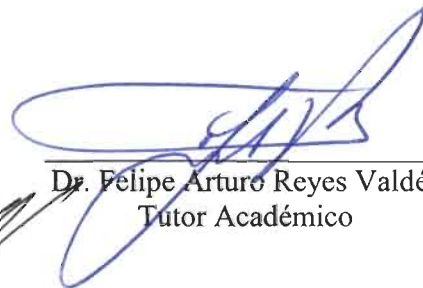
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.

Gerencia de Desarrollo del Factor Humano

División de Estudios de Postgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Monografía titulada Inspección No Destructiva por Ultrasonido en Soldaduras de Puntos por Resistencia (RSW) en Aceros al Carbono para Partes Manufacturadas en la Industria Automotriz, realizada por el alumno Victor Hugo López Cortez, matrícula xxxx-xxx sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

El Comité Tutorial



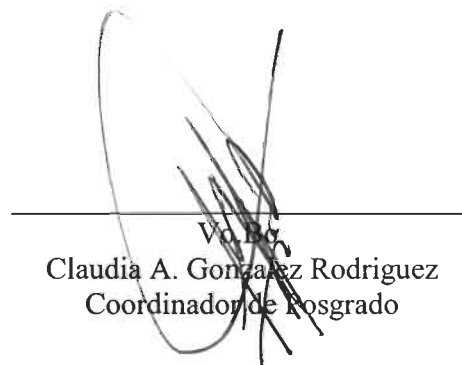
Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés
Tutor Académico



Ing. Héctor Omar Soto Carr
Tutor en Planta



M.C. Jorge Luis Arriaga Marín
Asesor Técnico



Claudia A. Gonzalez Rodriguez
Coordinador de Posgrado

1.- ANTECEDENTES

2.- JUSTIFICACION

3.- OBJETIVO

4.- SOLDADURA DE PUNTOS POR RESISTENCIA (RSW)

4.1 Definición

4.2 Fundamentos

4.3 Ciclo de Soldadura

4.4 Corriente de Soldadura

4.5 Tiempo de Soldadura

4.6 Fuerza de los Electrodo

4.7 Equipos

4.8 Aplicaciones

4.9 Ventaja y Limitaciones

5.- CONTROL DE CALIDAD EN SOLDADURA DE PUNTOS RSW

5.1 Calidad de la Soldadura

5.2 Métodos de Inspección

6.- INSPECCION CON ULTRASONIDO EN SOLDADURA DE PUNTOS RSW

6.1 Fundamentos de Ultrasonido

6.2 Equipo de Ultrasonido

6.3 Evaluación de Soldadura de Puntos

7.- DESARROLLO

7.1 Primera Etapa: Elaboración de planes de inspección

7.2 Segunda Etapa: Validación de la programación

8.- RESULTADOS

9.- DISCUSION DE RESULTADOS

10.- CONCLUSIONES

11.- OBSERVACIONES

12.- BIBLIOGRAFIA

1.- ANTECEDENTES

Durante la manufactura de automóviles en la industria automotriz, se utiliza como base en sus procesos de unión partes estampadas, las cuales son unidas principalmente por soldaduras de puntos por resistencia RSW (Resistance Spot Welding).

Una vez que las partes son unidas mediante soldadura, es necesario el verificar que estas uniones cumplan con los requerimientos de calidad establecidos por el cliente.

Uno de estos requerimientos, es verificar que el punto de soldadura cumpla con el diámetro mínimo especificado y las características de apariencia y fusión necesarias para obtener una unión de soldadura resistente.

Desde hace mucho tiempo el método de evaluación de los puntos de soldadura por resistencia es el método destructivo por desprendimiento (Tear Down) ya sea por el ensayo de desprendimiento con cincel y martillo ó el ensayo de desprendimiento por pelado en donde la pieza es sujeta por un extremo y mediante unas pinzas o un dispositivo mecánico se sujeta una de las dos laminas unidas enrollándola hasta desprenderse el punto de soldadura.

Durante la corrida inicial de producción es necesario tomar una muestra y realizar la inspección de las soldaduras de puntos para lo cual es necesario el destruirlas y obtener información del diámetro del punto de soldadura y características visuales de calidad de las partes unidas, con esta información se retroalimenta a el proceso y se toman medidas correctivas en caso de no cumplir con los requerimientos de calidad establecidos.

En caso de que los puntos de soldadura cumplan con el diámetro mínimo necesario y las características de calidad visuales sean las requeridas se libera el proceso y se inicia la producción normal de partes, tomando la siguiente muestra para inspección según lo determine el plan de control establecido.

Mediante este proceso de inspección destructivo de partes se obtiene el diámetro del punto de soldadura fusionado midiendo con un vernier el diámetro del punto desprendido de la parte ensayada. Sin embargo este es un proceso de inspección lento que depende en gran medida de la habilidad del operador para destruir la parte y de la forma del punto deformado durante el desprendimiento. Además de ser un proceso costoso en donde las piezas inspeccionadas no son recuperables y se eliminan como chatarra.

Una alternativa para mejorar los tiempos de respuesta, sensibilidad de la prueba y recuperación de las partes ensayadas como ahorro de costos, es el uso de métodos no destructivos alternativos como el ultrasonido para evaluar los puntos de soldadura.

2.- JUSTIFICACION

En la industria automotriz actualmente la inspección de soldaduras de puntos por resistencia (RSW) se basa en pruebas destructivas, mediante el desprendimiento de los puntos de soldadura y su posterior dimensionamiento, el cual hace este proceso de control de la calidad de las soldaduras impreciso, lento y costoso.

Una manera de reducir costos, aumentar la precisión de resultados, velocidad de respuesta en las inspecciones e incrementar la frecuencia de inspección sin aumentar el costo y tiempo de inspección, es mediante la implementación de técnicas de ensayos no destructivos como el ultrasonido.

El desarrollo de equipos, programas y sistemas diseñados para aplicaciones específicas como la inspección de soldaduras de puntos por ultrasonido ha permitido el tener una herramienta capaz para implementarse en los actuales sistemas de producción de soldadura de puntos en la industria automotriz.

Por tal motivo es importante explorar estas nuevas aplicaciones que nos permitan obtener información con respecto a la calidad de las soldaduras de puntos durante los procesos normales de producción y nos ayuden a comprender mejor la interacción de las diferentes variables que se involucran en el proceso de soldadura de puntos.

3.- OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es mostrar los fundamentos de la soldadura de puntos por resistencia (RWS) y de los métodos de control de calidad utilizados actualmente en la industria automotriz, así como la factibilidad de la implementación de técnicas no destructivas de inspección en soldaduras de puntos como el ultrasonido, en sustitución de las técnicas destructivas de inspección tradicionales como las pruebas de desprendimiento (Tear Down) utilizadas actualmente. Además de presentar los resultados obtenidos durante la implementación de esta técnica no destructiva en la fabricación de subensambles para el proyecto GMT-250/257.

4.- SOLDADURA DE PUNTOS POR RESISTENCIA (RSW).

4.1 Definición

La Soldadura de Puntos por resistencia eléctrica RSW, es un proceso de soldadura de resistencia en donde el calor es generado por la resistencia que opone la pieza de trabajo al paso de la corriente eléctrica, generando calor que produce la unión de los metales en la superficie de contacto. Aplicando una fuerza antes, durante y después de la aplicación de la corriente. Ver Fig. 4.1

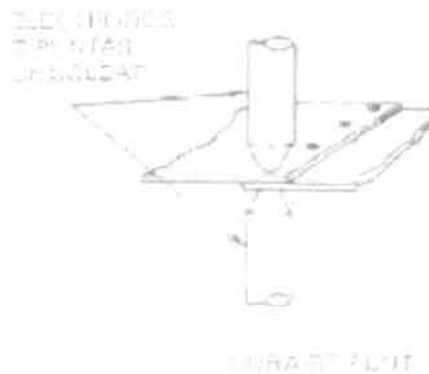


Fig. 4.1

4.2 Fundamentos

Las operaciones de soldadura de puntos utilizan la aplicación coordinada de corriente eléctrica y presión mecánica con las magnitudes y duraciones adecuadas.

4.2.1 Generación de Calor

En un conductor eléctrico, la cantidad de calor generado depende de los siguientes 3 factores:

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| 1.- Amperaje | I = Amperes |
| 2.- Resistencia del conductor | R = ohms |
| 3.- Duración de la corriente | T = segundos |

$$Q = I^2 RT$$

Una característica importante de la soldadura de resistencia es la rapidez con la que puede producirse el calor para la soldadura.

En una soldadura hay por lo menos 7 resistencias conectadas en serie que determinan la distribución de la temperatura. Ver Fig. 4.2

- a) 1 y 7 La resistencia eléctrica del material del electrodo
- b) 2 y 6 La resistencia de contacto entre el electrodo y el metal base
- c) 3 y 5 La resistencia total del metal base
- D) 4 La resistencia de las caras internas del metal base en el punto donde se forma la soldadura.



Fig. 4.2

Los factores que afectan la cantidad de calor generado en la unión por una corriente dada para una unidad de tiempo de soldadura son:

- 1.- Las resistencias eléctricas del metal soldado y los electrodos
- 2.- Las resistencias de contacto entre las piezas de trabajo y los Electrodo
- 3.- La perdida de calor hacia los electrodos y las piezas de trabajo

4.2.1.1 Efecto de la corriente en la soldadura.

En la formula $Q = I^2 RT$ la corriente tiene un efecto mayor sobre la generación de calor que la resistencia o que el tiempo.

Un aumento en el área de la cara de los electrodos, o del tamaño de las proyecciones reducirá la densidad de corriente y el calor de la soldadura.

El tamaño del punto de soldadura y su resistencia mecánica aumentan al incrementar la densidad de corriente, pero una densidad de corriente excesiva causara expulsión de metal fundido, agrietamiento y menor resistencia mecánica.

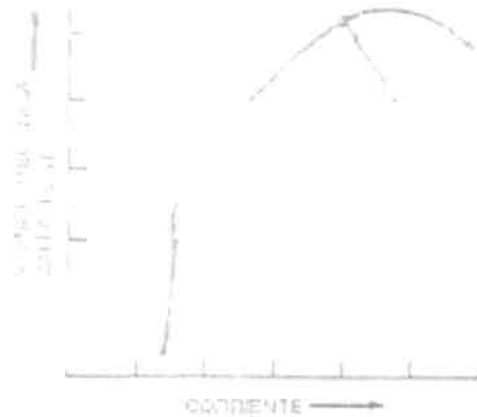


Fig. 4.3

4.2.1.2 Efecto del tiempo en la soldadura.

El calor total generado es proporcional al tiempo de soldadura. Un tiempo demasiado largo surtirá el mismo efecto sobre el metal base y los electrodos que un amperaje excesivo. Además la zona afectada por el calor se extenderá a mayor distancia en el metal base

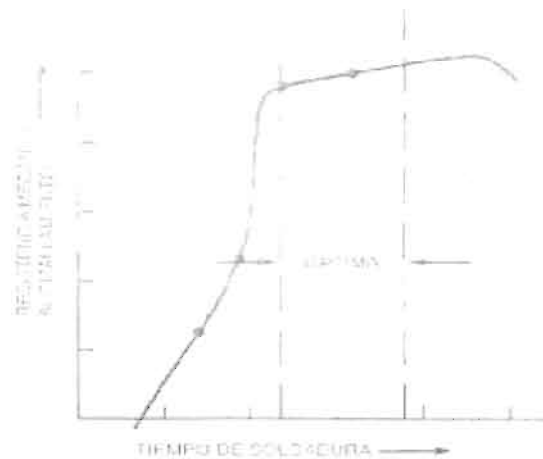


Fig. 4.4

El tiempo de soldadura y el amperaje pueden ser complementarios, el calor puede variarse ajustando el amperaje o el tiempo.

4.2.1.3 Efecto de la presión en la soldadura.

La resistencia R en la formula de calor cambia con la presión en la soldadura debido al efecto sobre la resistencia de contacto en la zona de las piezas de trabajo. La presión en la soldadura se produce por la fuerza que los electrodos ejercen sobre la unión.

Las superficies de las piezas a escala microscópica son picos y valles, con presiones bajas el contacto real ocurrirá solo en los picos, lo cual representa un porcentaje pequeño del área. La resistencia de contacto será alta. Al aumentar la presión los picos se aplastan y el área real de contacto aumenta, reduciendo la resistencia de contacto.

4.2.1.4 Influencia de los electrodos

El área de contacto de los electrodos controla la densidad de corriente y el tamaño de la soldadura resultante.

La deformación o aplastamiento de la cara de los electrodos incrementa el área de contacto y reduce la densidad de corriente y la presión en la soldadura. La calidad de la soldadura se deteriora al deformarse las puntas, por eso es necesario rectificar o reemplazar las puntas cada cierto tiempo.

4.2.1.5 Influencia de la condición de la superficie.

Influye en la generación de calor porque los óxidos, impurezas, aceites y otras sustancias en la superficie afectan la resistencia de contacto.

4.2.1.6 Influencia de la composición del metal

Determina su calor específico, temperatura de fusión, calor latente de fusión, conductividad térmica. Estas propiedades controlan la cantidad de calor requerida para fundir el metal y producir una soldadura

4.3 Ciclo de soldadura

El ciclo de soldadura consiste básicamente en 4 fases:

- 1.- Tiempo de compresión
- 2.- Tiempo de soldadura
- 3.- Tiempo de retención
- 4.- Tiempo inactivo

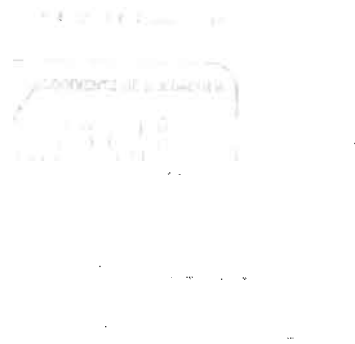


Fig. 4.5

Se pueden agregar una o más de las siguientes características a este ciclo básico para mejorar propiedades físicas y mecánicas de la zona de soldadura.

- 1.- Fuerza de precompresión para asentar los electrodos
- 2.- Pre calentamiento para reducir el gradiente térmico
- 3.- Fuerza de forjado
- 4.- Tiempos de enfriamiento y templado
- 5.- Pos calentamiento para refinar tamaño de grano
- 6.-Decaimiento de corriente para retardar el enfriamiento en aluminio

4.4 Corriente de Soldadura

Se utiliza tanto corriente alterna AC, como corriente continua CC para producir soldaduras de puntos de proyección y de costura.

4.5 Tiempo de Soldadura

Se controla mediante mecanismos electrónicos, mecánicos, manuales o neumáticos. Los tiempos normales van desde medio ciclo (1/120 s) para láminas muy delgadas hasta varios segundos para placas gruesas.

4.6 Fuerza de los Electroodos

Esta fuerza se produce con dispositivos hidráulicos, neumáticos, mecánicos o magnéticos.

4.7 Equipos

El equipo de soldadura de puntos, de costura y de proyección consiste de 3 elementos básicos:

4.7.1 Un Circuito Eléctrico

El circuito comprende un transformador de soldadura, un contactor primario y un circuito secundario que incluye los electrodos que conducen la corriente de soldadura.

Los electrodos para soldadura de resistencia tienen 4 funciones:

- 1.- Conducen la corriente de soldadura.
- 2.- Trasmiten una fuerza a la pieza de trabajo
- 3.- Disipan parte del calor a la zona de soldadura
- 4.- Mantienen la alineación

En el mercado hay electrodos de diversas aleaciones de cobre, cuanto más dura sea la aleación, menores serán sus conductividades eléctrica y térmica.

4.7.2 Equipos de control

Los equipos tienen una o más de las siguientes funciones principales:

- A.- Iniciar e interrumpir el suministro de corriente al transformador de Soldadura
- B.- Controlar la magnitud de la corriente
- C.- Accionar y liberar los mecanismos de fuerza de los electrodos

4.7.3 Sistemas Mecánicos

En la operación mecánica de las máquinas de soldadura de puntos los electrodos se acercan a la pieza a intervalos y con velocidades controladas.

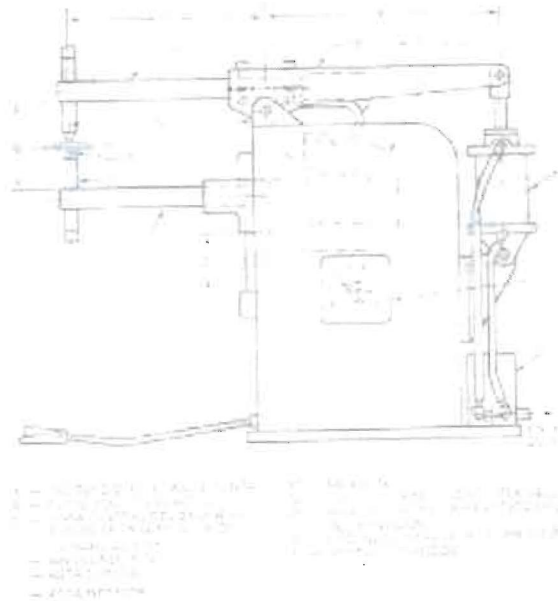


Fig. 4.6

4.8 Aplicaciones

La soldadura de resistencia de puntos (*Resistance Spot Welding RSW*) se usa para fabricar ensambles en lámina de 3.2 mm (1/8") de espesor en uniones de traslape. En ocasiones se utiliza para unir placas de 6.25 mm (1/4") de espesor.

Se Prefiere utilizar este proceso en lugar de la sujeción mecánica como remaches o tornillos. Resulta mucho más rápida y económica.

La soldadura de puntos se utiliza mucho para unir láminas de acero para automóviles, gabinetes, muebles etc.

4.9 Ventajas y Limitaciones

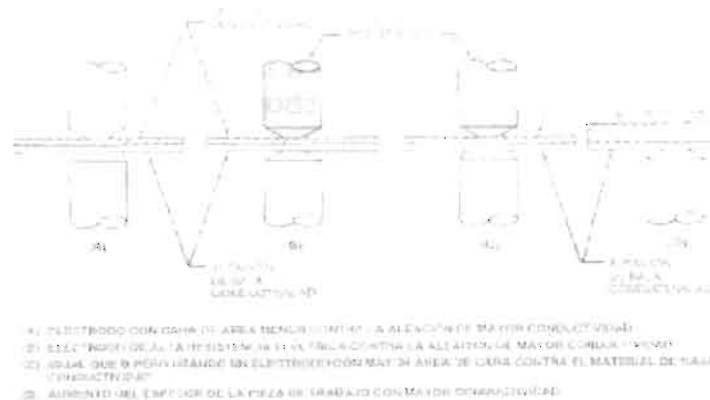
Sus principales ventajas son rapidez y adaptabilidad para la automatización en la producción de alto volumen de ensamble en lámina. La soldadura de puntos también resulta económica porque es más rápida que la soldadura de arco o fuerte y requiere menos capacitación.

El proceso tiene las siguientes limitaciones:

- 1.- El desembalado para mantenimiento o reparación es difícil
- 2.- Las uniones de traslape añaden peso y costo de materiales al producto
- 3.- El equipo es costoso
- 4.- Requerimientos de potencia de corta duración y alta corriente.
- 5.- Baja resistencia mecánica a la tensión y a la fatiga

4.10 Balance calorífico

Surgen problemas con el balance calorífico cuando se efectúan uniones de metales de diferentes espesores, conductividades eléctricas o combinaciones de ambos. Se pueden ajustar las configuraciones y composiciones de los electrodos para compensar el calentamiento desigual.



4.11 Diseño de las Uniones

En todos los casos las uniones de soldadura de puntos son de traslape. Los factores que deben considerarse al diseñar soldaduras de puntos son:

- 1.- Distancia al borde
- 2.- Traslape de la unión
- 3.- Embonamiento
- 4.- Espaciado de la soldadura
- 5.- Accesibilidad de la unión
- 6.- Marcado de la superficie
- 7.- Resistencia mecánica de la soldadura

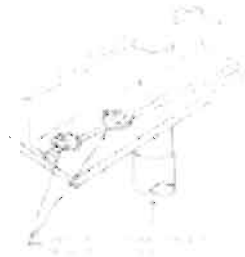


Fig. 4.8

4.12 Mantenimiento de los electrodos

Un aumento anormal en el tamaño de las caras de los electrodos que hacen contacto con las piezas perjudica la resistencia mecánica y la calidad.

Un signo de peligro es la producción de puntos deformes que pueden deberse a lo siguiente:

- 1.- Caras de los electrodos no circulares
- 2.- Caras planas demasiado grandes en los electrodos
- 3.- Caras de electrodos cóncavas o convexas
- 4.- Desalineamiento de los electrodos

4.13 Programas de soldadura

Al prepararse para soldar un metal a un diseño de unión dado hay que establecer un programa que produzca con las especificaciones de diseño requeridas.

Pueden realizarse muestras de prueba modificando una variable del proceso a la vez dentro de un intervalo para establecer un valor aceptable para esa variable. La inspección visual y las pruebas destructivas sirven para seleccionar un programa de soldadura apropiado.

Es recomendable soldar y realizar pruebas destructivas de las primeras piezas de producción antes de liberar el proceso.

Es posible que el fabricante del equipo proporcione programas de soldadura recomendados, otros pueden encontrarse en las siguientes publicaciones

AWS C1.1, AWS C1.3, AWS D8. AWS D8.7, Resistance Welding Manual Metal Handbook Vol. 6

Tabla 17.1
Programas sugeridos para soldar por puntos láminas de acero de bajo carbono sin recubrimiento

Espesor pulg	Diám. corto pulg	Electrodo		Fuerza lb	Tiempo de laboratoria (20 Hz, ciclos)	Corriente de soldadura (aprox.) A	Tiempo de contacto mínimo, pulg	Españamiento por el punto		Resist. de corte máxima, lb	Diam. pepito, pulg
		Forma *	Ángulo de bisel, grados**					ota de 1, pulg	ota de 2, pulg		
0.020	0.18	E	0	50	4	1700					
0.024	0.18	E	0	50	4	1800					
0.028	0.18	E	0	50	4	1900					
0.031	0.250	E, A, B	15	100	3	11000	0.10	0.10	0	100	0.10
0.034	0.25	E, A, B	30	200	4	12000	0.10	0.10	0	100	0.10
0.045	0.25	E, A, B	30	300	5	13000	0.10	0.10	0	100	0.10
0.052	0.312	E, A, B	30	400	12	13000	0.08	0.08	0.10	1000	0.20
0.055	0.312	E, A, B	30	500	13	14000	0.07	0.08	0.10	1000	0.20
0.060	0.312	E, A, B	30	700	14	15000	0.07	0.08	0.10	1000	0.20
0.070	0.312	E, A, B	30	200	16	16000	0.06	0.08	0.10	2000	0.25
0.080	0.312	E, A, B	30	400	18	17000	0.05	0.08	0.10	2700	0.26
0.090	0.375	E, A, B	30	500	20	18000	0.05	0.08	0.10	3450	0.27
0.105	0.375	E, A, B	30	700	23	19500	0.04	0.08	0.10	4150	0.29
0.120	0.375	E, A, B	30	900	25	21000	0.04	0.08	0.10	5000	0.30

*Definiciones de letras: E = Electrodo
A = Punto de nariz •A•
B = Radio de 2 pulg

**Se aplican sólo los electrodos de tipo E y se mide desde el punto de contacto del electrodo.

Notas:

1. Para espesores intermedios se fijaron interpolación vertical y el tiempo de soldadura.
2. El espesado de soldaduras muestra soldado de la ecuación a (mils/0.001).
3. Los máximos de esta tabla fueron calculados con un Q con la 425 LB y representarán un punto de partida para el ajuste de la máquina en la industria automática.

Tabla 4.1

5.- CONTROL DE CALIDAD

5.1 Calidad de la Soldadura

La calidad de la soldadura depende primordialmente de la aplicación. En general la calidad de las soldaduras de resistencia por puntos se determina con base en lo siguiente:

5.1.1 Aspecto

Debe presentar un aspecto terso, redondeado, y libre de fusión en la superficie, depósitos de electrodo, hoyos, grietas y marcado excesivo de los electrodos. Ver La siguiente Tabla.

Condiciones succionables indeseables para soldaduras de puntos		
Tipo	Causa	Efecto
1. Aspecto de la soldadura con defectos de fusión en la superficie.	<p>El electrodo está demasiado sucio, con exceso de aceite, grasa, polvo, óxido, etc., que impide la fusión normal de los electrodos y la resistencia de la soldadura.</p> <p>El electrodo está demasiado sucio, con exceso de aceite, grasa, polvo, óxido, etc., que impide la fusión normal de los electrodos y la resistencia de la soldadura.</p>	<p>En el momento de aplicar la fuerza de compresión, el electrodo se desmenuza y se desmenuza el metal de los electrodos, produciendo una soldadura de mala calidad, con defectos de fusión en la superficie.</p>
2. Aspecto de la soldadura con defectos de fusión en la superficie.	<p>El electrodo está demasiado sucio, con exceso de aceite, grasa, polvo, óxido, etc., que impide la fusión normal de los electrodos y la resistencia de la soldadura.</p> <p>El electrodo está demasiado sucio, con exceso de aceite, grasa, polvo, óxido, etc., que impide la fusión normal de los electrodos y la resistencia de la soldadura.</p>	<p>En el momento de aplicar la fuerza de compresión, el electrodo se desmenuza y se desmenuza el metal de los electrodos, produciendo una soldadura de mala calidad, con defectos de fusión en la superficie.</p>
3. Aspecto de la soldadura con defectos de fusión en la superficie.	<p>El electrodo está demasiado sucio, con exceso de aceite, grasa, polvo, óxido, etc., que impide la fusión normal de los electrodos y la resistencia de la soldadura.</p> <p>El electrodo está demasiado sucio, con exceso de aceite, grasa, polvo, óxido, etc., que impide la fusión normal de los electrodos y la resistencia de la soldadura.</p>	<p>En el momento de aplicar la fuerza de compresión, el electrodo se desmenuza y se desmenuza el metal de los electrodos, produciendo una soldadura de mala calidad, con defectos de fusión en la superficie.</p>
4. Despilado del electrodo sobre el metal (con tiempo excesivo de uso de la superficie).	<p>Materiales inadecuados en el tipo de electrodos, de electrodos o corriente de soldadura y el tiempo de mantenimiento incorrecto de la fuerza de contacto del electrodo, velocidad de movimiento del electrodo y velocidad de avance de la fuerza de compresión.</p>	<p>El electrodo se desmenuza y se desmenuza el metal de los electrodos, produciendo una soldadura de mala calidad, con defectos de fusión en la superficie.</p>
5. Cavitaciones profundas o agujeros.	<p>Falta de la fuerza de electrodos antes de que las soldaduras se hayan solidificado.</p> <p>Exposición excesiva de los electrodos a la expansión masiva de metal fundido, para las soldaduras que requieren casi toda la fuerza de electrodos para poner en contacto los electrodos de compresión.</p>	<p>Reducción de la resistencia a la tensión de la soldadura por el exceso de expansión de los electrodos y la expansión de metal fundido, para las soldaduras que requieren casi toda la fuerza de electrodos para poner en contacto los electrodos de compresión.</p>

Tabla 5.1

5.1.2 Tamaño

El diámetro o ancho de la zona fundida debe satisfacer los requisitos de la especificación o criterio de diseño. Ver tabla siguiente.

Valores típicos de tamaño (diámetro) de pepita mínimo requerido para laminas de diversos espesores

Espesor nominal de lamina mas delgada		Tamaño de pepita		Espesor nominal de lamina mas delgada		Tamaño de pepita	
in/pulg	mm	in/pulg	mm	in/pulg	mm	in/pulg	mm
0.03	(0.03)	0.03	(0.25)	0.03	(0.03)	0.160	(3.81)
0.04	(0.05)	0.04	(0.30)	0.04	(0.04)	0.160	(3.81)
0.05	(0.06)	0.05	(0.35)	0.04	(0.04)	0.170	(4.32)
0.06	(0.07)	0.06	(0.40)	0.05	(0.05)	0.180	(4.57)
0.07	(0.08)	0.07	(0.45)	0.06	(0.06)	0.190	(4.82)
0.08	(0.09)	0.08	(0.50)	0.06	(0.06)	0.200	(5.08)
0.09	(0.10)	0.09	(0.55)	0.07	(0.07)	0.210	(5.33)
0.10	(0.11)	0.10	(0.60)	0.07	(0.07)	0.220	(5.58)
0.12	(0.13)	0.12	(0.70)	0.08	(0.08)	0.230	(5.83)
0.14	(0.15)	0.14	(0.80)	0.09	(0.09)	0.240	(6.08)
0.16	(0.17)	0.16	(0.90)	0.10	(0.10)	0.250	(6.35)
0.18	(0.19)	0.18	(1.00)	0.11	(0.11)	0.260	(6.60)
0.20	(0.20)	0.20	(1.10)	0.12	(0.12)	0.280	(7.11)
0.22	(0.22)	0.22	(1.20)	0.13	(0.13)	0.300	(7.62)
0.24	(0.24)	0.24	(1.30)	0.14	(0.14)	0.320	(8.13)
0.26	(0.26)	0.26	(1.40)	0.15	(0.15)	0.340	(8.64)
0.28	(0.28)	0.28	(1.50)	0.16	(0.16)	0.360	(9.15)
0.30	(0.30)	0.30	(1.60)	0.17	(0.17)	0.380	(9.66)

Tabla 5.2

Cuando no existen requerimientos establecidos se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

- 1.- Las soldaduras de puntos deberán tener un diámetro mínimo de 3.5 a 4 veces el espesor de la pieza más delgada a unir.

5.1.3 Penetración

La penetración es la profundidad hasta la que se extiende el punto de soldadura en las piezas que se están soldando. En general la penetración mínima aceptable es del 20% del espesor de la pieza más delgada.

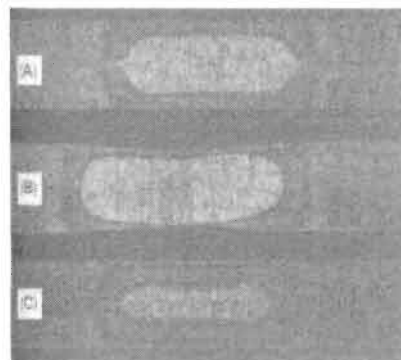


Fig. 5.1

5.1.4 Resistencia Mecánica

Las estructuras unidas por soldadura de puntos por lo regular se diseñan de modo que las soldaduras soporten cargas a corte cuando se someten a cargas de tensión o compresión.

5.1.5 Discontinuidades internas

Estas pueden ser grietas, porosidad o metal esponjoso, cavidades grandes y, en algunos metales recubiertos inclusiones metálicas. En general estas discontinuidades no menoscaban la resistencia estática o a la fatiga de una soldadura si están situadas en la porción central del punto de soldadura.

5.2 Métodos de Inspección

Los métodos de inspección utilizados durante la evaluación de la calidad de la soldaduras de puntos por resistencia eléctrica en la industria automotriz pueden ser tanto destructivos como no destructivos y su principal característica es la de verificar la presencia del diámetro mínimo de punto requerido por la especificación aplicable, así como la evidencia de fusión entre las láminas unidas.

5.2.1 Inspección destructiva

La inspección destructiva por desprendimiento (Tear Down) consiste principalmente en tomar un cupón o ensamble soldado y separar las láminas hasta desprender el punto de soldadura para lo cual se pueden utilizar las siguientes técnicas.

5.2.1.1 Ensayo de Pelado (Peel test)

Este ensayo consiste en sujetar mediante algún dispositivo mecánico una de las láminas unidas por el punto de soldadura y mediante la sujeción con pinzas o algún otro dispositivo mecánico de la otra lámina unida separar las láminas desprendiendo el punto de soldadura que las une.

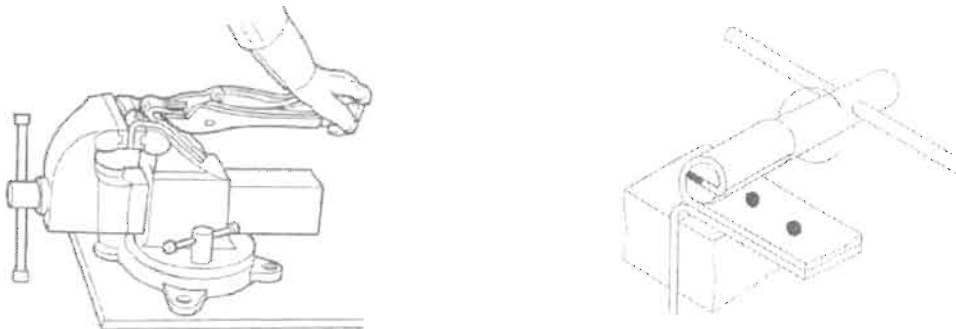


Fig. 5.2

El objetivo es determinar el diámetro del punto de soldadura y la evidencia de fusión en las láminas soldadas, esto se verifica midiendo con un vernier el punto de soldadura que queda unido en una de las láminas y visualmente evidenciado la fusión del punto de soldadura remanente en la lámina.

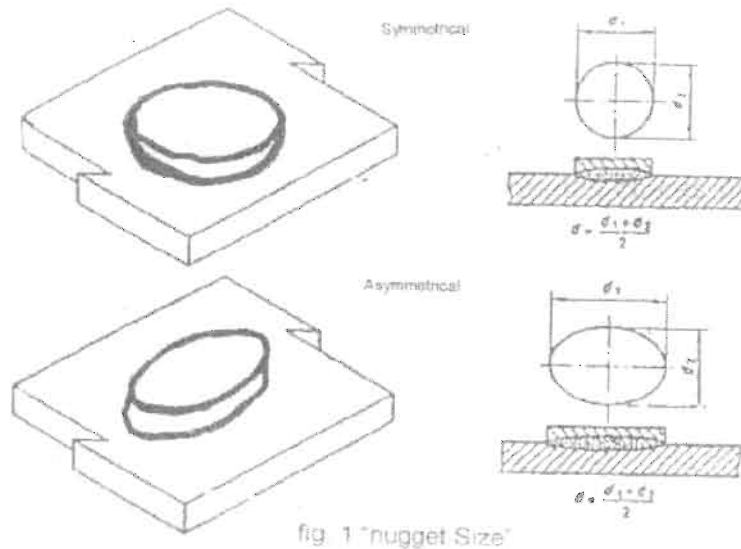


Fig. 5.3

5.2.1.2 Ensayo de Cincel y Martillo destructivo (Hammer and Chisel Testing)

El ensayo de cincel y martillo, es el más frecuentemente utilizado para inspeccionar partes unidas por soldadura de puntos. En este método de evaluación de la calidad de las soldaduras, se coloca un cincel entre dos puntos de soldadura y mediante un golpe de un martillo manual o neumático tratar de introducir el cincel entre las dos láminas para separarlas y desprender el punto de soldadura de estas hasta lograr que una de las láminas se separe y permita medir el diámetro del punto de soldadura y verificar visualmente la fusión de las láminas unidas por este.

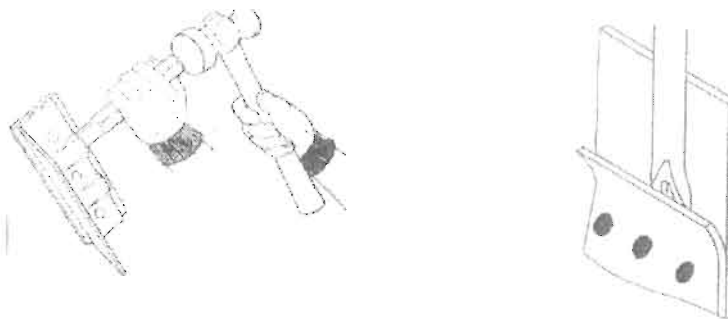


Fig. 5.4

5.2.2 Inspección No Destructiva

La inspección no destructiva consiste principalmente en evitar la destrucción de las partes a ensayar y que los puntos de soldadura presenten las características de fusión y resistencia necesarias.

5.2.2.1 Inspección visual

Este tipo de inspección no destructiva consiste principalmente en verificar visualmente las características de calidad de los puntos de soldadura establecidos en la especificación correspondiente las cuales principalmente son las siguientes:

- Cantidad correcta
- Posición y espaciamento
- Puntos orillados
- Agujeros
- Indentaciones
- Distorsión
- Apariencia superficial
- Grietas

5.2.2.2 Ensayo de Cincel No destructivo (Pry Testing)

Cuando el ensayo de cincel se utiliza como ensayo no destructivo el cincel se coloca junto al punto de soldadura y es golpeado con el martillo para tratar de separar las láminas si la soldadura permanece sin desprenderse y solamente las láminas se deforman, se considera como un punto de soldadura bueno. En caso de que los puntos de soldadura no presenten la fusión adecuada se desprenderán indicando la presencia de un punto de soldadura malo.

Posteriormente las láminas son regresadas a su posición original mediante enderezado con el mismo martillo golpeándolas.

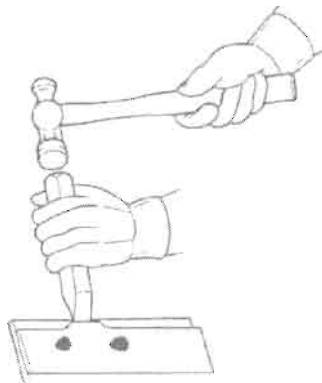


Fig. 5.5

5.2.2.3 Ultrasonido

El ensayo no destructivo por medio de ultrasonido, utiliza un equipo que es capaz de generar ondas ultrasónicas que son vibraciones sonoras a mayores frecuencias de las que detecta el oído humano estas se transmiten a través de algunos materiales como el acero o algún medio acuoso como el agua o el aceite entre otros , una característica del ultrasonido es que no se transmite a través del aire y esto permite que el equipo detecte cualquier hueco o discontinuidad interna en el punto de soldadura que contenga aire como por ejemplo:

- Puntos de soldadura fríos
- Huecos o poros internos
- Puntos quemados
- Cualquier falta de continuidad dentro de las láminas y puntos de soldadura.

El equipo muestra a través de una pantalla en una grafica los resultados del análisis en donde mediante algoritmos internos de un programa preestablecido se realiza una comparación de graficas con patrones predeterminados de puntos de soldadura buenos y malos de acuerdo a un criterio preestablecido realizando una evaluación automática del punto de soldadura.



Fig. 5.6

6.- INSPECCION CON ULTRASONIDO EN SOLDADURA DE PUNTOS

6.1 Fundamentos de ultrasonido

6.1.1 Introducción

El origen de la inspección ultrasónica se remonta al conocido ensayo de percusión de la muestra con un martillo y la percepción del sonido emitido. Por muchos años fue práctica común observar al empleado de ferrocarril golpeando las ruedas de los vagones con un pequeño martillo, con el fin de encontrar discontinuidades en las mismas.

Con estos antecedentes en 1924 el investigador ruso Sokolov detecto la presencia de discontinuidades midiendo la caída de la intensidad acústica de un material.

En 1930 fue reconocido el uso de la energía ultrasónica en ensayos no destructivos. Investigadores rusos y alemanes desarrollaron el método de inspección ultrasónica con la cual se pueden detectar discontinuidades.

En 1940 el R Floyd A. Firestone desarrollo el primer detector de discontinuidades del tipo Pulso-eco, el cual requiere el acceso por un solo lado.

Los avances en instrumentación tecnología electrónica y digital además del desarrollo de la computación y software especializados han proporcionado los elementos necesarios para hacer posible el desarrollo de la inspección con ultrasonido de soldadura de puntos (RSW).

A continuación se muestra un equipo de ultrasonido en donde se representa la inspección de un ensamble unido con soldadura de puntos por medio de ultrasonido. Los elementos esenciales en el equipo son los siguientes:

- 1.- Equipo ultrasonido
- 2.- Transductor
- 3.- Material a inspeccionar



Fig. 6.1

Los dos primeros elementos constituyen los medios de inspección, mientras que el tercero es el objeto de examen.

El equipo de ultrasonido genera pulsos eléctricos muy breves en microsegundos con una diferencia potencial que va de 100 a 1000 volts y con una frecuencia de repetición comprendida entre 125 y 5000 pulsos por segundo.

Los pulsos eléctricos generados por el equipo son aplicados al transductor, el cual por medio de un cristal piezoeléctrico los transforma en vibraciones mecánicas de duración muy breve y frecuencias del orden de 0.5 a 25 MHz. Estas vibraciones mecánicas (pulsos de ondas ultrasónicas) son transmitidas a la pieza a examinar, donde se propagan y reflejan en la superficie opuesta o en una discontinuidad si esta se encuentra en su trayectoria. Los pulsos reflejados son captados por el transductor y por el efecto piezoeléctrico directo, transformados en pulsos eléctricos de la misma frecuencia; los cuales son analizados y registrados en el equipo.

Sobre la pantalla se visualiza en tiempo real, el pulso inicial, el pulso de reflexión de la pared posterior (primer eco de fondo) y las posibles reflexiones o ecos de discontinuidades, las cuales aparecen entre el pulso inicial y el primer eco de fondo en un punto de la pantalla geoméricamente equivalente al de la localización de la discontinuidad con respecto a la superficie de entrada y la posterior o de fondo.

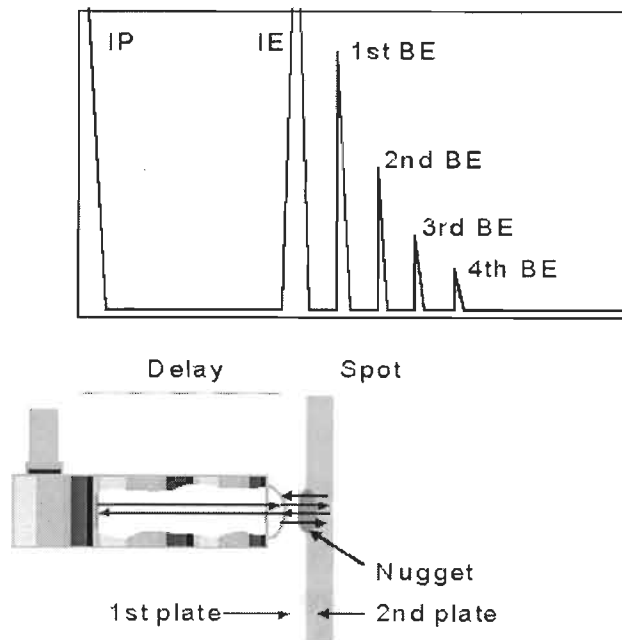


Fig. 6.2

6.1.2 Definición de conceptos técnicos generales

6.1.2.1 Ensayos no destructivos

Son técnicas de inspección que se utilizan para verificar la sanidad interna y externa de los materiales, sin destruirlos, alterar o afectar en forma permanente sus propiedades físicas, química y mecánicas.

6.1.2.2 Ultrasonido

Son vibraciones mecánicas que se transmiten en un medio con una frecuencia mayor al rango audible.

6.1.2.3 espectros de ondas acústicas

El espectro de ondas acústicas es la serie resultante del análisis de las ondas de sonido expresadas en términos de frecuencias. Fig 6.3 en dicho espectro de frecuencias se observan las tres regiones o zonas:

- Infrasonica: comprendida entre el rango de frecuencias de 1 a 16 Hz
- Sonica: Zona audible comprendida entre el rango de 16 a 20 KHz
- Ultrasónica: es la zona del espectro comprendida entre las frecuencias mayores a 20 KHz, el límite superior de sus frecuencias no está definido físicamente.



Fig. 6.3

Las frecuencias utilizadas en ensayos no destructivos para el control de las discontinuidades en los materiales comienzan en la proximidad de la zona audible y se extiende hasta los 25 MHz. En el caso de los materiales metálicos la frecuencias utilizadas varían entre 0.2 MHz y 25 MHz. Para el caso de la inspección de soldadura de puntos por resistencia eléctrica se utilizan transductores de 20 MHz.

6.1.2.4 Vibración ultrasónica

Es el movimiento oscilatorio de las partículas componentes de un medio en el que se propaga una onda ultrasónica.

6.1.2.5 Propagación de las ondas ultrasónicas

En un material sólido, las partículas que lo componen se mantienen en posición mediante fuerzas elásticas Fig. 6.4 si el material es sometido a vibraciones, estas pasan a través del sólido como una sucesión de desplazamientos de partículas, es decir las fuerzas elásticas transmiten las oscilaciones a las partículas más cercanas, las cuales a su vez, transmiten el movimiento vibratorio a otras que estén próximas, y así sucesivamente.

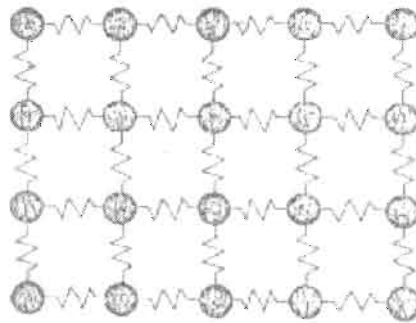


Fig. 6.4

Las vibraciones ultrasónicas siguen una trayectoria sinusoidal Fig. 6.6 cuyo avance es común de una onda transversal simple.

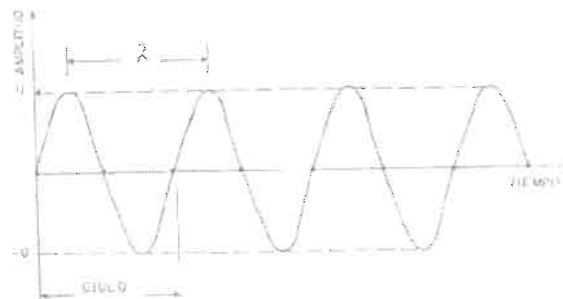


Fig. 6.5

6.1.2.6 Onda

Es una perturbación física transmitida desde un punto del espacio a otro.

6.1.2.7 Ciclo

Desde el punto de vista del movimiento oscilatorio de una partícula, ciclo es un movimiento hacia atrás y otro hacia adelante, es decir es una onda completa.

6.1.2.8 Período

Es el tiempo cubierto por cada uno de los ciclos.

6.1.2.9 Fase

Es la distancia de un punto de la onda en la dirección horizontal, a partir del origen cero y se expresa en función del periodo "T"

6.1.2.10 Frecuencia

Es el número de ciclos completos que ocurre en un tiempo dado. Se expresa en ciclos / segundo.

$$1 \frac{\text{Ciclos}}{\text{Segundos}} = 1 \text{ Hertz (Hz)}$$

6.1.2.11 Longitud de onda (λ)

Es la distancia que existe de un punto en una onda a ese mismo punto de la siguiente onda. Su valor normalmente se expresa en milímetros.

6.1.2.12 Velocidad acústica (V)

Es la rapidez con que viaja el sonido a través de un medio y es igual al producto de la frecuencia por la longitud de onda.

$$V = F \times \lambda$$

El sonido no se limita a materiales sólidos, también se transmite en otros medios, como son el aire, agua, aceite, grasa, pero a diferentes velocidades. El aire no es un buen transmisor del ultrasonido por lo que se requiere utilizar un medio de acoplamiento (acoplante) que puede ser grasa o aceite, entre el transductor y la muestra.

6.1.2.13 Acoplante

Líquido más o menos viscoso, que se utiliza para permitir el paso de las ondas del transductor a la pieza bajo examinación, ya que las frecuencias que se utilizan en la examinación de materiales metálicos, no se transmiten en el aire.

6.1.2.14 Amplitud

Máximo desplazamiento de una partícula desde la posición de reposo, corresponde al intervalo U-(U). de la figura 6.5. En la inspección por ultrasonido

es el porcentaje de altura, desde la línea de tiempo base, ocasionado por la cantidad de energía reflejada desde una interface o una discontinuidad.

6.1.2.15 Interface acústica

Limite entre dos materiales con diferente impedancia acústica.

6.1.2.16 Reflexión

Cantidad de energía ultrasónica, que es reflejada al incidir en una interface acústica.

6.1.2.17 Reflector

Es cualquier superficie reflectante dentro de un medio.

6.1.2.18 Refracción

La refracción se lleva a cabo cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro, siendo la velocidad diferente y cambiando de dirección en relación con la dirección de incidencia.

El cambio de dirección de la onda refractada, acercándose o alejándose de la normal a la superficie de separación de ambos medios, depende de que la velocidad del sonido en el segundo medio sea mayor que el primer medio.

6.1.2.19 Difracción

Es una desviación de la energía del haz ultrasónico después de pasar una discontinuidad.

Cuando una onda sonora en su movimiento de avance, rebasa un obstáculo, no se encuentra detrás de este una zona definida de reposo, el frente de onda cambia de dirección y penetra en una región de la que normalmente, podía esperarse no resultara perturbada como se muestra en la fig. 6.6

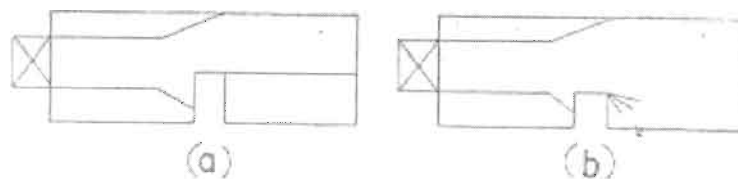


Fig. 6.6

6.1.2.20 Dispersión

Son las desviaciones que sufre el haz ultrasónico al pasar a través de un medio. La dispersión es debido a que los materiales no son estrictamente homogéneos desde el punto de vista ultrasónico. Esto es consecuencia de la presencia de pequeñas discontinuidades que actúan como focos dispersantes de las ondas; así como la naturaleza policristalina de los materiales, los granos actúan como focos de dispersión por la distinta impedancia acústica que presentan según su orientación o anisotropía elástica.

6.1.2.21 Indicación.

Es una manifestación visual obtenida mediante la aplicación de un ensayo no destructivo.

6.1.2.22 discontinuidad

Es un termino general aplicado a cualquier interrupción en la estructura física normal o configuración de una parte, como por ejemplo poros, grietas, rechupes, laminaciones, inclusiones, traslapes, etc.

6.1.2.23 defecto

Es una discontinuidad que por su tamaño, forma o ubicación no es aceptable por la forma aplicable a la inspección.

6.1.3 Generación y recepción de las ondas ultrasónicas

La generación de ondas ultrasónicas pueden realizarse por diversos medios o fenómenos físicos. Los principales son la piezoelectricidad, la electroestricción la magnetostricción.

6.1.3.1 Estructura de los sólidos

Los sólidos están constituidos por un gran número de átomos, que están fuertemente ligados entre ellos.

Los átomos pueden ser idénticos, como por ejemplo Cu ó Al puros; o pertenecer a especies diferentes como el cristal Cuarzo, que esta constituido por átomos de Si y de O.

En el caso de un monocristal o cristal simple, el arreglo de los átomos es continuo en toda su masa, y un policristal es un conjunto de pequeños cristales en toda su masa, orientados en todas direcciones como se ilustra en la Fig. 6.7

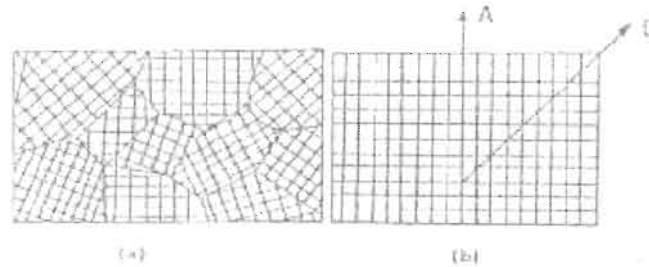


Figura 1.6 a) Orientación de un policristal.
b) Orientación de un monocristal.

Fig. 6.7

6.1.3.2 Piezoelectricidad

Es un fenómeno descubierto en 1880 por los hermanos P y J Curie quienes demostraron que algunos materiales como el cuarzo, al ser sometido a una presión mecánica externa, producen cargas eléctricas sobre su superficie, o bien cuando una corriente eléctrica se aplica al material, este vibrará, se expandirá y se contraerá.

La piezoelectricidad es un fenómeno reversible en donde a un cristal cuando se le aplica una presión mecánica se producen cargas eléctricas sobre sus caras (efecto piezoeléctrico directo) y cuando una corriente eléctrica es aplicada a un cristal, este vibrará (efecto piezoeléctrico invertido).

Dentro de los materiales piezoeléctricos más importantes utilizados en transductores ultrasónicos, se tienen: el cuarzo, cerámicas polarizadas y sulfato de litio.

6.1.4 Modos o Tipos de ondas

Los desplazamientos que experimentan las partículas de un medio en el que se propaga una onda ultrasónica pueden ser de varias formas, lo que da lugar a diferentes tipos de ondas.

Desde el punto de vista de los ensayos no destructivos los tipos de ondas más interesantes son:

6.1.4.1 Onda longitudinal o de compresión (haz recto)

Este tipo de onda se caracteriza porque los desplazamientos de las partículas son de dirección paralela a la propagación. las ondas longitudinales crean zonas

de compresión y de dilatación (rarefacción) separadas entre si $\frac{1}{2} \lambda$, en el cuerpo en el que se propagan fig. 6.8

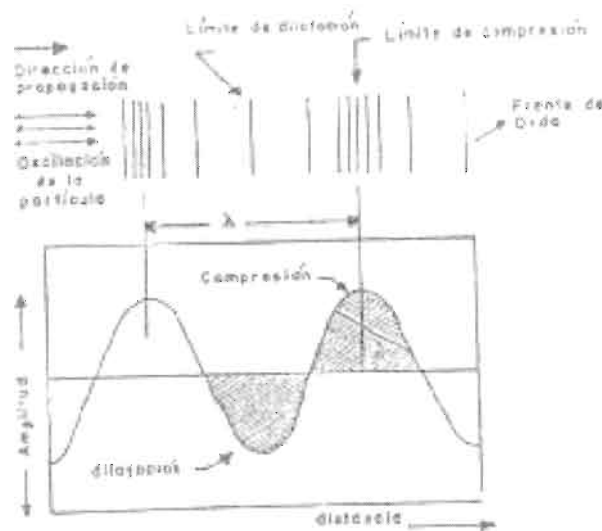


Fig. 6.8

Estas ondas pueden propagarse a través de sólidos, líquidos y gases, siendo la forma más rápida de viajar de una onda ultrasónica. Prácticamente todos los transductores emiten ondas longitudinales a partir de las cuales ya sea por el ángulo de incidencia diferente al normal o bien por la geometría del material a inspección, se generan otros tipos de onda (conversión de modo).

6.1.4.2 Onda transversal o de corte (haz Angular)

Una onda es llamada de modo transversal, cuando la dirección de propagación es perpendicular a la dirección de vibración de las partículas como se muestra en la Fig. 6.9

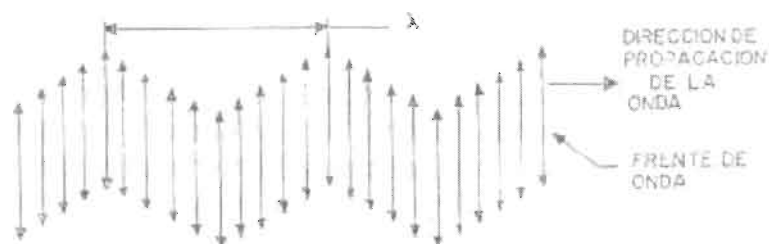


Fig. 6.9

Para la propagación de ondas transversales, es necesario que en cada partícula exhiba una gran fuerza de atracción a su vecina para que cuando una partícula se mueva hacia atrás y hacia adelante esta haga oscilar a las demás. La excitación de las partículas se produce aplicando una fuerza cortante periódica. en los cuerpos sólidos , tal fuerza cortante se trasmite a las partículas de los planos adyacentes , dando lugar a oscilaciones transversales , retardadas según su distancia a el plano de excitación.

6.1.4.3 Onda de superficie o de Rayleigh

La onda de superficie o de Rayleigh se propaga solamente en la periferia plana o curva de un sólido fig. 6.10

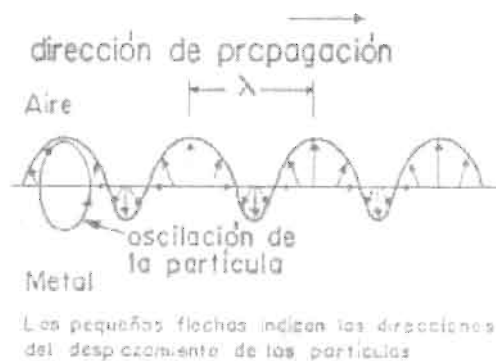


Fig. 6.10

Este tipo de onda se puede propagar a través de radios, siempre y cuando esto sea mayor a 2 ó 3 veces la longitud de onda que este empleando.

Este tipo de onda es muy sensible y se atenúa grandemente cuando existe un segundo medio en su trayectoria como puede ser un líquido o un sólido en contacto con la superficie por la cual, en la práctica, se emplean para detectar discontinuidades en superficies poco rugosas.

6.1.5 Conversión de modo

La conversión de modo se lleva a efecto cuando una onda ultrasónica choca con la interface entre dos materiales que tengan una impedancia acústica diferente la dirección del haz viaja en una forma diferente a la incidencia normal y parte de la energía del haz se convierte en otros modos de vibración. Este efecto puede generarse por geometría del material divergencia del haz y por incidencia angular.

6.2 EQUIPO DE ULTRASONIDO.

El equipo de ultrasonido utilizado en el presente trabajo consta de los siguientes componentes:

6.2.1 Computadora Portátil

Los equipos actuales de ultrasonido aprovechan las ventajas que proporciona el uso de computadoras en donde se puede utilizar programas específicamente diseñados para evaluar soldaduras de puntos por resistencia eléctrica.

Marca: Dell
Modelo: Laptop
Características: Procesador Celeron 2.5 MHz
Ram 500 Mb
Disco Duro 100 Gb



Fig. 6.11

6.2.2 Ultrasonido

Anteriormente los equipos de ultrasonido eran del tipo analógicos en donde el equipo consistía de un aparato electrónico con una pantalla de rayos catódicos donde se mostraba los ecos del ultrasonido.

Actualmente la tecnología electrónica ha avanzado tanto que han pasado de aparatos analógicos a digitales y recientemente a instrumentos digitales con base en PC.

Marca: Krautkramer
 Modelo: USLT-2000
 Características: Base laptop

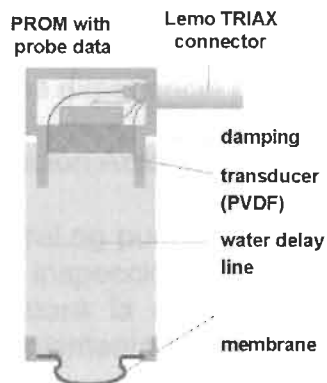
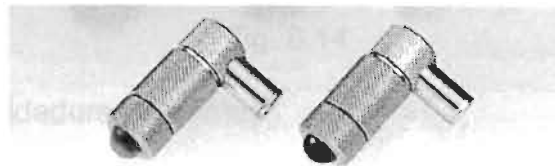


Fig. 6.12

6.2.3 Transductor

Para la inspección de soldadura de puntos con ultrasonido se utilizan transductores con columna de agua especialmente diseñados para esta aplicación.

Marca: Krautkramer
 Modelo: G20MN
 Características: 20 MHz 3.6 mm, 4.0 mm Diam



Identification	
Entries	Characteristics
Type	Straight beam
Serial No.	502
Probe name	G20MN3 6X
ID No.	67808
Frequency [MHz]	20.00
Del. Velocity [m/s]	0.0000
Manuf. Date	03/10/99
Crystal side A [mm]	0.00
Crystal side B [mm]	0.00
Crystal Diameter [mm]	3.60
Quadrant corr. [dB]	
Correction Factor	0.00
Angle [°]	0.00

Fig. 6.13

6.2.4 Software

Con el desarrollo de software específico para la evaluación de soldadura de puntos, se pueden desarrollar planes de inspección específicos para cada parte en donde el sistema realiza la evaluación automáticamente basando en la comparación de patrones de comportamiento de puntos de soldadura buenos y malos anteriormente evaluados y almacenados en el sistema.

Marca: Krautkramer
Modelo: UltraLog
Características: Sistema de evaluación automática



Fig. 6.14

6.3 Evaluación de soldadura de puntos

6.3.1 Tipos de evaluación

6.3.1.1 Evaluación Manual

Un operador capacitado y con experiencia puede hacer la evaluación basado en su conocimiento de los patrones de los ecos y criterios de aceptación. Se requiere mucha experiencia por parte del operador.

6.3.1.2 Evaluación Automática

El sistema UltraLog puede ser operado en modo automático, donde el patrón de ecos de una inspección de puntos de soldadura es capturado y el software UltraLog evaluará la condición de la soldadura en base a los criterios de aceptación implementados por la planta para cada componente.

6.3.2 Soldadura de puntos Aceptable "OK"

- Buena fusión con un área del punto igual o mayor que el diámetro mínimo aceptable especificado para esas láminas la superficie de soldado esta suave.
- Señal limpia, ecos de pared espaciados mostrando un espesor igual a la suma de las láminas soldadas (o menor debido a la indentación) sin ecos intermedios (de una falla) por arriba de la línea roja del umbral (threshold)
- El número de ecos de pared puede variar de acuerdo al material, tipo de recubrimiento y espesor
- Sin embargo deberá haber suficiente atenuación de ecos, de los ecos de pared (perdida de falla) debido a la estructura del nugget.

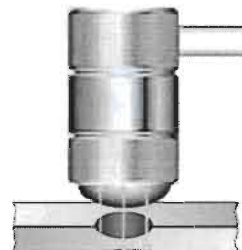
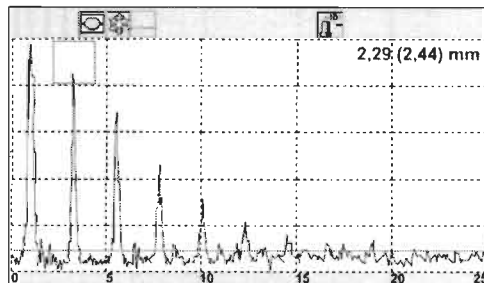
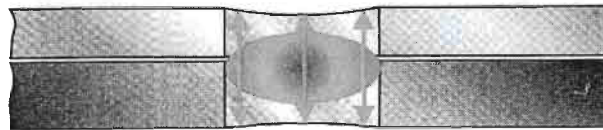
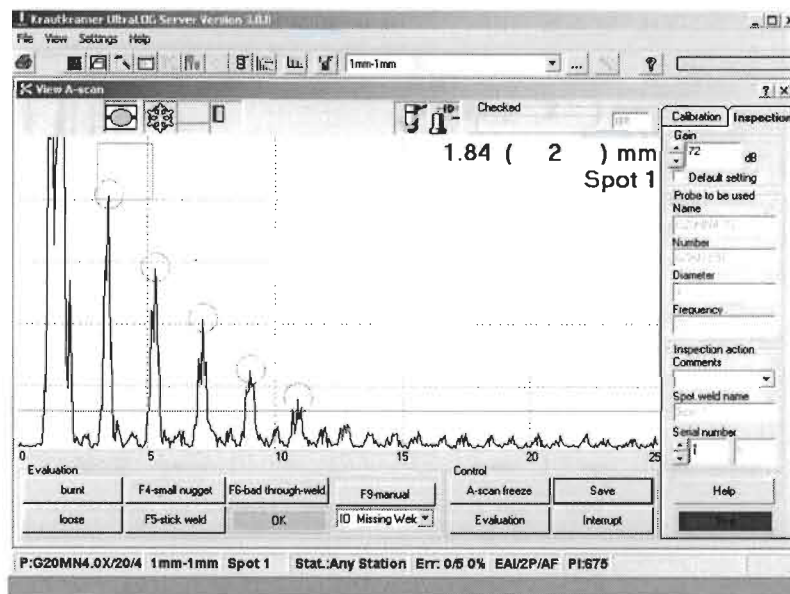


Fig. 6.15

6.3.3 Falta de Soldadura

- No hay fusión entre las láminas sin punto de soldadura.
- Señal limpia, ecos múltiples de alta amplitud en la pantalla con el espesor de la lamina superior únicamente.
- Muy poca atenuación de ecos (muchos ecos en pantalla)
- Típicamente sin ecos intermedios

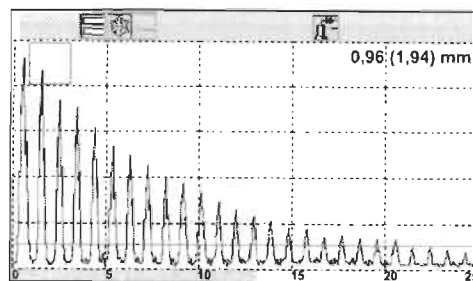
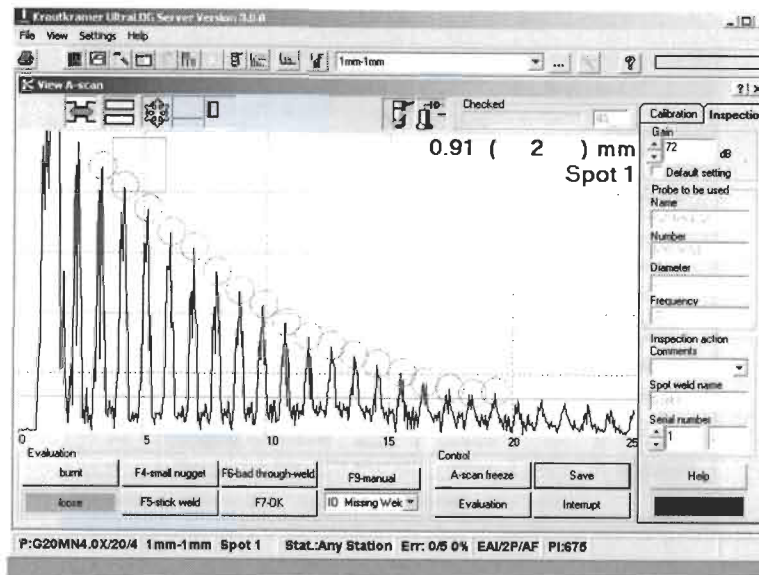


Fig. 6.16

6.3.4 Punto pequeño

- El área de fusión es menor que el mínimo especificado por el número de láminas.
- Adicional al patrón de ecos de una soldadura completa, habrá una segunda secuencia de ecos intermedios. Al menos uno de ellos excederá la línea roja del umbral (threshold).
- Estos ecos aparecen entre los ecos de pared. El ritmo de atenuación será distinto para los dos patrones de ecos.

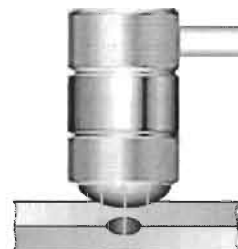
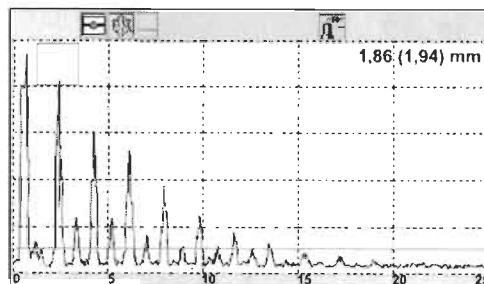
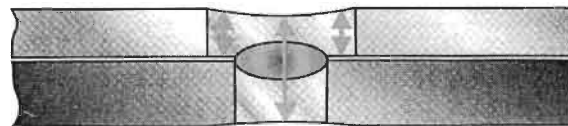
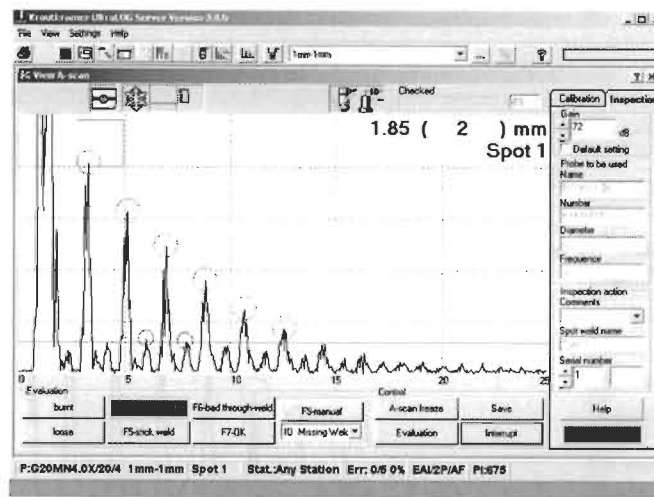


Fig. 6.17

5.3.5 Soldadura Fría (stick weld)

- El área de fusión es mínima entre las láminas con muy poca penetración. esto resulta en un nugget pequeño o en el caso de láminas galvanizadas o recubiertas donde únicamente están fusionada las capas del recubrimiento de galvanizado.
- Adicional al patrón de ecos de una soldadura completa, habrá una segunda secuencia de ecos intermedios
- Estos ecos aparecen entre los ecos de pared. El ritmo de atenuación será distinto para los dos patrones de ecos debido a la diferencia de impedancia acústica del material de recubrimiento galvanizado.

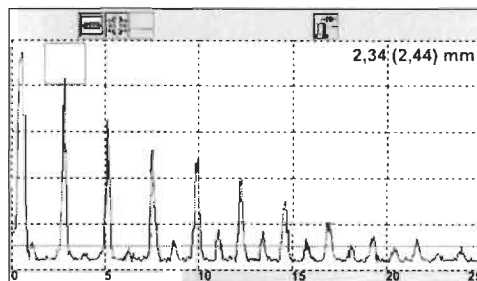
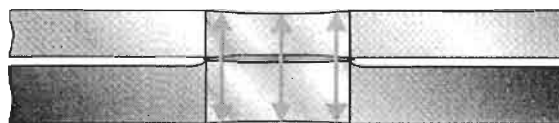
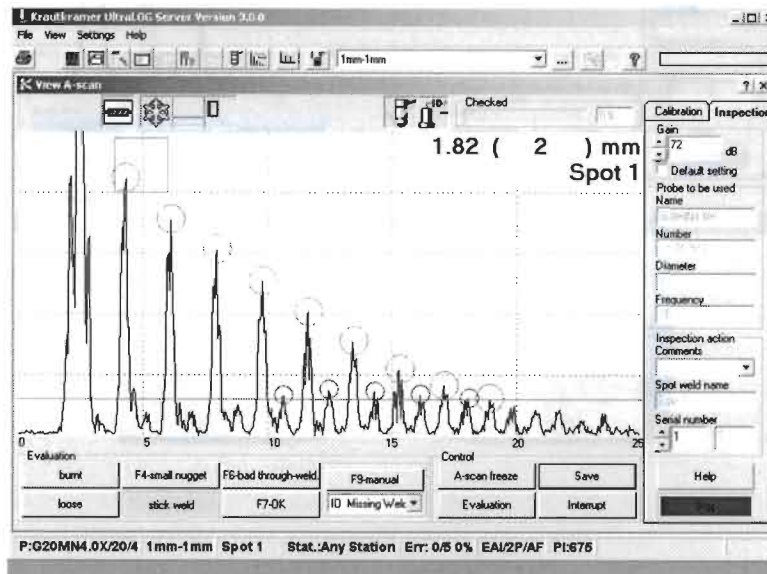


Fig. 6.18

5.3.6 Soldadura Quemada (burn Weld)

- La estructura de grano grueso de un nugget sobrecalentado causa una secuencia de ecos muy cortos debido a una extrema atenuación.

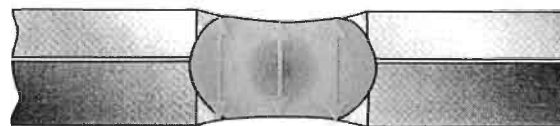
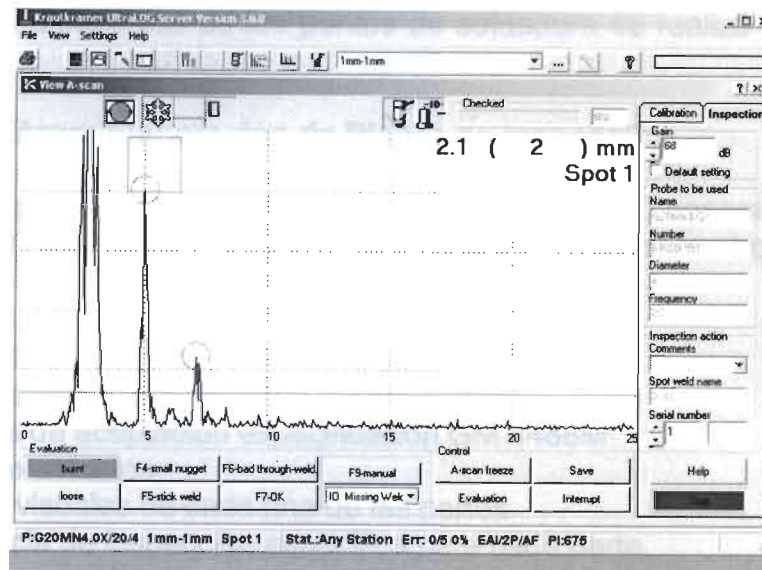


Fig. 6.19

7.0 DESARROLLO

Para el desarrollo del presente trabajo se tomaron subensambles que se producen normalmente para el proyecto GMT-250/257, los cuales consisten en partes estampadas unidas mediante el proceso de soldadura de puntos.

La inspección ultrasónica de los puntos de soldadura se realizó en dos etapas principales:

7.1 Primera Etapa: Elaboración de Planes de Inspección

Se realizó un programa específico para cada uno de los 30 ensambles de los proyectos GMT-250 / 257 de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Espesores.
- Cantidad de placas y el orden de ensamblado
- Requerimientos específicos del cliente como:
 - a) Criterios de aceptación especificación GM 4488M
 - b) Tipos de defectos,
 - c) Ayudas visuales de cada una de las partes
 - d) Secuencia de inspección específica para cada parte.

La elaboración de los planes de inspección consiste en programar el equipo con las variables características de cada parte como el tipo de material, espesor cantidad de puntos etc.

7.2 Segunda Etapa: Validación de la Programación

Durante 30 días hábiles se muestrearon ensambles en forma aleatoria para realizar en ellos inspección con ultrasonido.



Fig. 7.1

Posteriormente se realizaron pruebas destructivas de desprendimiento; con cincel y martillo de los ensambles inspeccionados con ultrasonido, con el fin de correlacionar los resultados de ambas pruebas y conocer la eficiencia y correlación de la prueba ultrasónica contra la prueba destructiva.



Fig. 7.2

Durante el desarrollo de las pruebas fue necesario realizar ajustes en los parámetros de prueba del instrumento manteniendo una correlación entre los resultados de ultrasonido y las pruebas destructivas con el propósito de afinar los parámetros de evaluación y obtener mejores resultados.

Conjuntamente se realizaron análisis Metalográficos en los defectos más representativos encontrados con ultrasonido para detectar posibles defectos internos.

8.- RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Cantidad de ensambles inspeccionados:	56
Cantidad total de puntos de soldadura Evaluados:	1651

Prueba Destructiva Cincel y Martillo

• Puntos Evaluados Aceptados	1392
• Puntos Evaluados Rechazados	259

Prueba No Destructiva ultrasonido

• Puntos Evaluados Aceptados	1379
• Puntos Evaluados Rechazados	272

Para obtener la correlación entre la inspección destructiva de cincel y martillo que es considerada como la prueba válida actualmente, contra la inspección no destructiva de Ultrasonido se utilizó la siguiente fórmula:

Puntos Evaluados Aceptables

$$\% \text{ Correlación} = \frac{\text{Puntos Evaluados Aceptados Prueba No destructiva}}{\text{Puntos Evaluados Aceptados Prueba destructiva}} \times 100$$

$$\% \text{ Correlación} = \frac{1379}{1392} \times 100$$

$$\% \text{ Correlación} = 99.06$$

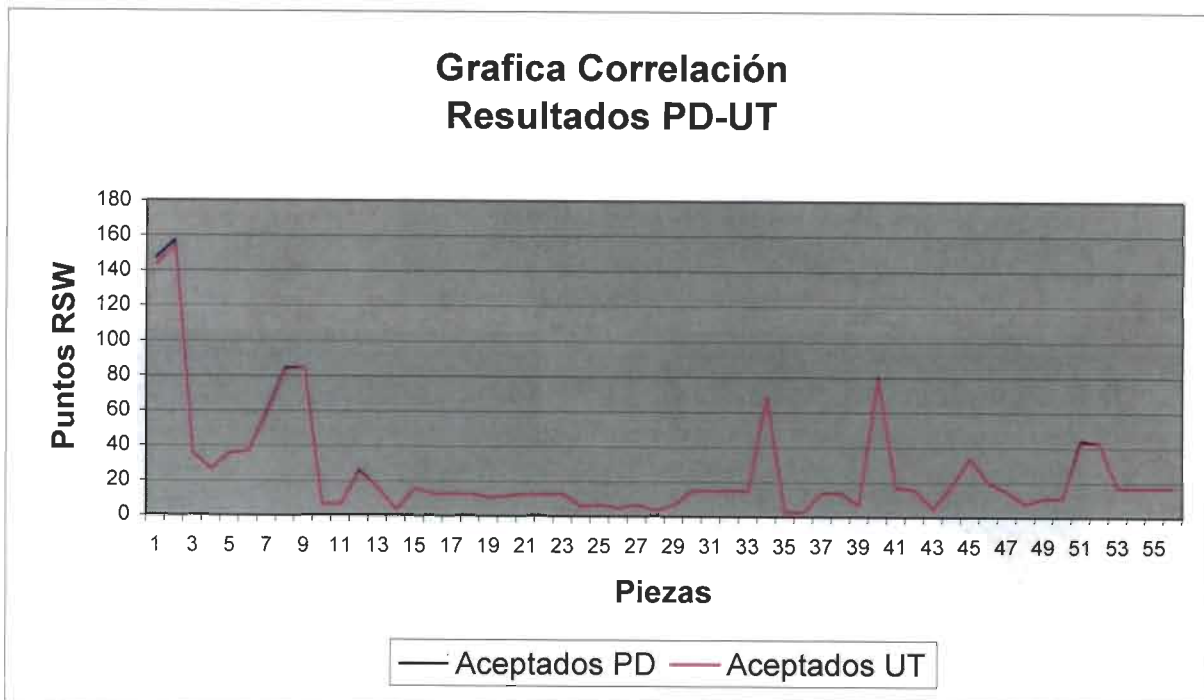
En la tabla 8.1 y graficas 1 y 2 se muestran en detalle los resultados obtenidos y la correlación existente entre los resultados de las pruebas obtenidas mediante pruebas destructivas y ultrasonido

Nota : Durante la prueba de correlación resultó una diferencia de 13 puntos evaluados como defectuosos por medio de la inspección con ultrasonido, que no fueron detectados en la prueba destructiva, al realizar un análisis más a detalle por medio de metalografía se detectaron defectos internos en los puntos de soldadura tales como faltas de fusión, poros ó huecos internos al centro del punto que no son detectables mediante los métodos destructivos convencionales como el desprendimiento del punto de soldadura con cincel y martillo. Ver Fig. 8.1, 8.2 ,8.3 ,8.4.

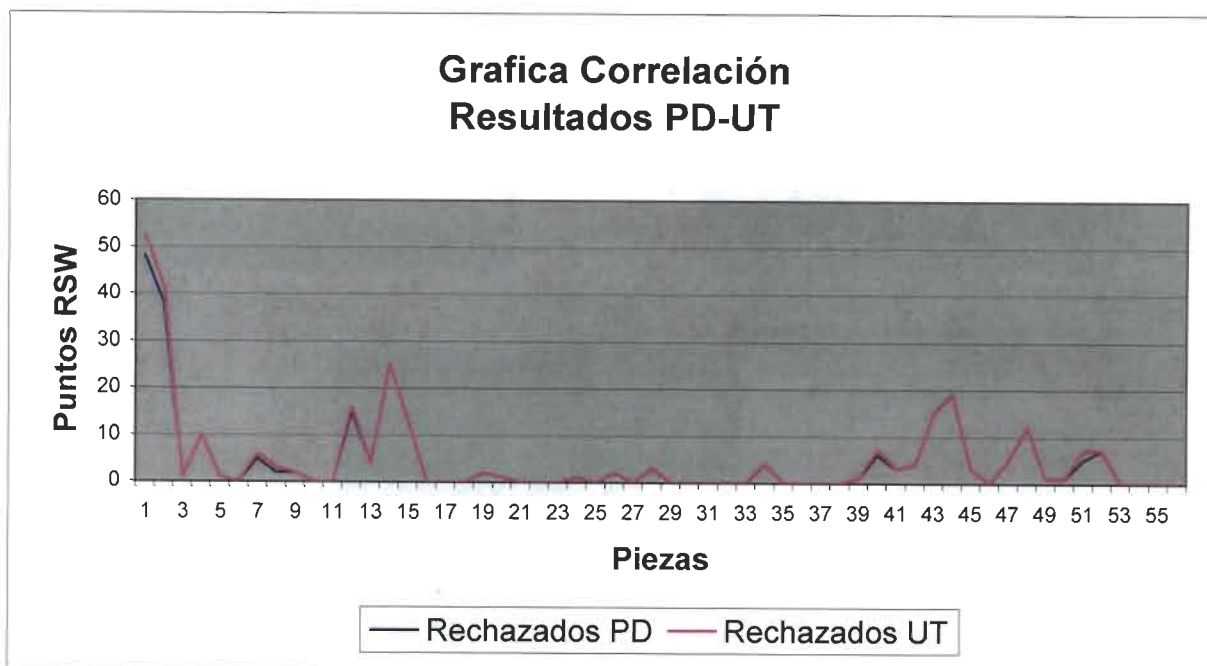
Esto debido a que durante el desprendimiento el defecto interno del punto de soldadura es deformado y debido a su tamaño microscópico es difícilmente apreciado visualmente sin algún tipo de magnificación y solamente se concreta el ensayo a verificar el diámetro del punto de soldadura y el desprendimiento del área fusionada.

TABLA 8.1

No.	Ensamble	Cantidad	Puntos de soldadura	Prueba Destructiva Cinzel y Martillo		Prueba Ultrasonido		Correlacion %
				Aceptados	Rechazados	Aceptados	Rechazados	
1	25001	1	195	147	48	143	52	97.28
		1	195	157	38	154	41	98.09
2	25003	1	36	35	1	35	1	100.00
		1	36	26	10	26	10	100.00
3	25004	1	36	35	1	35	1	100.00
		1	36	36	0	36	0	100.00
4	25005	1	64	59	5	58	6	98.31
5	25007	1	86	84	2	83	3	98.81
		1	86	84	2	84	2	100.00
6	25009	1	6	6	0	6	0	100.00
		1	6	6	0	6	0	100.00
7	25013	1	41	26	15	25	16	96.15
8	25015	1	19	15	4	15	4	100.00
9	25027	1	28	3	25	3	25	100.00
10	25028	1	28	15	13	15	13	100.00
11	25029	1	12	12	0	12	0	100.00
		1	12	12	0	12	0	100.00
		1	12	12	0	12	0	100.00
		1	12	10	2	10	2	100.00
		1	12	11	1	11	1	100.00
12	25030	1	12	12	0	12	0	100.00
		1	12	12	0	12	0	100.00
		1	12	12	0	12	0	100.00
13	25031	1	6	5	1	5	1	100.00
14	25032	1	6	6	0	6	0	100.00
		1	6	4	2	4	2	100.00
15	25033	1	6	6	0	6	0	100.00
16	25034	1	6	3	3	3	3	100.00
		1	6	6	0	6	0	100.00
17	25035	1	14	14	0	14	0	100.00
		1	14	14	0	14	0	100.00
18	25036	1	14	14	0	14	0	100.00
		1	14	14	0	14	0	100.00
19	25038	1	72	68	4	68	4	100.00
20	25040	1	2	2	0	2	0	100.00
		1	2	2	0	2	0	100.00
21	25041	1	13	13	0	13	0	100.00
		1	13	13	0	13	0	100.00
22	25042	1	7	6	1	6	1	100.00
23	35008	1	86	80	6	79	7	98.75
24	35016	1	19	16	3	16	3	100.00
		1	19	15	4	15	4	100.00
		1	19	4	15	4	15	100.00
25	35017	1	36	17	19	17	19	100.00
		1	36	33	3	33	3	100.00
26	35054	1	19	19	0	19	0	100.00
		1	19	14	5	14	5	100.00
		1	19	7	12	7	12	100.00
27	35055	1	11	10	1	10	1	100.00
		1	11	10	1	10	1	100.00
28	35056	1	49	44	5	42	7	95.45
		1	49	42	7	42	7	100.00
29	35058	1	16	16	0	16	0	100.00
		1	16	16	0	16	0	100.00
		1	16	16	0	16	0	100.00
30	35059	1	16	16	0	16	0	100.00
Total		56	1651	1392	259	1379	272	99.06



Grafica 1: Correlación de resultados de prueba aceptados obtenidos entre Pruebas Destructivas (PD) y Ultrasonido (UT)



Grafica 2: Correlación de resultados de prueba rechazados obtenidos entre Pruebas Destructivas (PD) y Ultrasonido (UT)

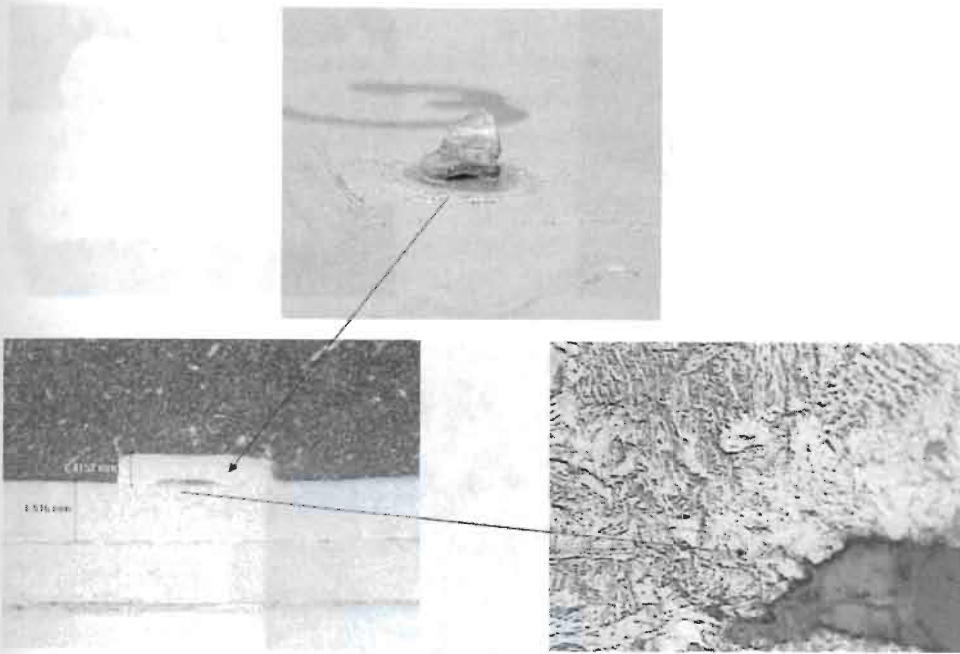


Fig. 8.1 Cavity

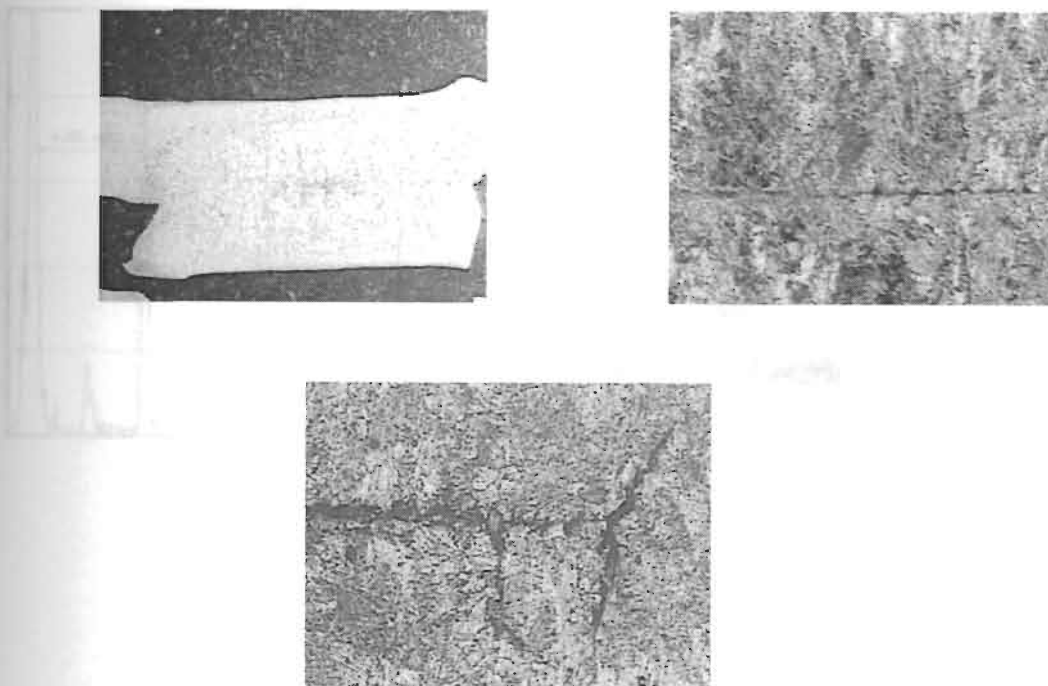


Fig. 8.2 Falta de fusión

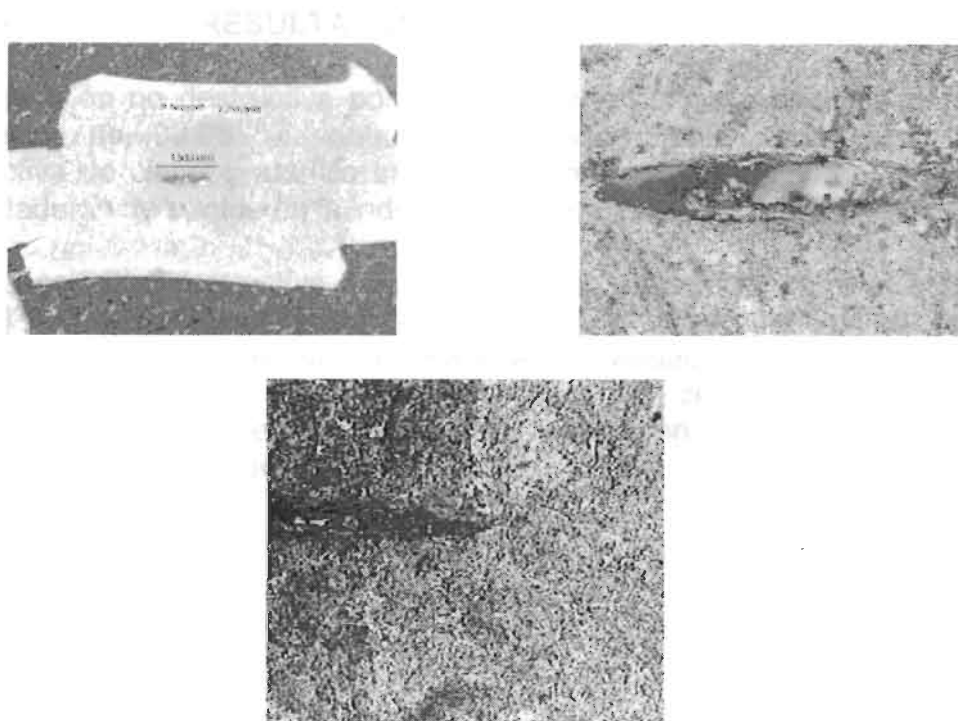


Fig. 8.3 Porosidad

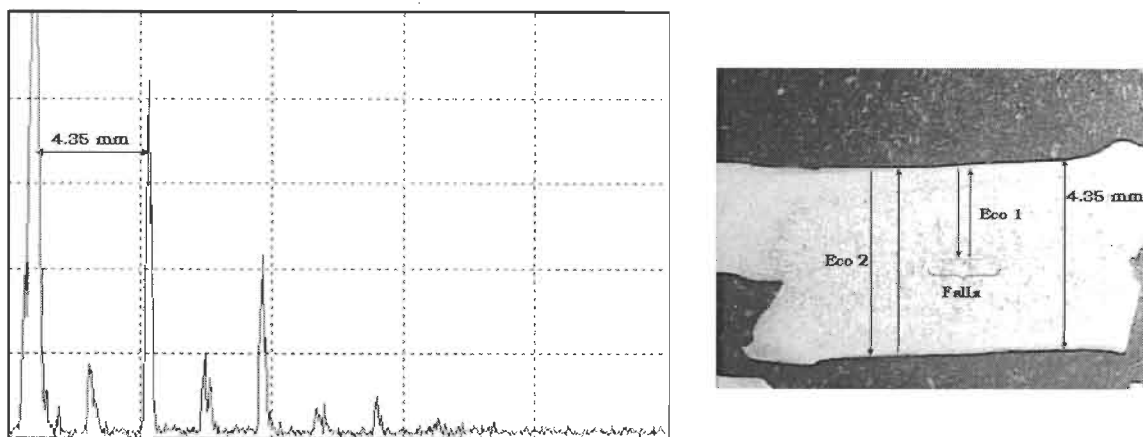


Fig. 8.4 Representación en pantalla

9.- DISCUSION DE RESULTADOS

La inspección no destructiva por medio de ultrasonido, demuestra una buena correlación del 99.06 %; contra los resultados obtenidos en la inspección destructiva de cincel y martillo tradicionalmente utilizada durante la evaluación de soldaduras de puntos en la industria automotriz.

La inspección no destructiva mediante ultrasonido, demuestra tener una mayor sensibilidad en la detección de defectos internos en el punto de soldadura, lo cual se observa durante los resultados de la evaluación; en donde el método convencional de inspección destructiva por medio de cincel y martillo no alcanza a detectar los puntos de soldadura que la inspección por ultrasonido detecta y rechaza como defectuoso.

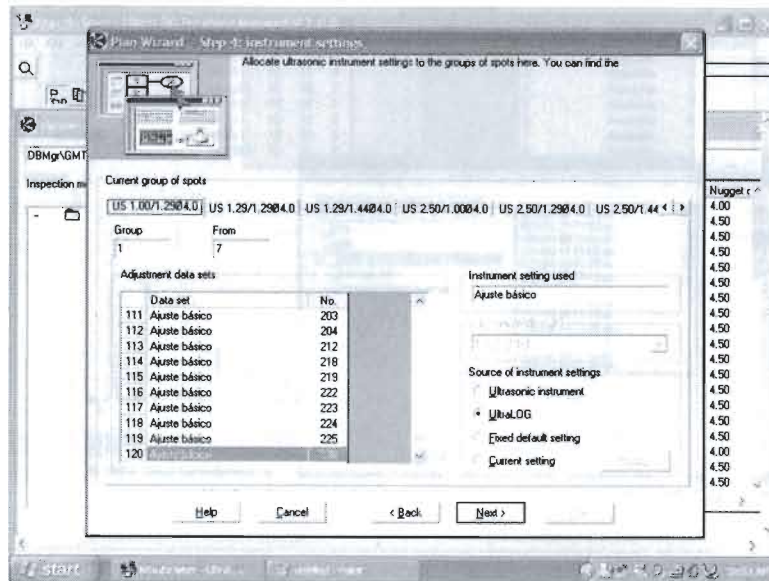
10.- CONCLUSION

Se inspeccionaron un total de 1651 puntos de soldadura de resistencia en 56 subensambles, en donde mediante inspección destructiva por desprendimiento con cincel y martillo, se detectaron 1392 puntos de soldadura aceptables mientras que la inspección no destructiva mediante ultrasonido detecto 1379 puntos de soldadura aceptables, lo cual nos indica una correlación de 99.06 % por lo cual se concluye que la inspección mediante ultrasonido se puede considerar como una alternativa confiable en lugar de la inspecciona destructiva tradicional mediante desprendimiento con cincel y martillo.

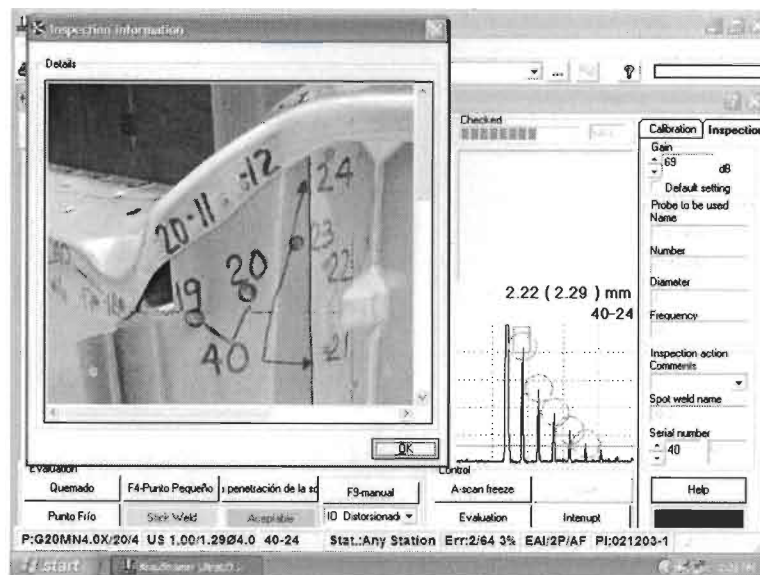
La inspección no destructiva mediante ultrasonido es capaz de detectar discontinuidades internas como faltas de fusión, porosidades y cavidades interna de hasta de 0.3 mm, así como cambios microestructurales en el metal debido a crecimiento excesivo de tamaño de grano debido a exceso de temperatura.

11.- OBSERVACIONES

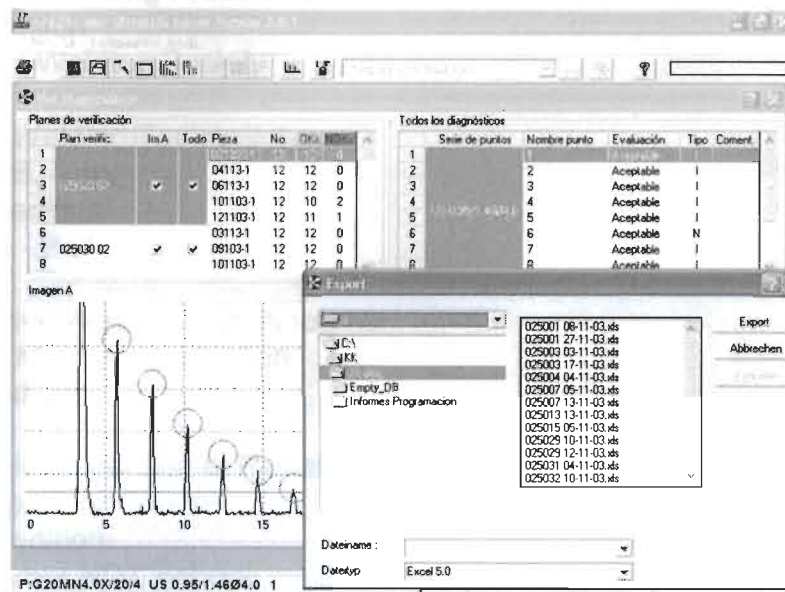
La inspección con el equipo de ultrasonido una vez programado es tan sencilla que el mismo equipo proporciona instrucciones sobre la secuencia de inspección a seguir, así como los resultados inmediatos en cada punto de soldadura inspeccionado.



Cuenta con ayudas visuales como fotografías, dibujos, croquis, etc., que nos facilitan la identificación tanto de la pieza como de las soldaduras.



Cuenta con un vínculo directo con Microsoft Excel y M. Acces para el manejo y archivo de los informes de inspección, dando la opción de analizar estadísticamente los resultados en Excel.



12.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- Welding Handbook
Volume 2 Welding Processes
Eighth edition
American Welding Society
- 2.- Modern Welding Technology
Howard B. Cary
Second edition
Prentice - Hall
- 3.- Automotive Welding Handbook
General Motors Corporation
Fourth edition
- 4.- Ultrasonic Inspection of Resistance Spot Welds
Basic Operator Course
Second edition
Krautkramer NDT School
- 5.- Spot Weld Inspection Course
Krautkramer NDT School
- 6.- NDT Handbook
Volume 7 Ultrasonic Testing
Second Edition
American Society of Non Destructive Testing