



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN.

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“MÉTODO DE INSPECCIÓN DEL PROCESO DE
SOLDADURA POR RESISTENCIA DE PUNTOS MEDIANTE
EL EQUIPO DE ULTRASONIDO.”**

**T R A B A J O P R O F E S I O N A L
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA MECÁNICA ELECTRICISTA
P R E S E N T A
ISIS EFIGENIA LÓPEZ CRUZ.**

ASESOR DE TESIS:

M. I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES - CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE EXÁMENES
PROFESIONALES

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

"MÉTODO DE INSPECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA DE PUNTOS MEDIANTE EL EQUIPO DE ULTRASONIDO"

Que presenta la pasante: **ISIS EFIGENIA LÓPEZ CRUZ**
Con número de cuenta: **41000800-5** para obtener el Título de: **Ingeniera Mecánica Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de septiembre de 2015.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Otilio Gómez Alcantara	
VOCAL	Ing. Bernardo Gabriel Muñoz Martínez	
SECRETARIO	M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez	
1er SUPLENTE	M. en I. Humberto Neri Mondragón	
2do SUPLENTE	Ing. Cesar Augusto Morales Mendoza	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).
En caso de que algún miembro del jurado no pueda asistir al examen profesional deberá dar aviso por anticipado al departamento.
(Art 127 REP)

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS Y A JESUCRISTO.

Por darme la fortuna de concluir esta importante etapa de mi vida con salud, dicha y mucha felicidad.

A LA GLORIOSA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera.

A MI FAMILIA.

Porque gracias a su preocupación, apoyo y amor me han dado una de las satisfacciones más importantes en el trayecto de la vida.

A MIS PROFESORES.

Que gracias a su vocación, a su paciencia, acertados consejos y a sus ganas de compartir conocimientos, me ayudaron a crecer no solo con créditos académicos sino también como persona. Agradezco también a mi asesor de tesis el Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS.

A todas aquellas personas que con su ayuda, sus consejos y sus mejores deseos, creyeron en mí. Todos esos momentos tan especiales que he pasado junto a ustedes fueron parte de mi motivación para concluir de esta manera.

PERO ESTA TESIS LA DEDICO DE UNA MANERA MUY ESPECIAL A UNA PERSONA QUE NUNCA QUITO EL DEDO DEL RENGLÓN, QUE SIEMPRE ESTUVO AHÍ CONMIGO HOMBRO CON HOMBRO, ESA PERSONA ES MI MADRE.

ÍNDICE

Pág.

OBJETIVOS..... 1

JUSTIFICACIÓN..... 2

INTRODUCCIÓN..... 3

CAPITULO 1.

TECNOLOGÍA EN LA APLICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

1.1.	¿QUE ES LA SOLDADURA?.....	5
1.2.	RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.....	5
1.3.	PROCESOS DE SOLDADURA.....	8
1.3.1.	SOLDADURA DE ARCO CON PLASMA.....	8
1.3.1.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO.....	8
1.3.2.	SOLDADURA MIG – MAG.....	9
1.3.2.1.	BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PROCESO.....	9
1.3.2.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO.....	10
1.3.3.	SOLDADURA CON GAS OXICOMBUSTIBLE.....	11
1.3.3.1.	BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PROCESO.....	11
1.3.3.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	11
1.3.3.2.1.	PASOS GENERALES PARA LLEVAR A CABO EL PROCESO DE SOLDADURA OXICOMBUSTIBLE.....	12
1.3.4.	SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	12
1.3.4.1.	BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PROCESO.....	12
1.3.4.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO.....	14
1.3.4.2.1.	PARÁMETROS EN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	15

CAPITULO 2.

SOLDADURA POR RESISTENCIA DE PUNTOS (RSW).

2.1	INTRODUCCIÓN.....	17
2.2	PRINCIPIO GENERAL DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA DE PUNTOS.....	17
2.3	DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.....	18
2.3.1	PRESIÓN DE ARIETE.....	18
2.3.2	RECOMENDACIONES PREVIAS.....	19
2.3.3	PRECAUCIONES EN LA EJECUCIÓN DE LA SOLDADURA.....	20
2.4	PARÁMETROS DE SOLDADURA.....	21
2.4.1	TIEMPOS DE COMPRESIÓN.....	21
2.4.2	TIEMPO DE SOLDADURA.....	22
2.4.3	TIEMPO MANTENIDO DE LA PRESIÓN.....	22
2.4.4	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO.....	23
2.5	PUNTO DE SOLDADURA.....	23
2.5.1	LAS PIEZAS A SOLDAR.....	24
2.5.2	ASPECTOS Y CARACTERÍSTICAS.....	24
2.5.3	PROCESO DE FORMACIÓN DE UN PUNTO DE SOLDADURA.....	25
2.5.4	PREPARACIÓN DEL EQUIPO PARA ANTES DE SOLDAR.....	27
2.5.5	AGUA.....	28
2.5.6	SITUACIÓN DE LOS PUNTOS DE SOLDADURA.....	28
2.5.7	ELECTRODOS.....	29
2.5.7.1	MATERIALES.....	30
2.5.7.1.1	GRUPO A.....	30
2.5.7.1.2	GRUPO B.....	31
2.6	TIPOS DE SOLDADURA DE RESISTENCIA DE PUNTOS.....	32
2.7	EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR PUNTOS.....	32
2.7.1	TIPOS DE ACCIONAMIENTOS.....	35
2.7.1.1	ACCIONAMIENTO MANUAL.....	35
2.7.1.2	ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO.....	36

2.7.1.3	ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO.....	36
---------	-------------------------------	----

CAPITULO 3.

EL EQUIPO DE ULTRASONIDO COMO MÉTODO DE INSPECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA POR PUNTOS.

3.1	INTRODUCCIÓN.....	39
3.2	NOCIONES ACÚSTICAS.....	39
3.2.1	PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA ACÚSTICA.....	39
3.2.1.1	TÉRMINOS UTILIZADOS FRECUENTEMENTE EN EL ESTUDIO DE LA ACÚSTICA.....	39
3.3	ONDAS ULTRASÓNICAS.....	41
3.3.1	TIPOS DE ONDAS ULTRASÓNICAS.....	41
3.3.1.1	ONDAS LONGITUDINALES.....	41
3.3.1.2	ONDAS TRANSVERSALES.....	41
3.3.1.3	ONDAS SUPERFICIALES.....	42
3.3.1.4	ONDAS DE LAMB.....	43
3.3.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS ULTRASÓNICAS.....	44
3.4	RESEÑA HISTÓRICA DEL ULTRASONIDO.....	45
3.5	GENERACIÓN DEL ULTRASONIDO.....	46
3.5.1	FENÓMENOS UTILIZADOS EN LA GENERACIÓN DEL ULTRASONIDO.....	47
3.5.1.1	EFECTO MAGNETOESTRICTIVO.....	47
3.5.1.2	EFECTO PIEZOELÉCTRICO.....	48
3.5.1.2.1	CERÁMICOS PIEZOELÉCTRICOS.....	48
3.5.2	GEOMETRÍA EL HAZ ULTRASÓNICO.....	49
3.5.2.1	ZONA MUERTA.....	49
3.5.2.2	CAMPO PRÓXIMO (ZONA CERCANA) O ZONA DE FRESNEL.....	49
3.5.2.3	ZONA DE CAMPO LEJANO O ZONA DE FRAUNHOFER.....	50
3.6	EQUIPO DE ULTRASONIDO.....	51
3.6.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO.....	51

3.6.2	CABLE COAXIAL.....	51
3.6.3	TRANSDUCTORES O PALPADORES.....	52
3.6.3.1	CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSDUCTORES (CABEZALES O PALPADORES).....	52
3.6.3.1.1	CAMPO DE RADIACIÓN DEL CABEZAL.....	53
3.6.3.2	DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS QUE CONFORMAN UN PALPADOR O TRANSDUCTOR.....	53
3.6.3.3	MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS.....	54
3.6.3.4	ELECCIÓN DEL PALPADOR.....	55
3.6.3.5	ACCESORIOS.....	55
3.6.3.6	TIPOS DE PALPADORES.....	56
3.6.3.6.1	TRANSDUCTORES DE CONTACTO.....	56
3.6.3.6.1.1	TRANSDUCTORES DE INCIDENCIA NORMAL..	57
3.6.3.6.1.1.1	PALPADORES DE CRISTAL ÚNICO (EMISOR Y RECEPTOR; TIPO E + R).....	57
3.6.3.6.1.1.2	PALPADORES DE DOBLE CRISTAL, UNO EMISOR Y OTRO RECEPTOR, TIPO E + R.....	58
3.6.3.6.1.1.3	PALPADORES DE CRISTAL MÚLTIPLE.....	59
3.6.3.6.1.1.4	PALPADORES PARA ENSAYOS A TEMPERATURAS ALTAS.....	60
3.6.3.6.1.2	PALPADORES ANGULARES.....	60
3.6.3.6.1.3	PALPADORES DE INMERSIÓN.....	61
3.6.3.6.1.4	TRANSDUCTORES DE RODILLO.....	62
3.6.3.6.1.5	TRANSDUCTORES DE TIPO LÁPIZ.....	63
3.6.3.6.1.6	CABEZALES DE TIPO BROCHA.....	63
3.6.3.7	ACOPLANTES.....	63
3.7	MÉTODOS UTILIZADOS EN LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO.....	64
3.7.1	MÉTODO DE RESONANCIA.....	64
3.7.1.1	EL EQUIPO DE RESONANCIA.....	64
3.7.2	MÉTODO DE TRANSPARENCIA O SOMBRA.....	65

3.7.2.1	EQUIPOS QUE MIDEN LA INTENSIDAD ACÚSTICA.....	65
3.7.3	MÉTODO DE TRANSMISIÓN.....	67
3.7.4	MÉTODO DE IMPULSO – ECO.....	67
3.7.5	OTROS MÉTODOS.....	68
3.7.5.1	MÉTODO DE FRECUENCIA MODULADA.....	68
3.7.5.2	ANÁLISIS ESPECTRAL.....	69
3.7.5.3	CONDUCCIÓN DE SONIDO.....	69
3.8	REPRESENTACIÓN DE DATOS.....	69
3.8.1	REPRESENTACIÓN TIPO A (SCAN A).....	69
3.8.1.1	DESPLEGADO DEL ESCANEO TIPO A.....	70
3.8.2	REPRESENTACIÓN TIPO B (SCAN B, EXPLORACIÓN B, BARRIDO B).....	70
3.8.2.1	DESPLEGADO DEL ESCANEO TIPO B.....	72
3.8.3	REPRESENTACIÓN TIPO C (SCAN C).....	72
3.8.3.1	DESPLEGADO DEL ESCANEO TIPO C.....	73
3.8.3.2	METODOLOGÍAS DE INSPECCIÓN REQUERIDAS PARA LOS EQUIPOS DE ULTRASONIDOS.....	73
3.8.3.2.1	PHASED ARRAY. CONFIGURACIÓN LINEAL.....	73
3.8.3.2.2	PHASED ARRAY. CONFIGURACIÓN SECTORIAL.....	74
3.8.3.2.3	TÉCNICA TOFD (TIME OF FLIGHT DIFFRACTION).....	75
3.8.3.2.4	AUT. ULTRASONIDO. ULTRASONIDO AUTOMATIZADO (DISCRIMINACIÓN DE ZONAS.).....	77
3.9	BLOQUES DE CALIBRACIÓN.....	78
3.9.1	BLOQUE DE CALIBRACIÓN V1.....	80
3.9.2	BLOQUE DE CALIBRACIÓN V2.....	80
3.9.3	BLOQUE ASME.....	80
3.9.4	BLOQUE NORMALIZADO TIPO IIW.....	81
3.10	NORMAS QUE CERTIFICAN Y EVALÚAN LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO.....	81
3.10.1	NORMAS AWS D1.1 PRUEBAS DE ULTRASONIDO EN UNIONES DE RANURA SOLDADAS.....	81

3.10.1.1	NORMAS GENERALES.....	81
3.10.1.2	EQUIPO UT.....	82

CAPITULO 4

IMPLEMENTACIÓN DE CORRELACIONES: “PRUEBA DESTRUCTIVA TEARDOWN VS ULTRASONIDO” EFICIENCIA DEL EQUIPO DE ULTRASONIDO.

4.1	INTRODUCCION.....	85
4.2	REQUERIMIENTOS EN EL ÁREA DE CARROCERÍAS.....	88
4.2.1	PUNTOS DE SOLDADURA.....	88
4.2.2	DIÁMETRO DEL PUNTO DE SOLDADURA.....	89
4.2.2.1	MÍNIMO DIÁMETRO DE SOLDADURA.....	89
4.2.3	LIMITACIONES EN LA RELACIÓN DEL CALIBRE.....	90
4.3	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE UNA INSPECCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE TEARDOWN VS EL EQUIPO DE ULTRASONIDO.....	90
4.3.1	PUNTOS DE SOLDADURA ANALIZADOS POR DEPARTAMENTO.....	92
4.3.2	EJEMPLOS DE FORMATOS OBSOLETOS OCUPADOS PARA REALIZAR LA CORRELACIÓN.....	93
4.3.2.1	DESCRIPCIÓN DE LOS FORMATOS.....	94
4.3.3	NUEVOS FORMATOS PARA ESTABLECER UNA CORRELACIÓN MÁS EXACTA DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	97
4.3.3.1	DESCRIPCIÓN DE LOS NUEVOS FORMATOS APLICADOS AL FORMATO DE CORRELACIÓN ANTIGUO.....	99
4.3.4	PRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS NUEVOS FORMATOS DE CORRELACIÓN.....	101
4.3.4.1	TABLA DE PROMEDIO POR DEPARTAMENTO.....	103
4.3.4.2	GRAFICA DE TOLERANCIA DIARIA. TEARDOWN VS ULTRASONIDO.....	105

4.3.4.3	GRAFICA DE CORRELACIÓN O “DESVIACIONES” POR DEPARTAMENTOS.....	108
4.3.4.4	TABLA DE TOTAL DE PUNTOS ALPHA Y BETA.....	110

CONCLUSIONES.....	111
--------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.....	112
--------------------------	------------

OBJETIVO

- Orientar de manera práctica y objetiva a estudiantes que inicien su carrera profesional en el área de soldadura por resistencia, encontrando en este trabajo ayuda para conocer este tipo de soldadura, así mismo, se proporciona una recopilación de tablas y datos que conjuntamente con las recomendaciones prácticas, permitan una elección apropiada de los elementos necesarios para la realización de un proceso de soldadura y puesta a punto del mismo.
- Se hace énfasis en la aplicación en el área automotriz, ya que en esta industria es donde se tiene una mayor aplicación de estos procesos, puesto que es necesario cumplir con un sistema de calidad, que reúnan todos los requerimientos, normas y especificaciones que requiere la ingeniería del producto.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo dará a conocer la labor que realiza el ingeniero mecánico eléctrico encargado de la inspección de soldaduras, así como proporcionara a los interesados la información necesaria para llevar a cabo una correcta inspección de tipo ultrasónica en soldaduras por resistencia de puntos.

Es muy importante saber lo que es una inspección de soldaduras ya que el ingeniero mecánico eléctrico debe asegurarse que las piezas que se fabriquen cuenten con la calidad necesaria.

Esta investigación es muy útil ya que detalla cuales son los principios básicos sea tales como partes básicas del equipo de ultrasonido, funcionamiento y técnicas de operación así como especificaciones técnicas para llevar a cabo una correcta inspección con el equipo de ultrasonido.

Las personas beneficiadas con este trabajo son los ingenieros que pretenden realizar un trabajo de inspección de soldadura, dado que con este trabajo se pretende brindar los conocimientos necesarios para realizar dicho trabajo.

INTRODUCCIÓN

La soldadura por puntos de resistencia está basada en el sistema de soldadura más antiguo que se conoce, pero a pesar de ello tiene completa vigencia hoy en día, empleándose masivamente en la industria automotriz, electrodomésticos de línea blanca y muebles metálicos, entre otras. No obstante, el método y los equipos disponibles para su aplicación han ido incorporando los avances de la técnica. Por ello se pretende dar una visión de la situación actual de este sistema de ensamblaje en la reparación de carrocerías de automóviles, reflejando sus particularidades, métodos, equipos y recomendaciones de uso.

La soldadura por punto de resistencia es un sistema de manejo sencillo, ya que la mayoría de los equipos utilizados, tanto en fabricación como en reparación son automáticos.

En esta tesis se pretende plasmar parte de la investigación que se pudo realizar mientras se tenía una estancia dentro de las instalaciones de Ford Motor Company, planta de estampado y ensamblado Cuautitlán. Investigación realizada en el área de soldadura.

CAPITULO 1.

TECNOLOGÍA EN LA APLICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

1.1. ¿QUÉ ES LA SOLDADURA?

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor. Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación (material homogéneo o heterogéneo) funda y una ambos materiales. Para que el metal de aportación se pueda fijar correctamente es necesario que se funda en los metales que se van a unir, lo cual se verificara siempre que las fuerzas de adherencia entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido. Los efectos de la soldadura resultan determinantes para la utilidad del material soldado. El metal de aportación y las consecuencias derivadas del suministro de calor pueden afectar a las propiedades de la pieza soldada.

La normativa actual distingue entre la soldadura y soldeo, de manera que no se pueden usar indistintamente. La soldadura es el cordón físico que una las piezas y soldeo es el método que se ha empleado para conseguir realizar dicha unión.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

Resulta dificultoso determinar en qué país y en qué momento se han desarrollado ciertas técnicas de soldadura, ya que la experimentación ha sido simultánea y continúa en diversos lugares.

- Cronología.
 - En 1801, El inglés Sir H. Davy descubrió que se podía generar y mantener un arco eléctrico entre las terminales.
 - En 1895, el francés H. E. Chatelier, descubrió la combustión del oxígeno con acetileno.
 - En el año 1881, el francés de Meritéis logro con éxito soldar diversas piezas metálicas empleando un arco eléctrico entre carbones.
 - En el año 1885, se logró la unión en punto definido de dos piezas metálicas por fusión. Se utilizó corriente continua, produciendo un arco desde la punta de una varilla de carbón (conectada al polo positivo) hacia las piezas a unir (conectadas al polo negativo). Dicho arco producía suficiente calor como para provocar la fusión de ambos metales en el plano de unión, que al enfriarse quedaban mecánicamente unidos.

El comportamiento del arco, según la polaridad elegida, llevo en 1889 al físico alemán, el doctor H. Zerener, a ensayar un tipo de soldadura de arco eléctrico entre dos electrodos de carbón. Bajo estas condiciones no se lograba buena estabilidad en el arco, adicionó un electroimán. El flujo del arco se regulaba con facilidad, variando el campo magnético producido (Figura 1.1). Los dos

electrodos de carbón (1), y el electroimán (2), eran parte de un solo conjunto portátil. El metal utilizado como aporte surgía de una tercera varilla metálica (3), la cual se ubica por debajo del arco, más cerca de la pieza. Con el calor producido, se fundía el metal de base (5), conjuntamente con el aporte de la varilla, generando la unión. (4).

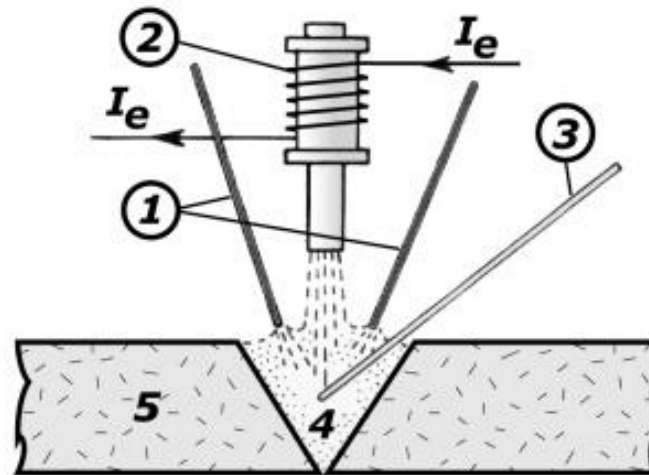


Figura 1.1 Soldadura por arco.

En los Estados Unidos, en 1902, la primera fábrica que comenzó a utilizar la soldadura por arco con electrodos de grafito fue de Baldwin Locomotive Works. El excesivo consumo de electrodos de carbón y el deseo de simplificar los equipos de soldadura, hicieron que en el año 1891, el ingeniero ruso N. Slavianoff sustituyera los electrodos de carbón por electrodos de metal (Figura 1.2).

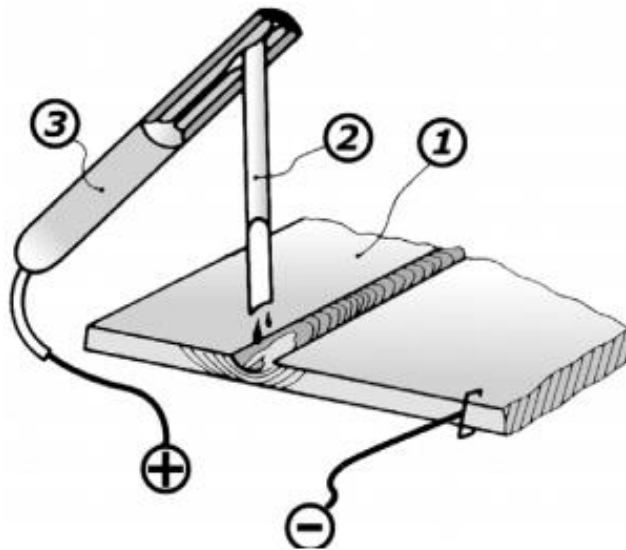


Figura 1.2. Soldadura por arco con electrodos

En 1930, los estadounidenses H. M. Hobart y P. K. Devers desarrollaron el sistema de soldadura con gas inerte. En la Figura 1.3. Se observa la fuente eléctrica (5), la provisión de hidrogeno a presión (4), los electrodos de tungsteno (3), el material de aporte (2), y el material a soldar (1).

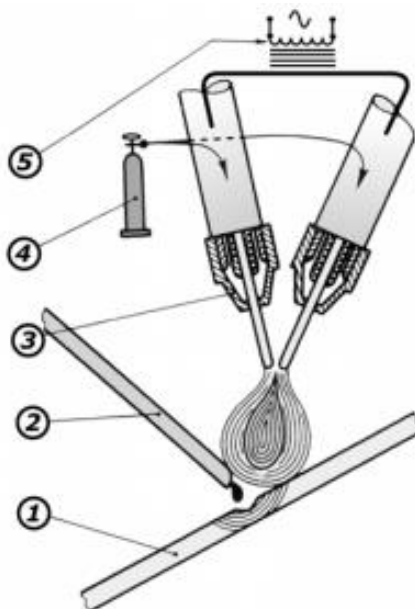


Figura 1.3. Soldadura atómica con atmosfera H_2

1.3 PROCESOS DE SOLDADURA.

Se pueden distinguir primeramente los siguientes tipos de soldadura:

- Soldadura Heterogénea. Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación: o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser blanda o fuerte.
- Soldadura Homogénea. Los materiales que se sueldan y el metal de aportación, (si lo hay), son de la misma naturaleza. Puede ser oxigas, eléctrica (por arco voltaico o por resistencia), etc. Si no hay metal de aportación, las soldaduras homogéneas se denominan autógenas.

A continuación se describen los procesos de soldadura con mayor demanda en la industria manufacturera.

1.3.1 Soldadura de arco con plasma.

La Soldadura por Arco de Plasma (PAW Plasma Arc Welding, por sus siglas en inglés) es un proceso que utiliza una cierta cantidad de plasma a alta temperatura para conseguir fundir y unir la mayoría de los metales. El término “plasma” se refiere a un gas que sido suficientemente ionizado para hacerse conductor de la corriente eléctrica.

1.3.1.1 Descripción general del procedimiento.

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar por encima de los 30.000 °C. Consiste en provocar un arco eléctrico estrangulado a través de la sección de la boquilla del soplete, lo que concentra la energía cinética del gas, ionizándolo, lo que le permite cortar. El chorro de plasma (figura 1.4) lanzado contra la pieza penetra la totalidad del espesor a cortar, fundiendo y expulsando el material.

El calor para cortar y soldar es provisto por una flama o chorro de plasma de gran velocidad con temperaturas superiores a 15000°C, la cual tiene por característica ser altamente concentrado, el gas para el plasma incluye aire, argón, argón-Hidrogeno, nitrógeno y dióxido de carbono. El corte con plasma generalmente no deja los bordes rectos, debiendo emparejar los lados, particularmente cuando la energía del corte es alta para el espesor de la placa o cuando se emplea una velocidad de corte excesiva.

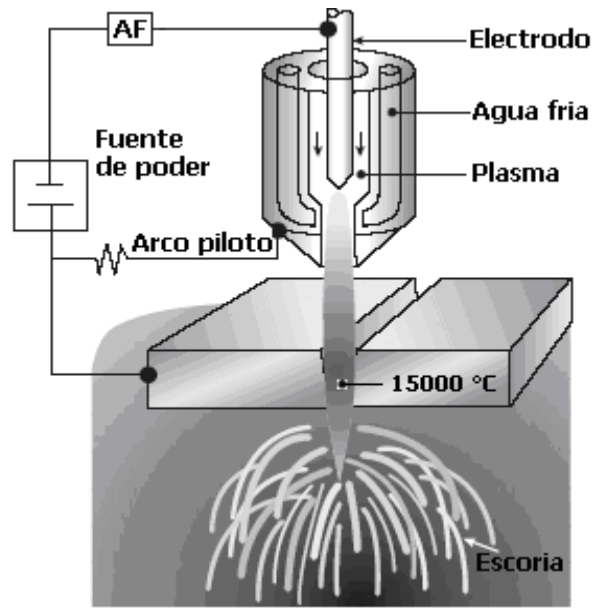


Figura 1.4. Esquema. Proceso soldadura arco con plasma.

1.3.2 Soldadura MIG – MAG.

La soldadura MIG/MAG (por sus siglas en inglés Metal Inert Gas o Metal Active Gas) es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible, el arco se produce mediante un electrodo formado por un cordón de soldadura y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG).

1.3.2.1 Breve reseña histórica del proceso.

En la década de 1940 se otorgó una patente a un proceso que alimentaba electrodos de alambre en forma continua para realizar soldadura con arco protegido por gas. Este resultó el principio del proceso MIG (siglas del inglés de Metal Inert Gas). En este sistema se reemplaza el Argón (utilizado en el proceso TIG) por Dióxido de Carbono (CO₂).

1.3.2.2 Descripción general del procedimiento.

- Secuencia de un equipo de soldadura (Figura 1.5).

La secuencia de un equipo de soldadura MIG/MAG es controlada por un circuito electrónico que activa secuencialmente los elementos de la máquina: corriente de soldadura, salida de gas, velocidad de cordón.

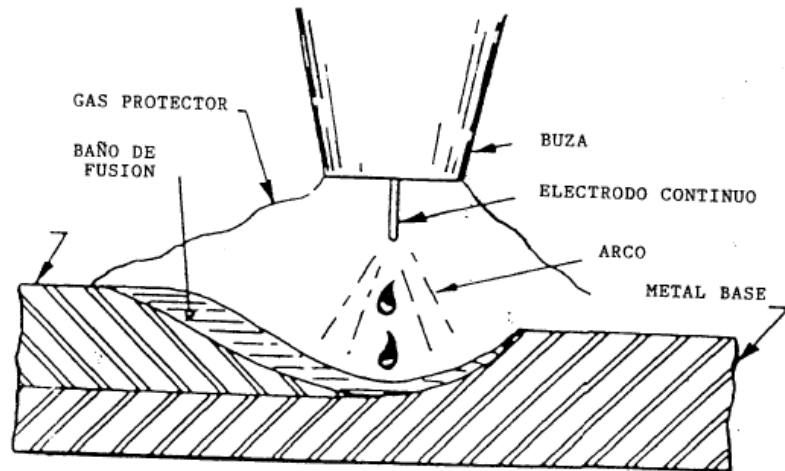


Figura 1.5. Elementos más importantes que intervienen en el proceso de soldadura TIG.

En todo diagrama de secuencia se pueden distinguir los siguientes tiempos:

1. Tiempo de pre-gas: es el tiempo que transcurre desde que se da la orden de inicio de soldadura. Durante estos instantes, fluye gas hacia la zona a soldar, con el fin de crear la atmósfera protectora necesaria para el inicio del arco.
2. Avance lento de cordón: Un control de avance lento de cordón es incorporado en algunos equipos con el objeto de mejorar el cebado del arco.
3. Tiempo de retardo de corriente: es el tiempo que existe entre que se da la orden de desactivación de soldadura y el final real de ésta. Se trata de un tiempo absolutamente necesario para que el cordón no quede enganchado al metal base.

4. Tiempo de post-gas: A veces, es preciso proteger el final de soldadura mediante gas, con objeto de evitar porosidades. De esta manera, el post-gas asegura una protección total desde la extinción del arco hasta que la parte final del cordón ha descendido de temperatura considerablemente.

- El proceso puede ser.
- Semiautomático: La tensión de arco, la velocidad de alimentación del cordón, la intensidad de soldadura y el caudal de gas se regulan previamente.
- Automático: Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente.
- Robotizado: Todos los parámetros de soldeo, se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la efectúa un robot al ejecutar esta programación. Este tipo de soldadura se utiliza principalmente para soldar aceros de bajo y medio contenido de carbono, así como para soldar acero inoxidable, aluminio y otros metales no férricos.

1.3.3 Soldadura con gas oxicombustible.

El proceso de soldadura OXICOMBUSTIBLE se utiliza desde hace muchos años en la industria manufacturera y sigue siendo un proceso importante en la soldadura o unión de varios metales. En este proceso de soldadura intervienen dos clases de gas y un equipo de soldadura OXICOMBUSTIBLE a saber:

- Gas carburante, (gas combustible).
- Gas comburente, (gas oxidante)

Los Gases Combustibles dan origen a la llama y los Comburentes son los que promueven la reacción de Combustión. Para la Soldadura y el Corte, la dupla que se utiliza por excelencia es la llama Oxiacetilénica conformada por: OXIGENO (Gas Comburente) y Gas Combustible.

1.3.3.1 Breve reseña histórica del proceso.

Las operaciones de Soldadura Oxi-combustible y las labores de Oxicorte plantearon la necesidad de inventar el Soplete Oxicorte cuya invención se debe a RICHARD FOUCHE.

1.3.3.2 Descripción general del procedimiento.

El proceso de soldadura oxi – gas consiste en una llama dirigida por un soplete, obtenida por medio de la combustión de los gases combustible y comburente. El intenso calor de la llama

funde la superficie del metal base. A medida que la llama se mueve a lo largo de la unión, el metal base y el metal de aporte se solidifican para producir el cordón.

1.3.3.2.1 Pasos generales para llevar a cabo el proceso de soldadura oxicombustible.

1. Apertura de los tanques de los gases. (Nunca hacerlo simultáneamente)
 - a. Antes de abrir la válvula comprobar que el tornillo de regulación esta aflojado.
 - b. Abrir el grifo de la botella lentamente.
 - c. Abrir la válvula de cierre en el manorreductor.
 - d. Abrir la válvula en el soplete.
 - e. Apretar el tornillo de regulación hasta que se obtiene la llama deseada.
 - f. Dejar salir el gas 5 segundos por cada 15 metros de manguera y cerrar la válvula del soplete.
2. Encendido y Apagado Del Soplete. (Siempre apagar primero el gas de aporte)
 - a. Verificar siempre el estado del soplete
 - b. Verificar conexiones de mangueras al soplete.
 - c. Comprobar presiones de trabajo.
 - d. Para apagar la llama del soplete siempre en primer lugar la válvula del combustible y luego la del comburente.

1.3.4 Soldadura por resistencia.

La soldadura por resistencia, SR (en inglés Resistance Welding, RW), es un grupo de procesos de soldadura por fusión que utiliza una combinación de calor y presión, el calor se genera mediante una resistencia eléctrica dirigida hacia el flujo de corriente en la unión que se va a soldar.

1.3.4.1 Breve reseña histórica del proceso.

Con el desarrollo y distribución de la electricidad por las compañías de energía, entre los años 1880 y 1890, el trabajo de Joule en el calentamiento de resistencias eléctricas fue retomado por algunos investigadores. Uno de los que tomó la delantera fue el profesor Elihu Thompson (Figura 1.6) quien es considerado como el padre de la soldadura por resistencia eléctrica.

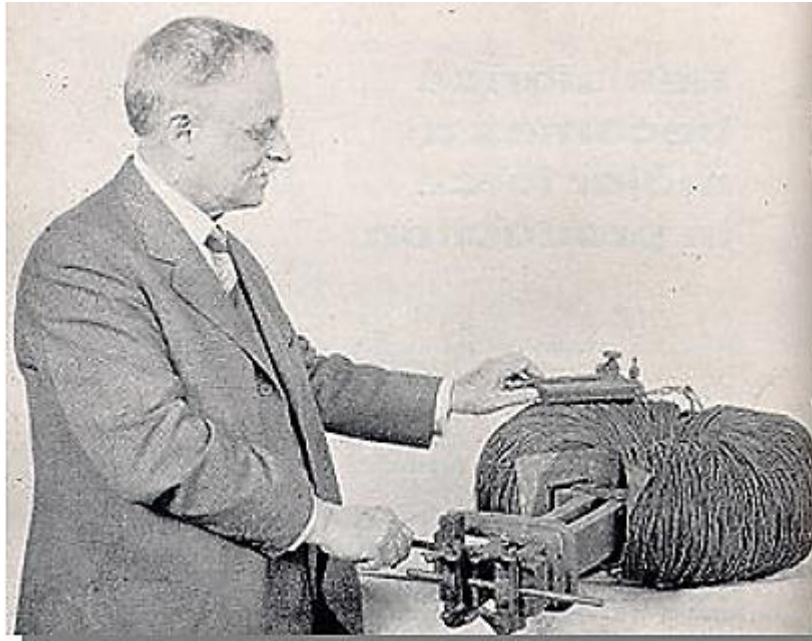


Figura 1.6. Primera soldadura por resistencia con secundario de bobina simple, construida en 1886, junto a su fabricante Elihu Thompson.

Con un dínamo de corriente alterna de 3 bobinas que había construido en 1879 y un transformador provisto de abrazaderas para sujetar la pieza a soldar llevo a cabo su experimento original.

Henry Ford fue uno de los mayores propulsores de la soldadura y pionero en muchas aplicaciones en el campo automotriz (Figura 1.7). En 1928 los equipos de soldadura por resistencia utilizados por FORD incluían 320 soldadoras flash, 540 soldadoras de punto y 25 soldadoras de costura. En los procesos de soldadura por resistencia eléctrica el calor se genera por medio de una corriente eléctrica de elevada intensidad que se hace circular con ayuda de dos electrodos durante un corto periodo a través de la unión que se desea realizar. Los metales que forman la unión ofrecen una resistencia al paso de la corriente eléctrica, que será máxima en la cara interna de las piezas en unión y, por lo tanto, donde se produce la máxima intensidad de calor.

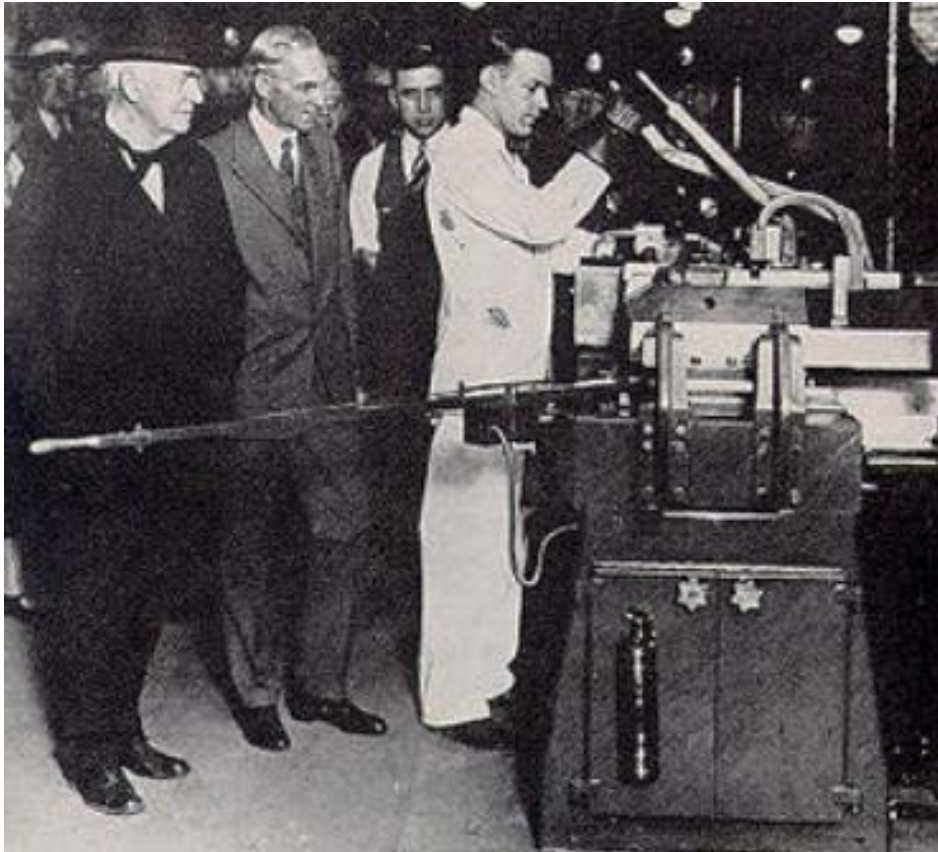


Figura 1.7. Henry Ford (seguido desde la derecha) muestra a Thomas Edison (izquierda) un operador utilizando una soldadora a tope en su planta.

1.3.4.2 Descripción general del procedimiento.

La correcta ejecución de un punto de soldadura implica el seguimiento de una serie de pasos (Figura 1.8):

1. Fase de posicionamiento y bajada. Es la operación en la que se produce el acercamiento de los electrodos hasta aprisionar las láminas a soldar, consiguiendo que éstas entren en contacto, facilitando la ejecución de la soldadura.
2. Fase de soldadura. Es la operación por la que se hace pasar la corriente eléctrica a través de las láminas a soldar, produciéndose así el calentamiento las zonas en contacto con los electrodos, para poder ejecutar la posterior forja del punto.
3. Fase de mantenimiento o forja. Operación posterior a la fase de soldadura, una vez finalizada ésta, aprovechando el calentamiento producido en la zona de unión, se consigue la forja del punto y sus posteriores propiedades mecánicas.

4. Fase de cadencia o intervalo. Es la operación final del proceso, en la que se produce la reducción de la presión de los electrodos sobre las láminas ya soldadas, permitiendo la retirada de la máquina de soldadura.

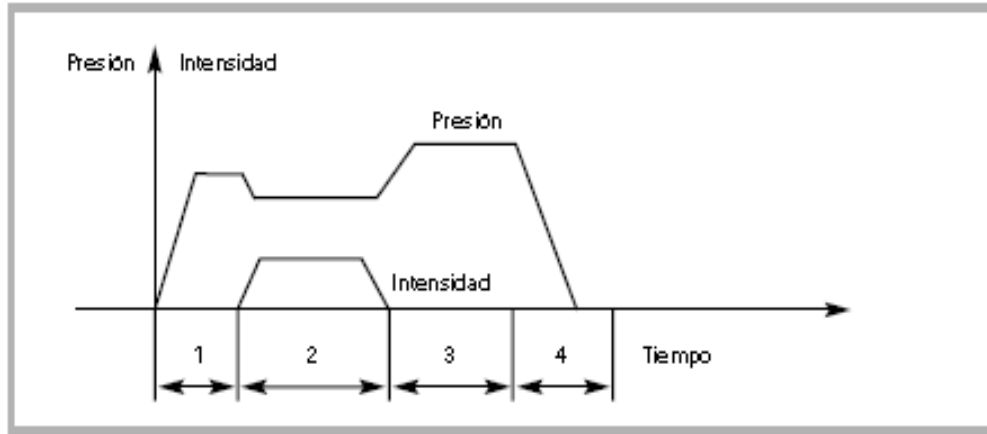


Figura 1.8. Proceso de soldadura por resistencia.

1.3.4.2.1 Parámetros en la soldadura por resistencia.

- Tiempos de presión. Es el intervalo de tiempo entre la aplicación inicial de la fuerza de electrodos en el trabajo y la primera aplicación de la corriente.
- Tiempo de soldar. Es el tiempo durante el cual es aplicada la corriente de soldar a la pieza de trabajo para hacer una suelda.
- Tiempo de sostenido. Es el tiempo durante el cual la fuerza de electrodos es mantenida en la pieza de trabajo después de que el último impulso de corriente de soldar cesa. El tiempo debe ser necesario para permitir al punto de soldadura solidificarse antes de soldar las partes soldadas.
- Tiempo de pausa. Es el tiempo durante el cual los electrodos están desconectados del trabajo. El término es aplicable solamente donde el ciclo de soldar es repetitivo.

CAPITULO 2.

SOLDADURA POR

RESISTENCIA DE PUNTOS

(RSW).

2.1 INTRODUCCIÓN.

La soldadura por puntos de resistencia está basada en el sistema de soldadura más antiguo que se conoce, pero a pesar de ello tiene completa vigencia hoy en día, empleándose masivamente en la industria del automóvil, electrodomésticos de línea blanca y muebles metálicos, entre otras.

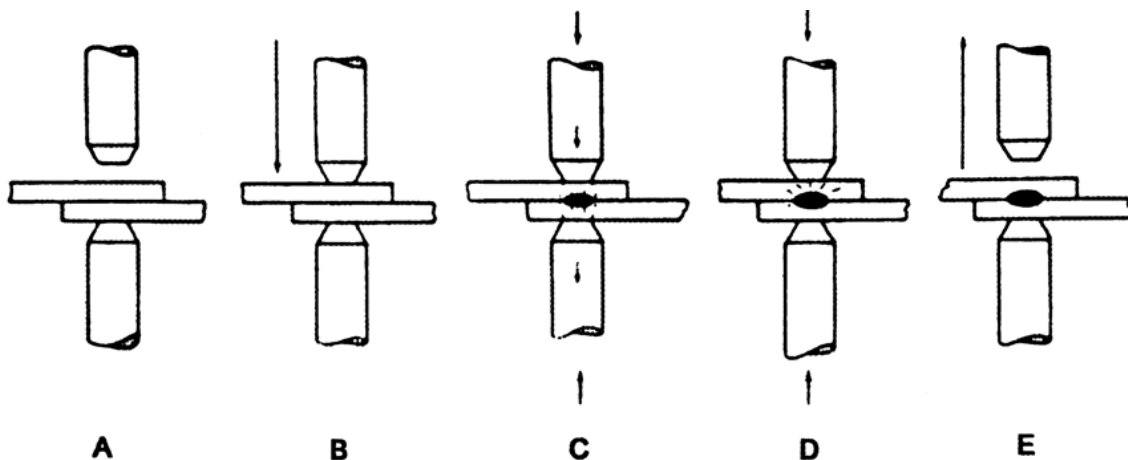
El principio de funcionamiento de este proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de los metales que se van a unir.

Una de las características que distinguen la soldadura por resistencia de otros procesos de soldeo, es que las superficies a soldar no necesitan ser limpiadas después del procedimiento, por lo que su implementación es adecuada para líneas de producción automatizada en soldaduras con diferentes metales y aceros revestidos.

Este proceso, permite que se genere menos calor en las zonas que rodean el punto de soldadura, por lo tanto, la expansión térmica localizada no afecta a otros sectores del metal y permite que la soldadura se solidifique y enfríe de manera rápida.

2.2 PRINCIPIO GENERAL DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA DE PUNTOS.

En la figura 2.1, se muestra como dos láminas pueden ser soldadas por resistencia de puntos. En ella se observa que el ciclo elemental consta de cinco partes.



- A. Elementos a soldar, colocados uno sobre otro.
- B. Descenso del electrodo superior;
- C. Paso de la corriente de soldadura;
- D. Interrupción del paso de la corriente de soldadura;
- E. Fin de la aplicación del esfuerzo sobre el punto de soldadura: elevación del electrodo superior.

Figura 2.1. Representación esquemática de las diferentes fases de una operación de soldadura por puntos

Este tipo de proceso se realiza en una máquina de soldadura por resistencia como la que se muestra en la figura 2.2.

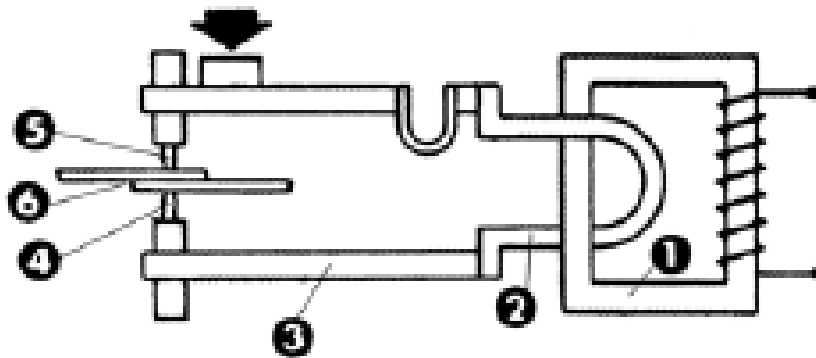


Figura 2.2. Representación esquemática de una máquina de soldar por puntos. 1) Transformación de la soldadura; 2) Secundario del transformador. 3) Circuito secundario exterior; 4) Electrodo inferior; 5) Electrodo superior; 6) Piezas superpuestas, a soldar.

2.3 DESCRIPCIÓN, ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.

2.3.1 Presión de apriete.

La soldadura por puntos de resistencia es una soldadura por forja, la cual supone la existencia de una formación en caliente, que se obtiene mediante la presión aplicada a través de los electrodos. Este parámetro se descuida con frecuencia y tiene mucha importancia, pues se pone de manifiesto en dos acciones distintas: la primera en su efecto sobre la resistencia y la segunda en su efecto de forma durante la solidificación del núcleo de metal fundido.

La aplicación de la presión tiene tres misiones distintas, que pueden parecer incluso contradictorias.

1. En el momento de comenzar la soldadura la presión ha de ser baja para obtener una resistencia de contacto lamina – lamina elevada, que permita un calentamiento inicial con una intensidad moderada.
2. Esta presión ha de ser suficiente para que las láminas a unir tengan un contacto adecuado y asienten entre si perfectamente.
3. Una vez que se ha iniciado la fusión del punto, la resistencia de contacto desaparece bruscamente quedando reducida a la zona delimitada por los electrodos. En este momento, la presión debe ser alta para expulsar los gases incluidos y llevar a cabo la forja del punto.

La presión recomendada para la lámina de acero oscila alrededor de 10 kg/mm². Presiones excesivamente bajas producen:

- Forja deficiente, que implica puntos de baja calidad.
- Altas resistencias de contactos lámina – lámina y lámina – electrodo, que pueden dar lugar a proyecciones, salpicaduras, perforación de las lámina y cráteres y pegaduras en los electrodos ocasionando su degradación.

Presiones excesivamente altas producen:

- Buena forja pero, si la presión es excesiva, puede provocar la expulsión de metal fundido del núcleo del punto, disminuyendo su resistencia.
- Bajas resistencias de contacto lámina – lámina y lámina – electrodo.
- Huellas profundas en las láminas.

2.3.2 Recomendaciones previas.

Antes de proceder a ejecutar la soldadura, se deben observar unas recomendaciones básicas para evitar efectos indeseados y conseguir una perfecta soldadura. Algunas de estas indicaciones son:

- Preparar las láminas a unir. Éstas deben acondicionarse dejándolas en lámina viva y limpias. Una vez terminado este proceso, ha de aplicarse una protección anticorrosiva electro soldable a las caras internas de las láminas que estarán en contacto tras la soldadura.
- Elegir adecuadamente los electrodos. El diámetro y geometría de las puntas estarán en armonía con el espesor de las láminas a unir.

- Ajuste de la distancia entre electrodos. La distancia entre los electrodos, una vez cerrados, ha de ser la correcta. Si estuvieran muy separados, la presión en las láminas sería insuficiente, siendo las puntas de los electrodos las que sufrirían el calentamiento y no las láminas a soldar. Si, por el contrario, los electrodos estuvieran muy juntos, se produciría una sobrepresión en las láminas, que pudiera dar lugar a la expulsión del núcleo del punto.

2.3.3 Precauciones en la ejecución de la soldadura.

Otros aspectos importantes a considerar en la práctica, son los siguientes:

- Distancia entre puntos.

La separación entre puntos de soldadura es la distancia entre los centros de dos puntos adyacentes. Esta distancia ha de ser la necesaria para que, una vez unidas las piezas, el conjunto presente unas condiciones estructurales apropiadas, que no se conseguirían si se aplicasen puntos de soldadura insuficientes. Si los puntos están muy próximos entre sí, durante el proceso de soldadura, se produce una derivación de corriente por el punto ya realizado, disminuyéndose por tanto la cantidad de corriente de soldadura aplicada.

La distancia recomendada entre puntos en la reparación de carrocerías, oscila entre 30 y 40 mm (figura 2.3), debiendo respetar como referencia la distancia existente originalmente.

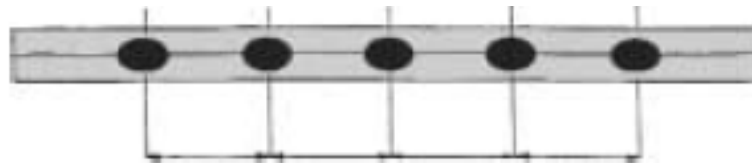


Figura 2.3. Distancia correcta entre puntos.

- Distancia al borde o recubrimiento (Figura 2.4).

La distancia al borde o recubrimiento es la longitud medida desde el centro del punto de soldadura hasta el borde de la lámina. Esta distancia ha de ser suficientemente pequeña para garantizar una unión efectiva en los bordes de las láminas, pero no puede ser tan pequeña, ya que si esta distancia es insuficiente, puede causar:

- Expulsión del material fundido por la junta, debilitando la soldadura.
- Deformaciones de los bordes de las piezas, debido a la presión ejercida por los electrodos.

- Deterioro de los electrodos, se ensucian con gran facilidad.

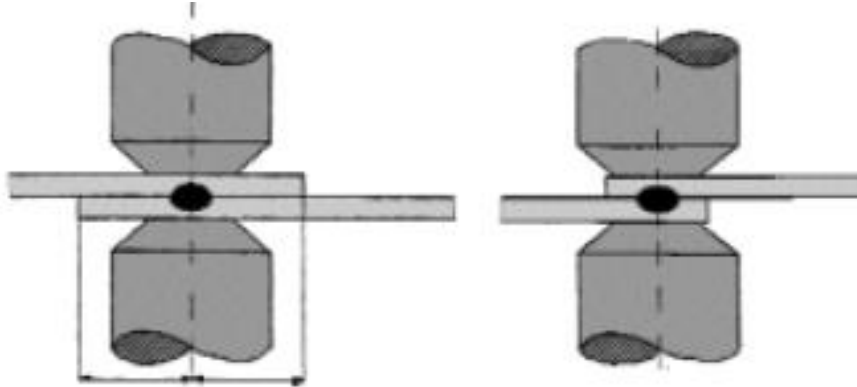


Figura 2.4. Distancia al borde o recubrimiento.

2.4 PARÁMETROS DE SOLDADURA.

2.4.1 Tiempo de compresión.

Es la fuerza por mm^2 de superficie activa del electrodo. (Figura 2.5)

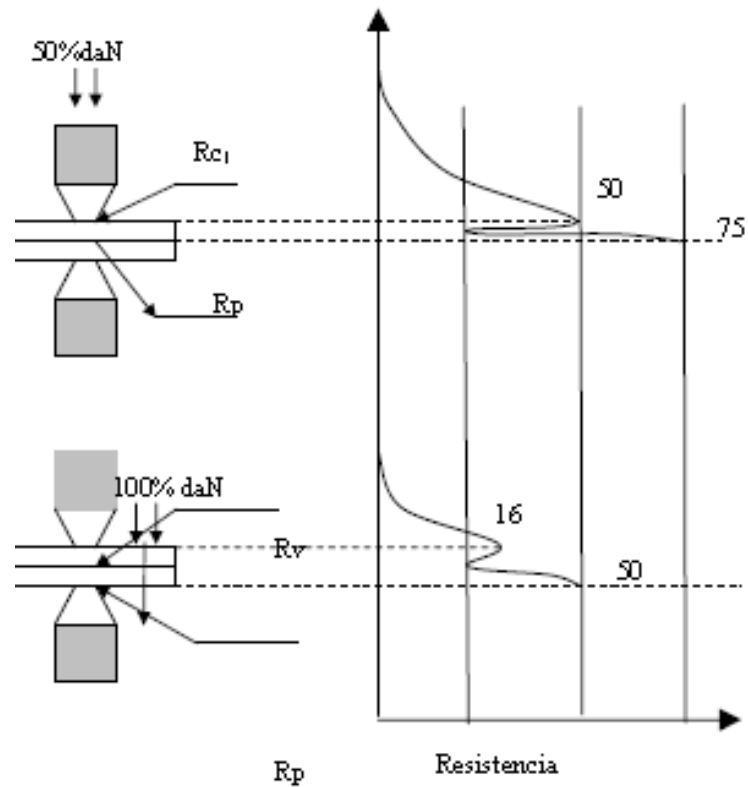


Figura 2.5. Tiempos de compresión.

2.4.2 Tiempo de soldadura.

El objetivo del paso de la corriente es fundir y alcanzar la temperatura de forja en las zona donde se debe crear el punto de soldadura por lo que si se aplica un exceso de corriente y o de tiempo se produce una fusión de material superior a la necesaria, se produce proyecciones de chispas, vaciado de la soldadura y destrucción de la cara activa del electrodo por haberse producido mayor aportación de calor de la necesaria.

2.4.3 Tiempo mantenido de la presión.

Durante el proceso de soldadura, al iniciarse el paso de la corriente, se inicia un ligero aplastamiento por contacto de superficies, que el electrodo debe seguir sin que se pierda la presión en la soldadura (Figura 2.6), y a continuación al dilatarse el material por defecto del calor, aumenta el grueso del material el cual desplaza al electrodo, al iniciarse la fusión, que formara el punto, vuelve a disminuir el grosor. El conjunto de esos movimientos es lo que se llama tiempo mantenido.

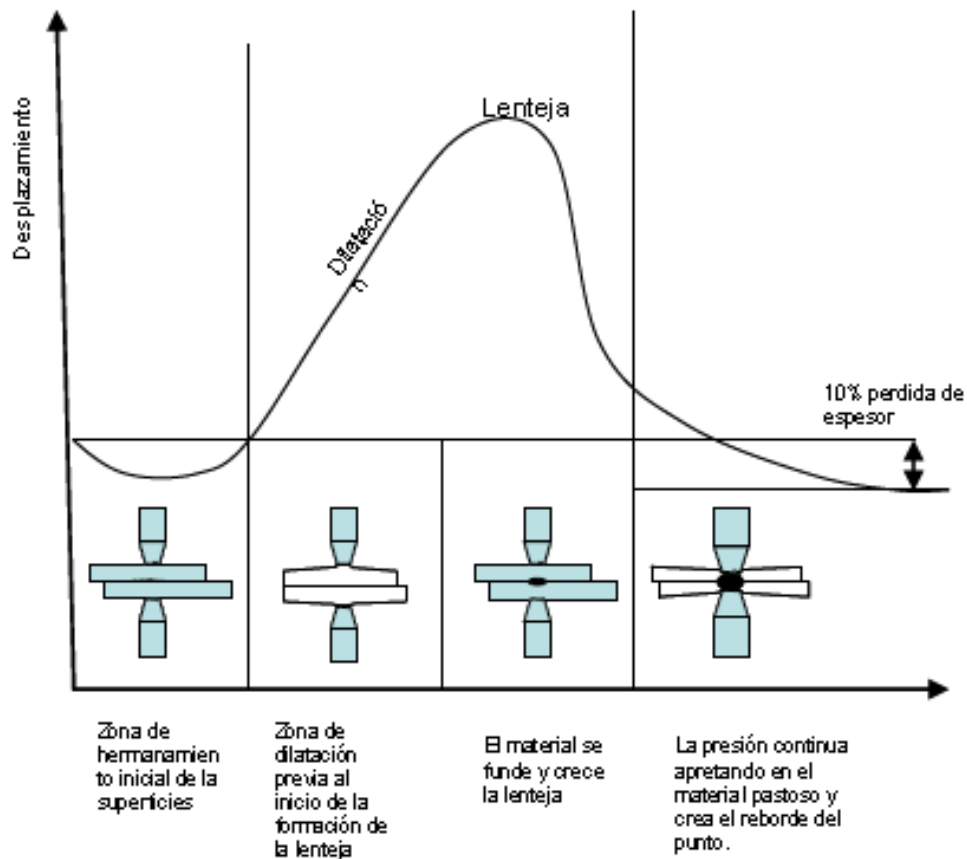


Figura 2.6. Tiempo mantenido de la presión.

2.4.4 Tiempo de enfriamiento.

Es importante e indispensable, el enfriamiento de la pieza a soldar en la zona de contacto con el electrodo para que solidifique el punto de soldadura fundida bajo presión durante el tiempo de mantenimiento inmediato posterior al de soldadura. En la máquinas de soldar la misión del agua no es solamente la de enfriar la máquina, sino que interviene de forma importante en la calidad de la soldadura obtenida y en la duración de los electrodos, la temperatura del agua en la entrada no debe de sobrepasar los 25 °C y normalmente la presión en la entrada con el agua circulando tiene que ser de 250 kPa

2.5 PUNTO DE SOLDADURA.

Se observa que al inicio el proceso de soldadura la corriente pasa a través de cinco diferentes resistencias generadoras de calor (Figura 2.7).

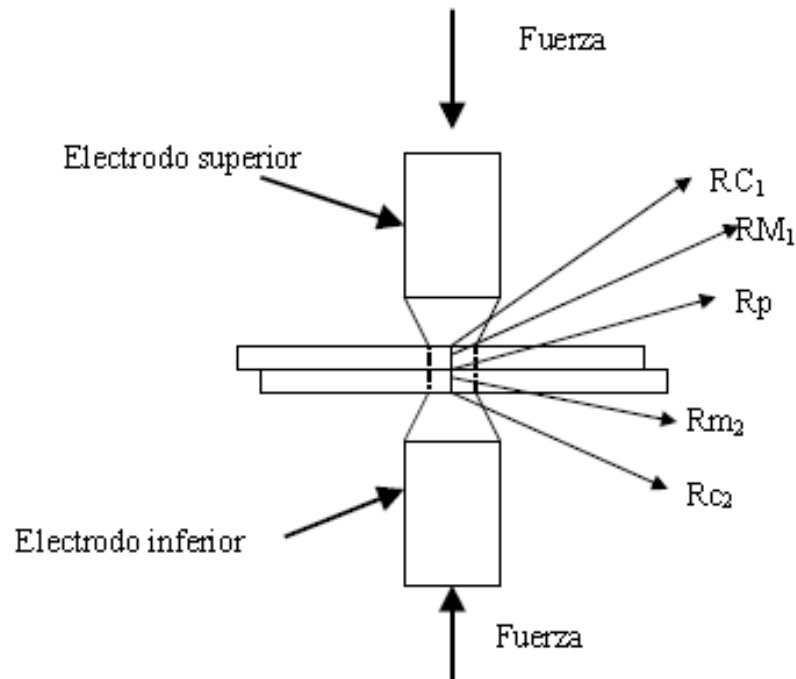


Figura 2.7. Diferentes resistencias por la cual circula la corriente.

- **Resistencia principal. (R_p).** Esta es la resistencia de contacto entre las piezas a soldar y donde nos convendría que se depositase toda la energía, el calor, durante el proceso. El esfuerzo aplicado a la soldadura reduce su valor.
- **Resistencia material₁ y Resistencia material₂. (R_{m1} y R_{m2}).** Estas son las resistencias propias del material a soldar y no podemos actuar sobre ellas. En frío, al inicio de la soldadura, estas resistencias tienen un valor pequeño que se multiplica por aprox. 10 al aumentar la temperatura generando un calor inevitable y necesario que poco después de iniciar el proceso será el principal componente del calor aplicado a la soldadura.
- **$R_{contacto_1}$ y $R_{contacto_2}$. (R_{c1} y R_{c2}).** Estas son las resistencias de contacto del electrodo con la pieza. La energía, el calor, que se deposita en esas zonas debido a esas resistencias es la principal causa de problemas.

2.5.1 Las piezas a soldar.

Para unir las piezas con puntos de buena calidad también deben exigírseles ciertas condiciones en cuanto a formas, dimensiones y situaciones de los puntos. A falta de ese dato se debe prever que el centro del punto este, como mínimo, a una distancia del borde más próximo equivalente de 1.1 a 1.3 veces su diámetro o el de la cara activa del electrodo. (Figura 2.8).

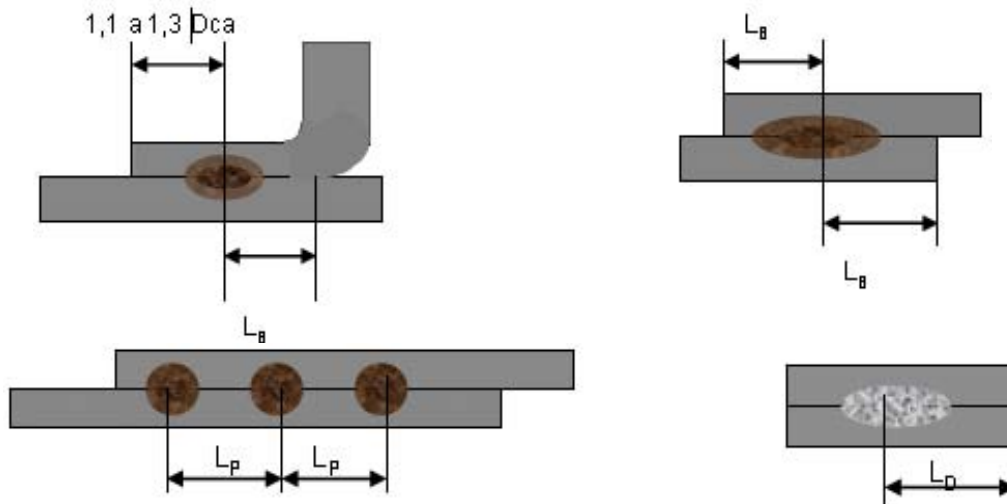


Figura 2.8. L_p es la fusión del espesor del material.

2.5.2 Aspectos y características.

El resultado óptimo a conseguir es un punto entre las dos piezas a unir formada por un material fundido de ambas. (Figura 2.9). El diámetro del punto tiene que ser del orden del 90% al 110%

del diámetro de la cara activa del electrodo. El espesor del punto tiene que ser inferior a la suma del espesor del material soldado.

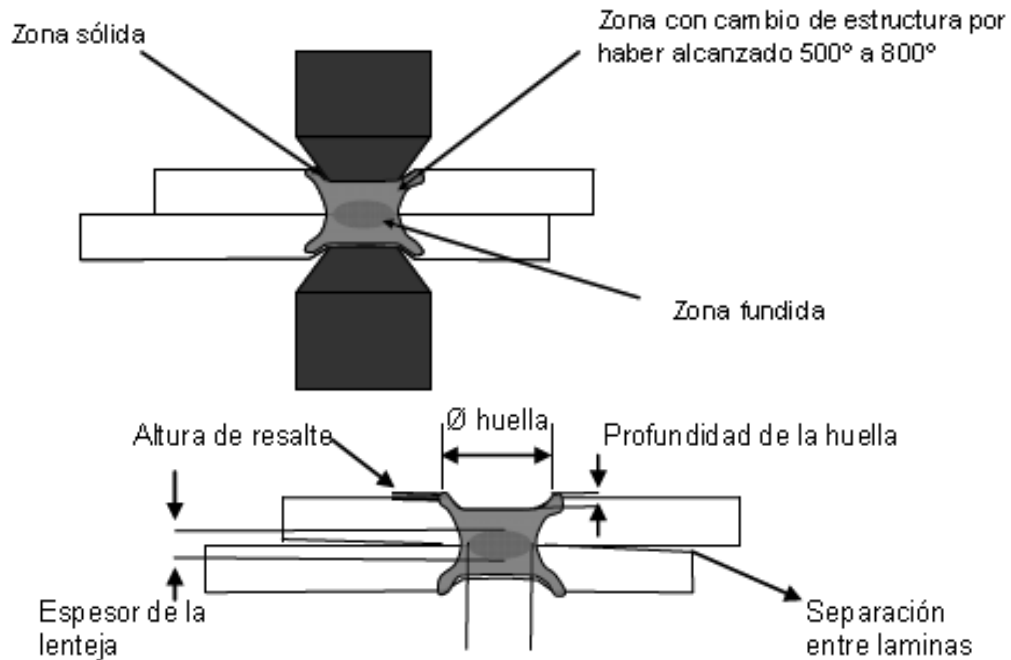


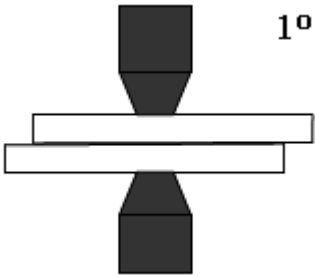
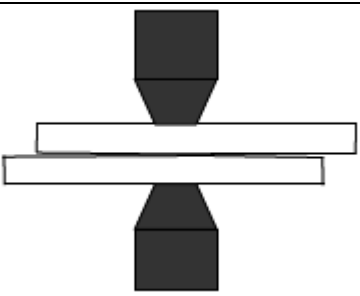
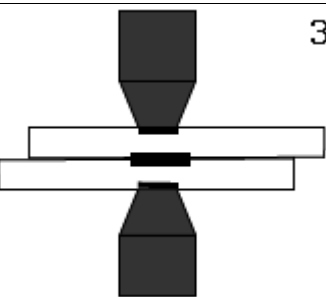
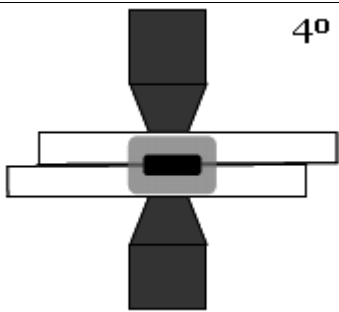
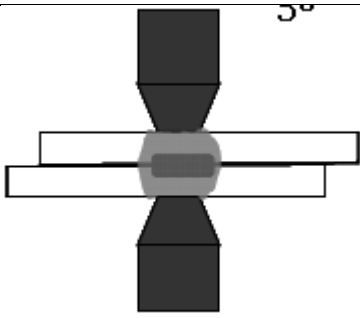
Figura 2.9. El resultado óptimo a conseguir es un punto entre las dos piezas a unir formada por un material fundido de ambas.

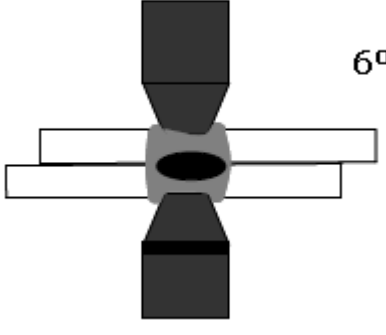
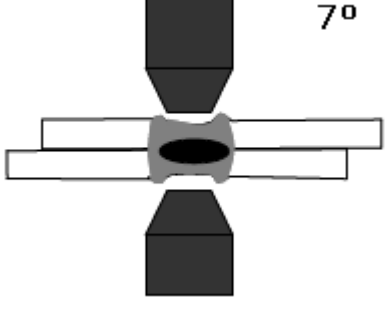
La zona central de la huella tiene que tener un color más claro que la periferia pues el electrodo la enfría y por lo tanto se oxida menos que esta periferia que no está en contacto con el electrodo. Una huella que parece correcta pero con su centro ennegrecido muestra que el electrodo no ha enfriado lo suficiente la superficie después de realizar la soldadura.

2.5.3 Proceso de formación de un punto de soldadura

En la tabla 2.1. se muestra el proceso de formación de un punto de soldadura.

Tabla 2.1. Proceso de formación del punto de soldadura por resistencia de puntos.

1°	 <p style="text-align: right;">1°</p>	<p>Cuando se inicia el contacto de los electrodos y antes de aplicar toda la presión solo hace contacto el 10 a 30% de la sección.</p>
2°		<p>Con toda la presión ya ha mejorado la zona de contacto</p>
3°	 <p style="text-align: right;">3</p>	<p>Al inicio del paso de corriente se centra el calor en las zonas de contacto.</p>
4°	 <p style="text-align: right;">4°</p>	<p>Ya se ha formado el punto y parte de la huella hay reducción de pérdidas en las zonas de contacto y mayor aportación de calor en el material.</p>
5°	 <p style="text-align: right;">5°</p>	<p>A la superficie de la pieza se le tiene que robar calor a través del cobre del electrodo y formar una piel que contiene un crisol de metal fundido el cual no debe entrar en contacto con los electrodos.</p>

6°		<p>6°</p> <p>Cuando ha terminado la soldadura los electrodos deben de permanecer en contacto un tiempo para disipar el calor de la lámina. Es el tiempo de mantenimiento.</p>
7°		<p>7°</p> <p>La marca en la superficie es visible y debe ser más clara en el centro que en la periferia.</p>

2.5.4 Preparación de equipo para antes de soldar.

Una premisa básica es que salvo para trabajos cortos o esporádicos los brazos, porta brazos, porta electrodos, electrodos etc. tiene que ser los apropiados para el trabajo a realizar procurando un trabajo cómodo para el operario, una buena accesibilidad para la pieza y que abarquen la mínima área posible (Figura 2.10).

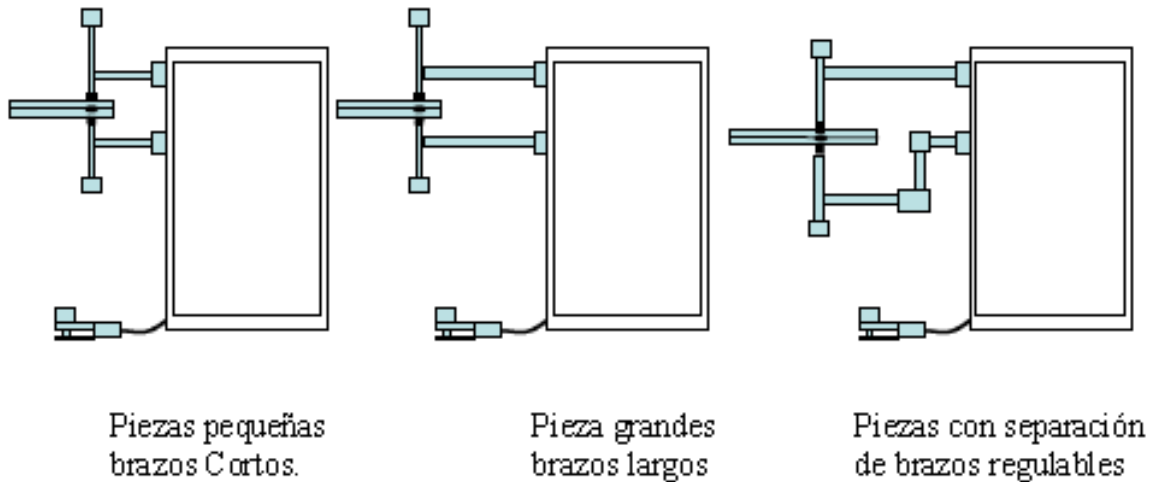


Figura 2.10. Herramientas ocupadas para la formación de los puntos.

Otro gráfico del que se debe disponer es la deformación debida al esfuerzo. Es importante tener en cuenta que durante el montaje y la preparación de la máquina, el contacto y sujeción de los componentes no debe responder tan solo a características mecánicas, pues por buen parte de ese circuito mecánico de esfuerzos y por esas uniones tiene que circular elevadas corrientes eléctricas que precisan limpieza y la máxima superficie en los contactos, evitando la interposición de cualquier producto que pueda perjudicar el paso de esa corriente.

2.5.5 Agua.

Es muy importante revisar periódicamente el correcto funcionamiento del circuito del agua, el cual tiene mucha importancia en la calidad de la soldadura y en el consumo de electrodos

El tubo que llega hasta el interior del electrodo tiene que acabar en pico de flauta y su extremo tiene que estar a una distancia del fondo del electrodo equivalente al diámetro interno del tubo.

2.5.6 Situación de los puntos de soldadura.

El punto de soldadura debe darse a una distancia del borde de la pieza, que evite el vaciado del punto. (Figura 2.11).

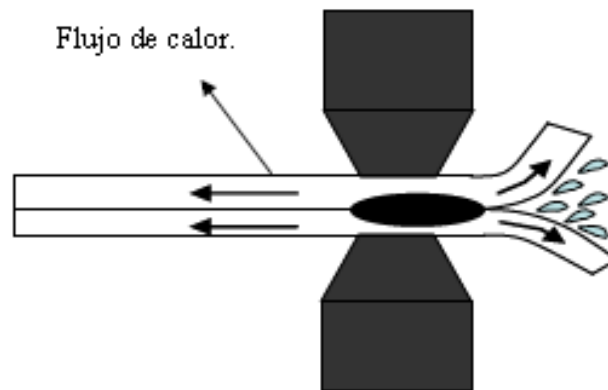


Figura 2.11. Situación de los puntos de soldadura.

Si no se puede respetar las distancias aconsejadas pruebe el soldeo con calentamiento previo (solo como orientación, con un 50% de tiempo y de la corriente prevista) para que se adapte muy bien las superficies a soldar, y, después de un breve tiempo frío, del orden de tres periodos, soldar con tiempo muy corto, elevada presión y alta intensidad.



Figura 2.12. Forma de aplicación de los puntos de soldadura.

Los puntos de soldadura tienen que estar suficientemente separados para que la corriente eléctrica que se desvía y pasa por el punto ya soldado no sea significativa. (Figura 2.12).

2.5.7 Electrodo.

Las herramientas que son más usadas, y por ello tienen un mayor desgaste son los electrodos, los cuales pueden tener diferentes formas y tamaños. Igualmente se utilizan los porta – electrodos o adaptadores para adaptar los electrodos a la máquina.

Un electrodo de soldadura puede prestar las siguientes funciones:

- Conducir la corriente eléctrica hacia todas las partes del sistema.
- Transmitir la presión en la punta de soldadura.
- Fijar y soportar los materiales a soldar en su debido alineamiento.
- Retirar el calor que se produce en la zona soldada a zonas adyacentes.

Todos los electrodos soportan una gran densidad de corriente (8 - 120 A/mm²), al igual que elevadas presiones 700 - 4000 kg/mm², por ello para su utilización se debe tener en cuenta las siguientes condiciones: vida del electrodo, calidad de soldadura o producción, por ello su adecuada solución derivará en unas buenas o malas prácticas.

En el electrodo se pueden distinguir cuatro partes fundamentales: (Figura 2.13)

1. Punta: Determina la densidad de corriente y la presión sobre la zona a soldar.

2. Mango: De sección adecuada, pues debe soportar el esfuerzo a compresión y el paso de corriente eléctrica.
3. El empalme: Existen de dos tipos, roscado o a presión.
4. El taladro interior: Por el cual circula el agua de refrigeración.

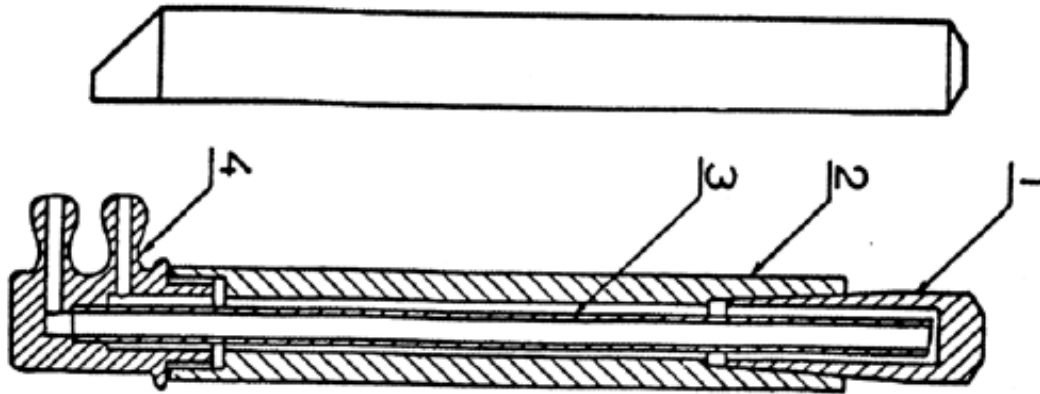


Figura 2.13. Partes fundamentales de un electrodo.

Se deben tener en cuenta algunas consideraciones para su cuidado (prolongación de su vida):

- 1) Correcta refrigeración.
- 2) Perfecto alineamiento.
- 3) Correcta presión y corriente eléctrica (según la clase de electrodo).
- 4) No golpear ni deformar la base de la punta.

2.5.7.1 Materiales

Los electrodos estándar están divididos en dos grandes grupos:

- Aleaciones de base cobre (A).
- Aleaciones refractarias (B).

2.5.7.1.1 *Grupo A*

Las aleaciones de base cobre, con las que se fabrican estos electrodos de soldadura, están divididas en cinco grandes grupos o clases:

Clase 1: Están fabricados con aleación no tratable, viéndose incrementada su dureza y resistencia por el trabajado en frío, no pueden ser fabricados por fusión. Se aplican en la soldadura de aleaciones que presentan gran conductividad térmica, Al, Mg, bronce y eléctrica, latones.

Clase 2: Presentan mayor resistencia mecánica que los de la clase 1, pero su conductividad eléctrica y térmica es menor. Sus propiedades mecánicas, se obtienen a partir de tratamientos térmicos de precipitación en estado sólido (solubilización + temple + recocido = envejecimiento). Se recomienda para la soldadura por puntos o por roldanas de acero, de baja aleación, inoxidable, bronce de baja conductividad, níquel y aleaciones. Se pueden obtener estos electrodos por colada y trabajando antes del tratamiento térmico.

Clase 3: Su resistencia mecánica, también es obtenida por tratamiento de envejecimiento, contienen mayor cantidad de elementos aleantes, por esta razón, conducen menos la electricidad y el calor. Se utilizan para la soldadura por proyección de metales y aleaciones de gran resistencia mecánica, como son inoxidable, aceros, inconel (níquel-cromo-hierro).

Clase 4: La fabricación es similar a la de la clase 3, siendo los de mayor resistencia y dureza de la clase A. Se utilizan en soldadura por proyección. Por presentar muy buenas propiedades mecánicas son óptimos para soportar elevadas presiones de soldadura.

Clase 5: Solo son utilizadas para mordazas en circuitos secundarios, y presentan una gran resistencia mecánica y moderada conductividad eléctrica. Son obtenidos por fundición y posteriormente tratados térmicamente.

2.5.7.1.2 Grupo B.

Estos electrodos son fabricados por metalurgia de polvos (pulvimetalurgia). Están constituidos por wolframio - cobre o molibdeno - cobre, aunque también existen como W y Mo puros. Solo se utilizan cuando los materiales a soldar son muy resistentes. Estos electrodos presentan gran resistencia mecánica y al desgaste a elevada temperatura.

Existen cinco clases: clases 10, 11, 12 (compuestos Cobre-Wolframio, Cobre-Molibdeno) y en los de la clase 13, 14 de Wolframio y Molibdeno puros, son los más idóneos para soldar metales y aleaciones de gran conductividad eléctrica y térmica.

2.6 TIPOS DE SOLDADURA DE RESISTENCIA POR PUNTOS.

- Soldadura con doble punto.

La soldadura con doble punto o soldadura en serie es un tipo de soldadura por presión que se utiliza cuando no se tiene acceso con los dos electrodos a las dos caras de la unión. En este tipo de soldadura los dos electrodos se aplican sobre la lámina superior. Para que la soldadura pueda realizarse, el espesor de la lámina inferior ha de ser igual o mayor al de la lámina superior y, de este modo, evitar el cortocircuito a través de esta última.

- Soldadura con un solo electrodo.

La soldadura con un sólo electrodo o por empuje se realiza aplicando un electrodo a una lámina y una masa de superficie amplia en la otra. La masa debe fijarse en las proximidades inmediatas al punto de soldadura y en la lámina donde no se aplica el electrodo. Los puntos por empuje son de escasa resistencia, dado que la lámina se abomba hacia afuera al calentarse y el material superior se une al inferior en un área muy reducida. La experiencia demuestra que estos puntos carecen muchas veces de la resistencia suficiente al no poder alcanzarse la presión de apriete requerida, por lo que es preferible sustituirlos por soldadura MIG a tapón.

2.7 EQUIPO UTILIZADO EN EL PROCESO DE SOLDADURA POR PUNTOS.

La selección de los equipos de soldadura por resistencia viene determinada principalmente por varios factores como son: los materiales a soldar, los tipos de unión (diseño de la fuente, la calidad y el ritmo de producción, a parte de las condiciones económicas pertinentes).

Una máquina de soldadura por resistencia consta principalmente de tres elementos:

- a) Un circuito eléctrico que consiste en un transformador de soldadura, y un circuito secundario que incluye los electrodos que permiten la conducción de la corriente eléctrica.
- b) Un sistema mecánico que permita, a través de un sistema hidráulico o neumático, ejercer sobre los materiales a soldar, la presión necesaria para favorecer la unión.
- c) Un sistema de control que permita regular el tiempo de paso de la corriente eléctrica, la secuencia de tiempos, y la magnitud de la corriente eléctrica aplicada.

Las máquinas de soldadura por resistencia se clasifican de acuerdo con su aplicación eléctrica en dos grupos básicos: de energía directa o de energía almacenada. En ambos casos las máquinas

más comunes, son las de energía directa monofásica, dado su bajo coste, fácil mantenimiento y elevadas prestaciones, pero en comparación con las trifásicas, el requerimiento eléctrico es mayor y por tanto se requieren fuentes de alimentación de mayor capacidad.

Independientemente de la estructura, tamaño y tipo del equipo todas las máquinas están dotadas de los siguientes elementos básicos:

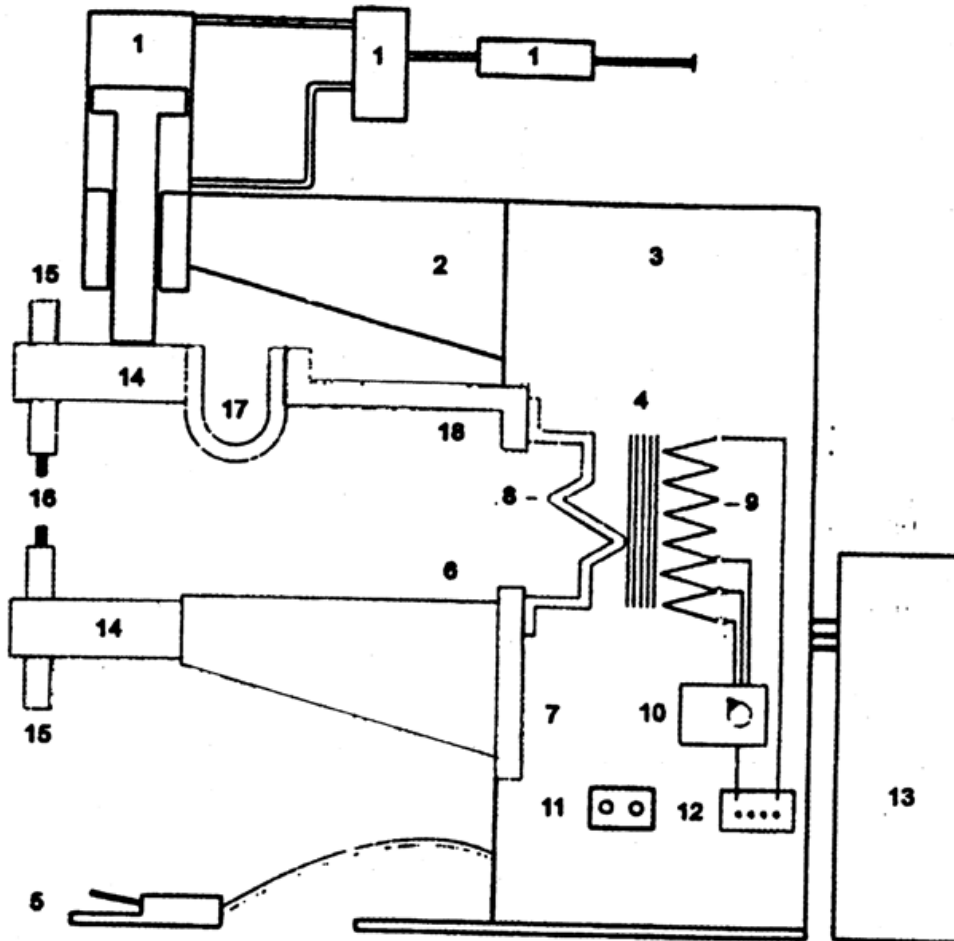
- Un sistema de puesta bajo presión de las piezas que hay que unir, que proporcionará a los electrodos una fuerza fácilmente regulable. Puede ser de accionamiento mecánico, hidráulico o neumático. Es el responsable del apriete de las piezas, modificando en cierta medida la resistencia de contacto y, sobre todo, de llevar a cabo la forja de la soldadura, al ser capaz de mantener el esfuerzo sobre las piezas, incluso después del corte de la corriente.
- Un transformador eléctrico, cuya misión es transformar la tensión e intensidad de la corriente alterna de la red.
- Un sistema de corte y temporización capaz de suministrar la energía deseada en el espacio de tiempo preciso.

El cabezal o pinza de soldadura está conectado a la unidad de alimentación mediante cables flexibles de una longitud determinada. El operario soporta este elemento durante la ejecución del trabajo. Su accionamiento suele efectuarse mediante un cilindro neumático que lleva incorporado, y que es puesto en funcionamiento por la electroválvula mandada por el pulsador eléctrico.

En el manejo general de estos equipos, conviene tener en cuenta algunas consideraciones:

- Se necesita una tensión de red estable para un correcto funcionamiento.
- La presión del aire de alimentación para la pinza se halla alrededor de 6 bares.
- No se deben forzar las conexiones.
- Es preciso soplar con aire seco el interior de la máquina para eliminar los depósitos de polvo.
- Hay que tener la precaución de no tirar de los cables de conexión o soldadura para mover el equipo.

En la Figura 2.14 se describen las partes principales de un equipo de soldadura por resistencia de puntos.



- | | |
|--|--|
| 1.- Dispositivo para dar presión a los electrodos. | 10.- Conmutador de regulación de potencia. |
| 2.- Brazo superior. | 11.- Alimentación de aire comprimido. |
| 3.- Armazón. | 12.- Placa de bornes de conexión eléctrica |
| 4.- Transformador de soldadura. | 13 Pararrayes eléctrico y armario electrónico. |
| 5.- Pedal de mando. | 14.- Soporte porta – electrodos. |
| 6.- Brazo inferior conductor. | 15.- Porta – electrodos. |
| 7.- Soporte de fijación del brazo inferior. | 16.- Electrodos. |
| 8.- Secundario del transformador. | 17.- Conductor superior flexible. |
| 9.- Primario del transformador. | 18.- Conductor |

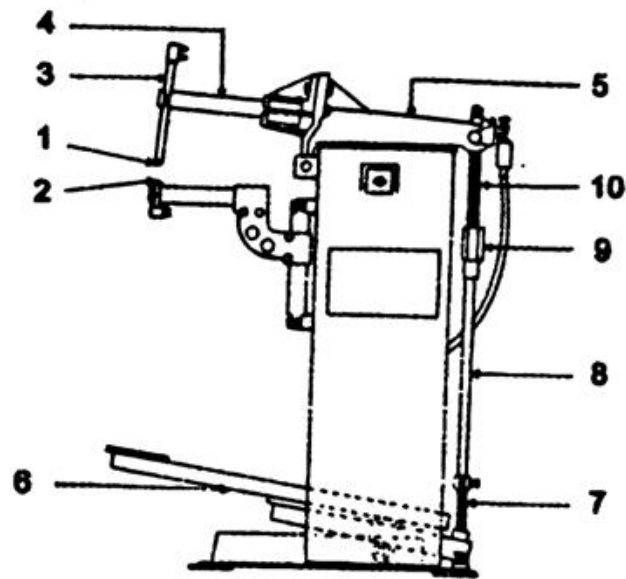
Figura 2.14. Representación esquemática de una maquina fija de soldar puntos.

Las máquinas de soldadura por resistencia constan de un sistema mecánico que permite aplicar la presión adecuada a los electrodos y estos al material a soldar. Estas máquinas se clasifican de acuerdo con el método de soldadura y el sistema de aplicación de la fuerza que puede ser de dos tipos: por aire (neumática o hidráulica). En las unidades pequeñas, la presión puede ser ejercida de forma manual.

2.7.1 Tipos de accionamientos.

2.7.1.1 Accionamiento manual.

Se utiliza tanto en máquinas portátiles como fijas. La fuerza es ejercida con la mano o el pie. El esfuerzo se transmite a los electrodos de soldadura, pero multiplicado por el brazo correspondiente. (Figura 2.15).



1.- Electrodo superior.	6.- Pedal
2.- Electrodo inferior	7.- Resorte de recuperación.
3.- Porta – electrodo.	8.- Barra.
4.- Brazo superior	9.- Regulación de la presión.
5.- Balancín.	10.- Resorte de la presión.

Figura 2.15. Máquina de soldar fija, de mando por pedal.

2.7.1.2 Accionamiento Neumático.

Principalmente el órgano motor es el cilindro con pistón alimentado por aire comprimido, por lo general, el eje del pistón va fijado directamente al porta – electrodos. En este tipo de sistemas pueden utilizarse cilindros de doble o simple efecto. (Figura 2.16)

Este tipo de sistema de accionamiento es utilizado muy a menudo, sobre todo en máquinas fijas, dada su multiplicidad y bajo costo, fácil mantenimiento y flexibilidad.

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1.- Llegada del aire comprimido. | 6.- Electroválvula de cuatro vías. |
| 2.- Filtro. | 7.- Cilindro neumático. |
| 3.- Manorreductor. | 8.- Pistón. |
| 4.- Manómetro. | 9.- Soporte de porta – electrodo. |
| 5.- Lubricador. | 10.- Porta – electrodo con su electrodo. |

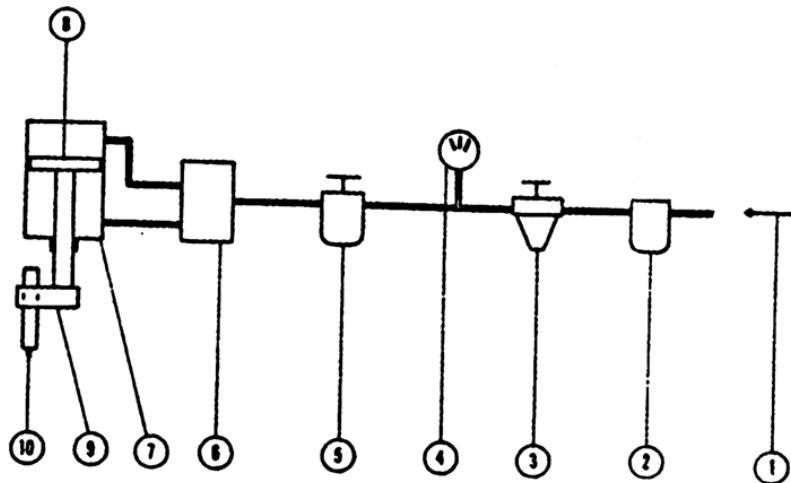
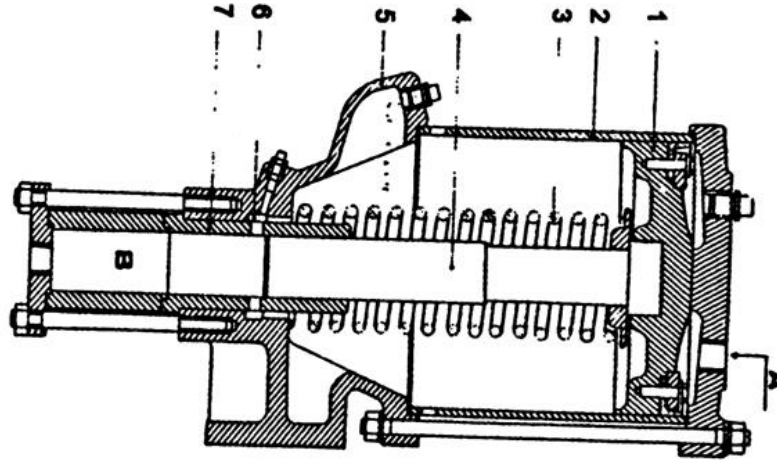


Figura 2.16. Sistema de aplicación de presión por accionamiento neumático.

2.7.1.3 Accionamiento hidráulico.

Si las dimensiones de los cilindros de presión han de ser reducidos, por ejemplo en el caso de soldaduras por puntos múltiples, o cuando su peso ha de ser lo menor posible, la presión se ejerce a través de un fluido a elevada presión (aceite, agua) (Figura 2.17).



- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1.- Pistón. | 5.- Cuba de reserva de aceite. |
| 2.- Cilindro de baja presión. | 6.- Llegada del aceite al cilindro. |
| 3.- Resorte de recuperación del pistón. | 7.- Cilindro. |
| 4.- Pistón de alta presión (aceite). | |

Figura 2.17. Sistema de control accionado mediante mandos hidráulicos.

CAPITULO 3

EL EQUIPO DE

ULTRASONIDO COMO

MÉTODO DE INSPECCIÓN

DEL PROCEDIMIENTO DE

SOLDADURA POR PUNTOS.

3.1 INTRODUCCIÓN.

En la actualidad existen diversas metodologías de inspección ultrasónica que han evolucionado a la par con el avance en la electrónica. En todo el mundo, estas tecnologías de Ultrasonido están reemplazando a las radiaciones ionizantes (ensayo RX y Gammagrafía) al no generar ningún tipo de riesgo para las personas y no contaminar el planeta.

El método del ultrasonido en la ingeniería es utilizado para el ensayo de los materiales, es una técnica de ensayo no destructivo (END) y tiene diversas aplicaciones, en especial para conocer el interior de un material o sus componentes según la trayectoria de la propagación de las ondas sonoras, al procesar las señales de las ondas sonoras se conoce el comportamiento de las mismas durante su propagación en el interior de la pieza. El análisis de los materiales mediante ultrasonido se basa en el principio físico: La onda acústica es afectada por el medio a través del cual viaja, debido a ello ocurren los cambios asociados con el paso de una onda sonora de alta frecuencia a través de un material en uno o más de los cuatro parámetros siguientes: tiempo de tránsito, atenuación, reflexión y frecuencia.

El presente trabajo expone los fundamentos requeridos en la inspección de soldaduras empleando técnicas ultrasónicas de última generación como Phased Array, TOFD (Time of flight diffraction, tiempo de viaje de difracción) o AUT (Automatic Ultrasonic, ultrasonido automático) en lugar de radiaciones ionizantes.

3.2 NOCIONES ACÚSTICAS.

3.2.1 Principios básicos de la acústica.

La acústica es una rama de la física interdisciplinaria que estudia el sonido, infrasonido y ultrasonido, es decir ondas mecánicas que se propagan a través de la materia (tanto sólida como líquida o gaseosa, no pueden propagarse en el vacío) por medio de modelos físicos y matemáticos.

3.2.1.1 Términos utilizados frecuentemente en el estudio de la acústica.

- **Oscilación (ciclos):** Es el cambio periódico de la condición o el comportamiento de un cuerpo.
- **Onda:** Es una propagación de una oscilación y sucede cuando las partículas de un material oscilan transmitiendo su vibración a la adyacente.
- **Periodo (T):** Tiempo necesario para llevar a cabo una oscilación.

- **Frecuencia (f):** Es la inversa del período. Las ondas del sonido oscilan a una frecuencia específica, esto es, número de vibraciones o ciclos por segundo.
- **Amplitud (A):** Es la máxima desviación de oscilación, si esta es constante en el tiempo la oscilación se considera como desamortiguada (para materiales perfectamente elásticos), en cambio si esta decrece con el tiempo, la oscilación se considera como amortiguada.
- **Amortiguación o Atenuación:** Es la reducción del nivel de una señal, cuando pasa a través de un elemento.
- **Velocidad de propagación:** La velocidad del sonido es usualmente el parámetro ultrasónico más fácil de medir, en un medio homogéneo está directamente relacionado con el módulo de elasticidad, densidad del material, módulo de Poisson, y el grado de homogeneidad.
- **Longitud de onda (λ):** Es la distancia entre dos puntos adyacentes de condición de oscilación equivalente mirando en la dirección de propagación. Cualquier tipo de onda tendrá una longitud asociada a la distancia entre dos puntos correspondiente de un ciclo de onda. Véase la Figura 3.1 con la ilustración de la longitud y periodo de una onda.

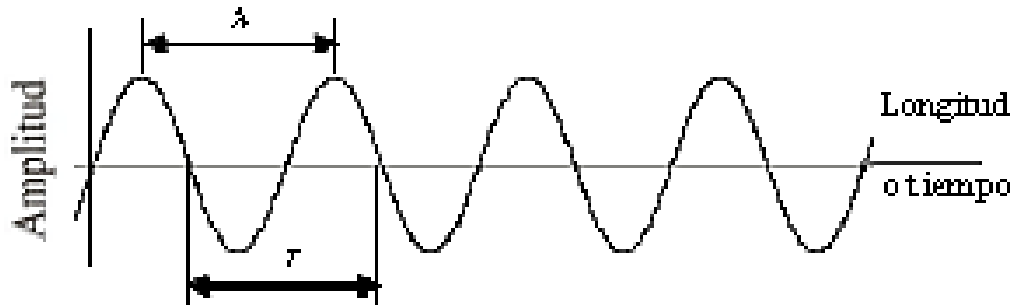


Figura 3.1. Longitud y frecuencia de onda.

- **Frente de onda:** Es el lugar geométrico en que los puntos del medio son alcanzados en un mismo instante por una determinada onda.
- **Dispersión:** Los cambios son disimiles dependiendo de la concentración, estructura, orientación de las fibras, porosidad, tamaño de la partícula, y otras variaciones micro estructurales que afectan la amplitud, la dirección, y la frecuencia de las señales de onda.

3.3 ONDAS ULTRASÓNICAS.

Las ondas ultrasónicas son ondas acústicas de idéntica naturaleza que las ondas sónicas, diferenciándose de estas en que su campo de frecuencias se encuentra por encima de la zona audible.

3.3.1 Tipos de ondas ultrasónicas.

3.3.1.1 Ondas longitudinales.

Se tienen ondas longitudinales cuando la dirección de oscilación de las partículas es paralela a la dirección de propagación de la onda. En la figura 3.2, se esquematiza la propagación del ultrasonido mediante ondas longitudinales.

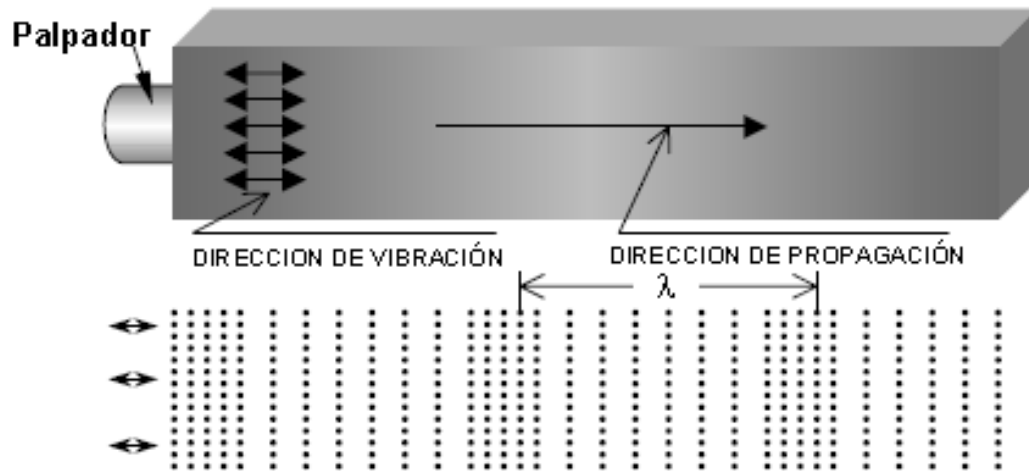


Figura 3.2. Representación esquemática de la propagación de ondas longitudinales.

Estas son las ondas más utilizadas en ultrasonido porque, además de propagarse en cualquier medio, son fácilmente generadas y detectadas. Pueden ser orientadas y localizadas en un haz concentrado y poseen alta velocidad.

3.3.1.2 Ondas transversales.

Se tienen ondas transversales cuando la dirección de oscilación de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación de la onda ultrasónica. Esto se verifica en los materiales sólidos cuando la onda ultrasónica penetra en el material con un cierto ángulo respecto a la superficie.

En la figura 3.3 se ha esquematizado la propagación de las ondas transversales. En este caso se observa que las partículas se alejan y acercan a su posición de equilibrio en dirección normal a la propagación de la onda manteniendo constante sus distancias relativas.

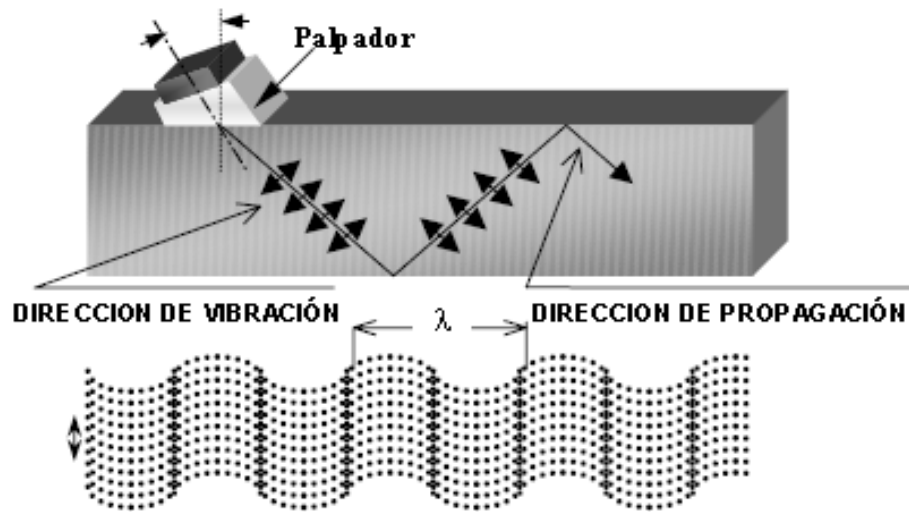


Figura 3.3. Representación esquemática de la propagación de ondas transversales.

3.3.1.3 Ondas superficiales.

Se habla de ondas superficiales cuando el haz de ondas ultrasónicas se propaga exclusivamente en la superficie del material siguiendo el perfil del cuerpo, siempre que no haya variaciones bruscas en el mismo (Figura 3.4).

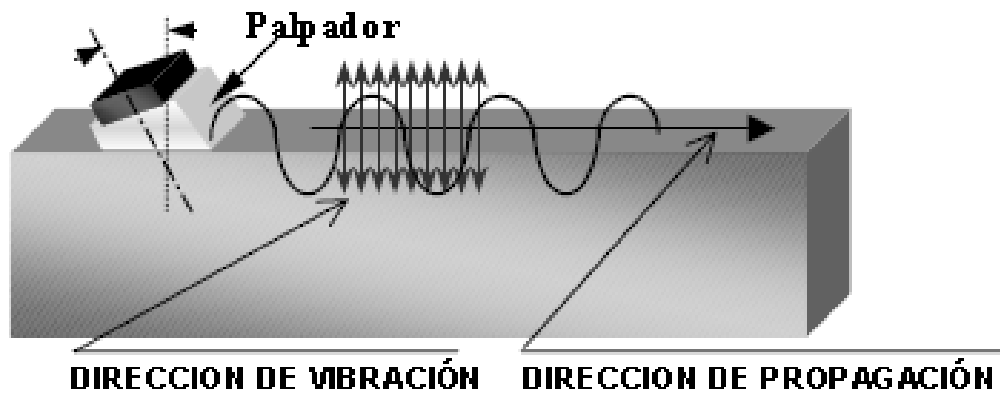


Figura 3.4. Representación esquemática de la propagación de ondas superficiales.

Son ondas que se propagan sobre las superficies de los sólidos de espesores relativamente gruesos penetrando aproximadamente una longitud de onda. Estas ondas son utilizadas en el método de ultrasonido porque son particularmente sensibles a defectos en la superficie y son capaces de copiar posibles curvas que dichas superficies posean.

Existen dos tipos de ondas superficiales y son:

- 1 Ondas Rayleigh. Las ondas Rayleigh son ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua.
- 2 Ondas Love. Las ondas “Love” son ondas superficiales que provocan cortes horizontales en la tierra.

3.3.1.4 Ondas de Lamb.

Las ondas de Lamb aparecen en cuerpos cuyo espesor es del mismo orden que una longitud de onda. Estas se propagan paralelas a la superficie a través de todo el espesor de material. Son muy influenciadas por el espesor del material y la frecuencia de movimiento.

Las ondas de Lamb se obtienen en láminas delgadas y también en tubos cuyos espesores son aproximadamente del orden de la longitud de onda y, prácticamente en materiales con espesores comprendidos entre 0,1 y 30 mm, en los cuales intervienen en la propagación del haz ultrasónico, la totalidad del material, vibrando la lámina en su conjunto. Son utilizadas, generalmente, para escanear láminas, alambres y tubos.

El movimiento de las partículas es similar al movimiento en elipse mencionado anteriormente generando dos modos principales de vibración, el llamado Simétrico o Modo extensional (moviéndose paralelas a la superficie simétricamente respecto al plano medio) y el Anti simétrico, o llamado Modo Flexional, el mayor movimiento de las partículas es perpendicular a la superficie, en este modo la placa se flexiona. Las siguientes imágenes presentan los movimientos antes descritos (Figura 3.5).

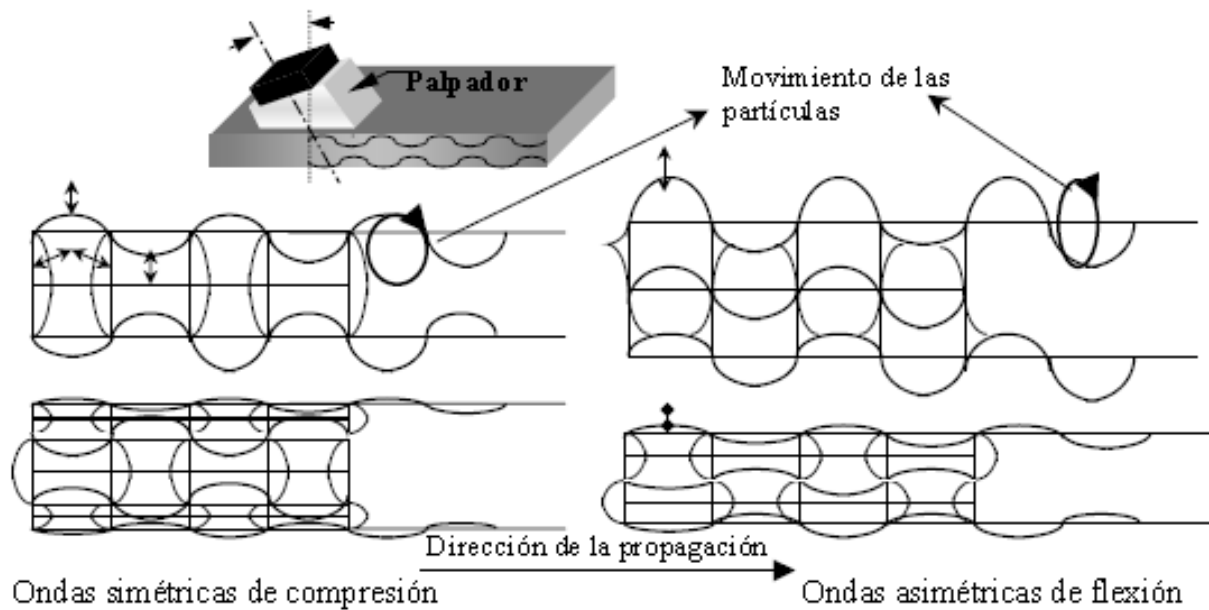


Figura 3.5. Propagación de ondas de Lamb.

3.3.2 Características de las ondas ultrasónicas.

- **Frecuencias.** El límite inferior de audibilidad se halla alrededor de 16Hz y el superior alrededor de 20kHz. Los rangos de interés son (Figura 3.6):
 - Subsónico: $f < 16\text{Hz}$, en este rango no se escucha ningún tono, solo se notará presión.
 - Sónico: $16\text{Hz} \leq f \leq 20\text{kHz}$, rango audible por el ser humano.
 - Ultrasónico: $f > 20\text{kHz}$.

Las frecuencias utilizadas en los ensayos ultrasónicos se encuentran en el rango de 0.5 a 25 MHz.

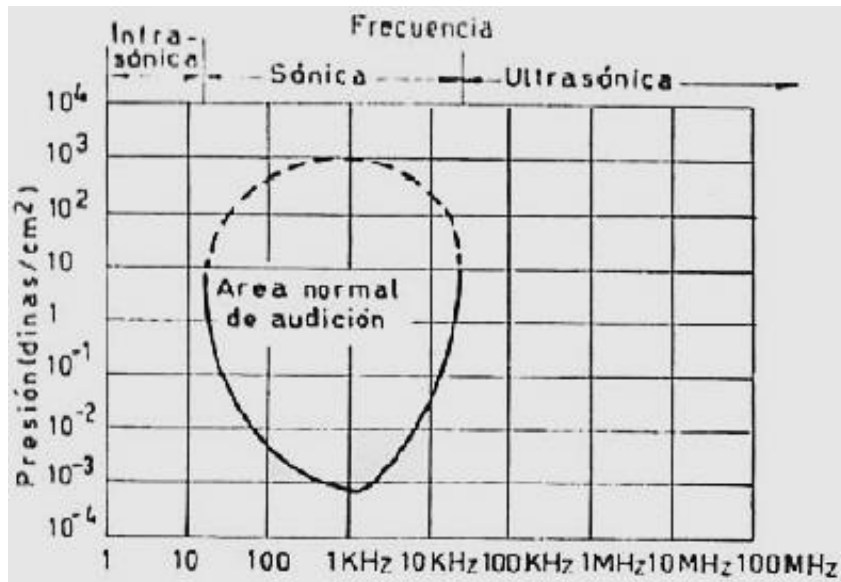


Figura 3.6. Espectro acústico.

- **Velocidad de propagación.** Para una onda transversal, su velocidad es aproximadamente la mitad de la de las ondas longitudinales. La velocidad de propagación de las ondas de Lamb y las de torsión de las dimensiones del mismo, del tipo de onda y de su frecuencia.
- **Intensidad del sonido.** La intensidad del sonido (I) es la cantidad de energía que transporta la onda por unidad de área en una unidad de tiempo.

3.4 RESEÑA HISTÓRICA DEL ULTRASONIDO.

En 1881, Jacques y Pierre Curie publicaron los resultados obtenidos al experimentar la aplicación de un campo eléctrico alternante sobre cristales de cuarzo y turmalina, los cuales produjeron ondas sonoras de muy altas frecuencias.

En el año de 1883, Galton investigó los límites de la audición humana, fijando la frecuencia máxima a la que podía oír una persona. Llegó a la conclusión de que los sonidos con frecuencias inaudibles por el ser humano, presentaban fenómenos de propagación similares al resto de las ondas sonoras, aunque con una absorción mucho mayor por parte del aire.

Joule en 1847 y Pierce en 1928 descubrieron el efecto magnetoestrictivo, directo e inverso. En abril de 1912 poco después del hundimiento del Titanic, L. F. Richardson, surgió la utilización de ecos ultrasónicos para detectar objetos sumergidos.

En 1917, Paul Langevin y Chilowsky produjeron el primer generador piezoeléctrico de ultrasonido, cuyo cristal servía también como receptor, y generaba cambios eléctricos al recibir vibraciones mecánicas. El aparato fue utilizado para estudiar el fondo marino, como una sonda ultrasónica para medir profundidad. En 1929, Sergei Sokolov, científico ruso, propuso el uso del ultrasonido para detectar grietas en metales basándose en el principio reflexión.

3.5 GENERACIÓN DEL ULTRASONIDO.

La inspección por ultrasonido es un método no destructivo en el cual un haz o un conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidos en los materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficie (Figura 3.7).

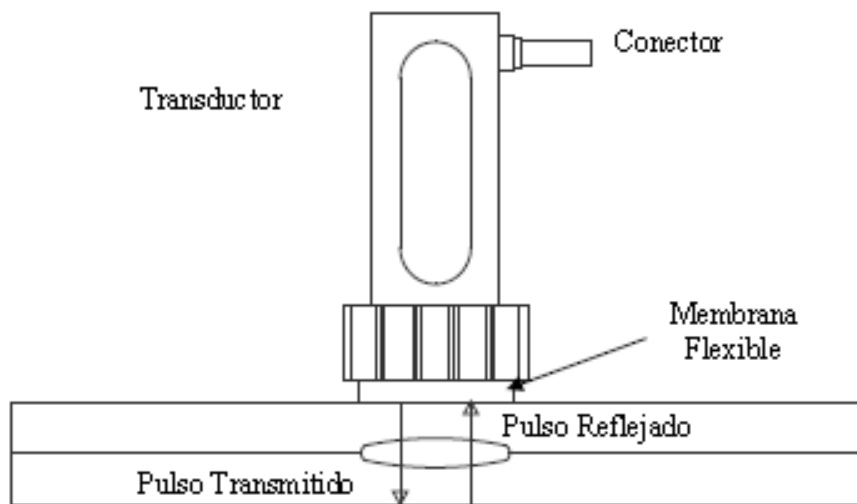


Figura 3.7. Esquema general del proceso.

La mayoría de los instrumentos de inspección ultrasónica detectan fallas monitoreando uno o más de los siguientes puntos:

- La reflexión del sonido de las interfaces consistentes en los límites del material o en discontinuidades dentro del material mismo.
- El tiempo de tránsito de la onda de sonido durante la prueba dentro de la pieza desde el punto de entrada del transductor hasta el punto de salida.

- La atenuación de las ondas de sonido en la pieza debido a la absorción y dispersión dentro de la pieza.

La mayoría de las inspecciones ultrasónicas son realizadas en frecuencias entre 0.1 y 25 MHz. La técnica de ultrasonido utiliza la ley de Snell. La cual establece que el producto del índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es constante para cualquier rayo de luz incidiendo sobre la superficie de separación de dos medios. Para la emisión y la recepción de las ondas ultrasónicas, se puede recurrir a diversos fenómenos físicos, de los cuales dos son los más utilizados en los ensayos no destructivos:

- El efecto piezoeléctrico.
- El efecto magnetostrictivo.

3.5.1 Fenómenos utilizados en la generación del ultrasonido.

3.5.1.1 Efecto magnetostrictivo.

Consiste en aprovechar la propiedad que tiene algunos materiales ferro magnéticos (especialmente el Níquel, además del acero) de contraerse o expandirse en determinada dirección cuando están sometidos a la influencia de campos magnéticos en condiciones especiales. (Figura 3.8). Este efecto es reciproco, lo que permite a su vez emisión y recepción de la ondas ultrasónicas.

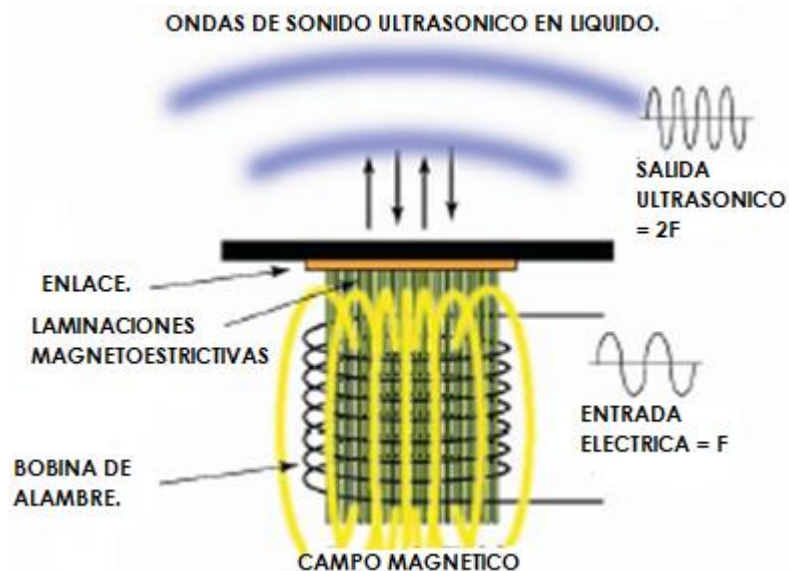


Figura 3.8. Esquema de generación por método magnetostrictivo.

Para la emisión o recepción de frecuencias ultrasónicas más bajas, tales como las utilizadas para los ensayos en hormigones (25–100 kHz), se utiliza normalmente el efecto magnetostrictivo. Los materiales magnetostrictivos cambian su forma bajo la influencia no de un campo eléctrico, sino de uno magnético, entre estos materiales se encuentran el níquel y sus aleaciones, así como los aceros y las ferritas. Este efecto es también recíproco, de manera que es idóneo tanto para la generación como para la recepción de ondas ultrasónicas.

3.5.1.2 Efecto piezoeléctrico

El efecto recíproco conduce a la generación de ultrasonidos, lo que puede ser explicado de la siguiente manera: Al ser sometido el cristal a la acción de un campo alterno de elevada frecuencia, este seguirá la acción de dicho campo; esto sólo será posible si se ha realizado un corte conveniente al cristal.

3.5.1.2.1 Cerámicas piezoeléctricas.

Los elementos utilizados son (figura 3.9), básicamente, una pieza de material polarizado (en cierta parte las moléculas se encuentran cargadas positivamente mientras que en otra parte las moléculas se encuentran cargadas negativamente) con electrodos adheridos a dos de sus caras opuestas. El método de generación de ultrasonido permite alcanzar frecuencias de hasta 25 Megaciclos por segundo (25MHz).

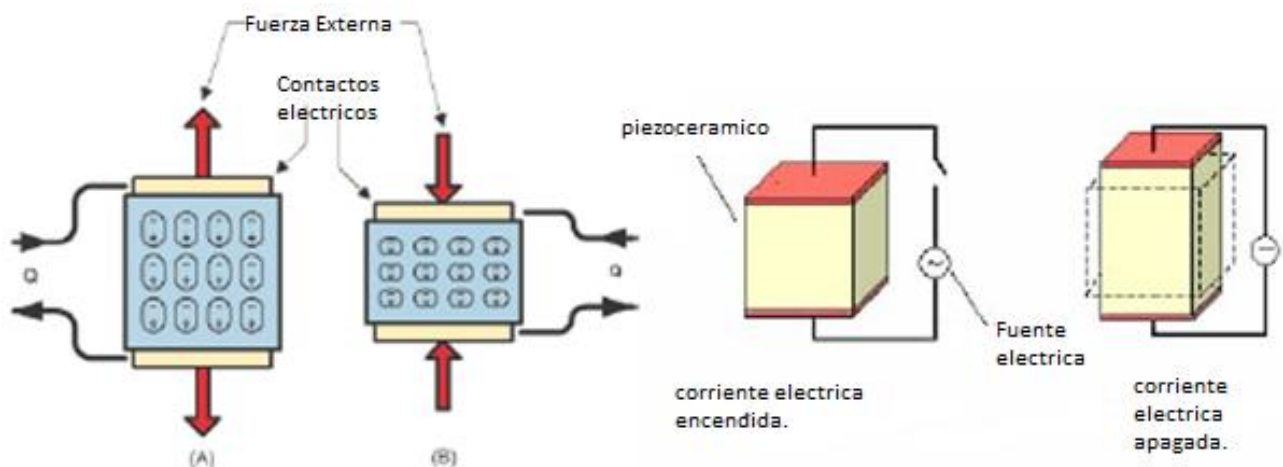


Figura 3.9. Esquema de elementos piezoeléctricos.

3.5.2 Geometría del haz ultrasónico.

Este haz no es totalmente recto. Si se mide la intensidad del haz sonoro a varias distancias del palpador, se observa que es posible distinguir tres zonas diferentes, tal y como se muestra en la figura 3.10. Estas zonas son conocidas como: Zona muerta, Zona de campo próximo o Zona de Fresnel y Zona de Campo Lejano o Zona de Fraunhofer.

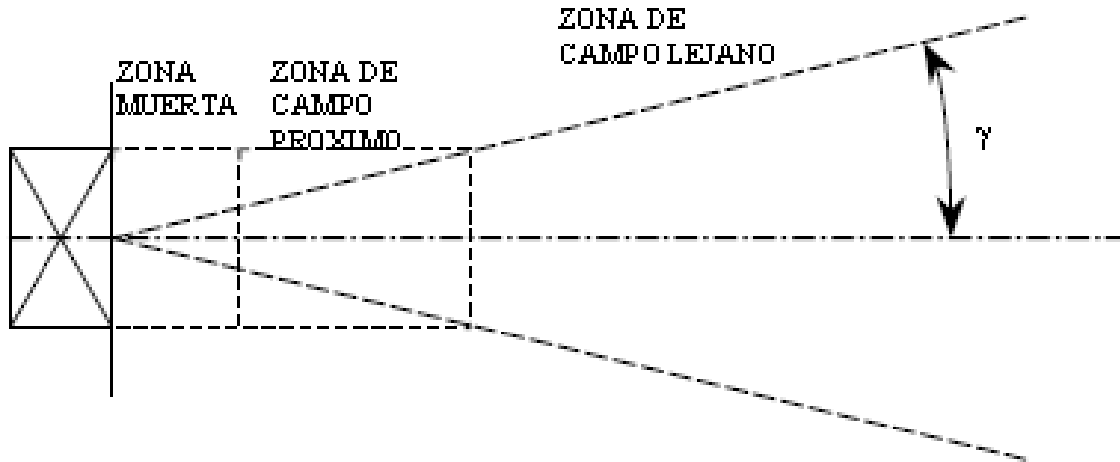


Figura 3.10. Diagrama del haz ultrasónico mostrando las diferentes zonas de intensidad.

3.5.2.1 Zona muerta.

La intensidad del Ultrasonido no es uniforme a lo largo del haz, debido al tamaño limitado de la fuente (oscilador), que da lugar a los efectos de la difracción. La zona muerta se debe a la interferencia producida por las vibraciones del cristal oscilador y su presencia en el haz y está determinada por el tiempo de oscilación. Recibe este nombre porque cualquier discontinuidad presente en esta, será totalmente ignorada durante el tiempo de oscilación del cristal, debido a que la presión acústica del haz es nula en toda su profundidad.

3.5.2.2 Campo próximo (zona cercana) o zona de Fresnel.

En la proximidad al oscilador hay extensas fluctuaciones, ocasionando un campo con máximos y mínimos de presión acústica; es decir un fenómeno de interferencia del campo ultrasónico conocido como campo próximo (zona cercana) o zona de Fresnel.

En la dirección de propagación de la onda existe el último máximo localizado en el eje, es decir, el máximo principal (figura 3.11).

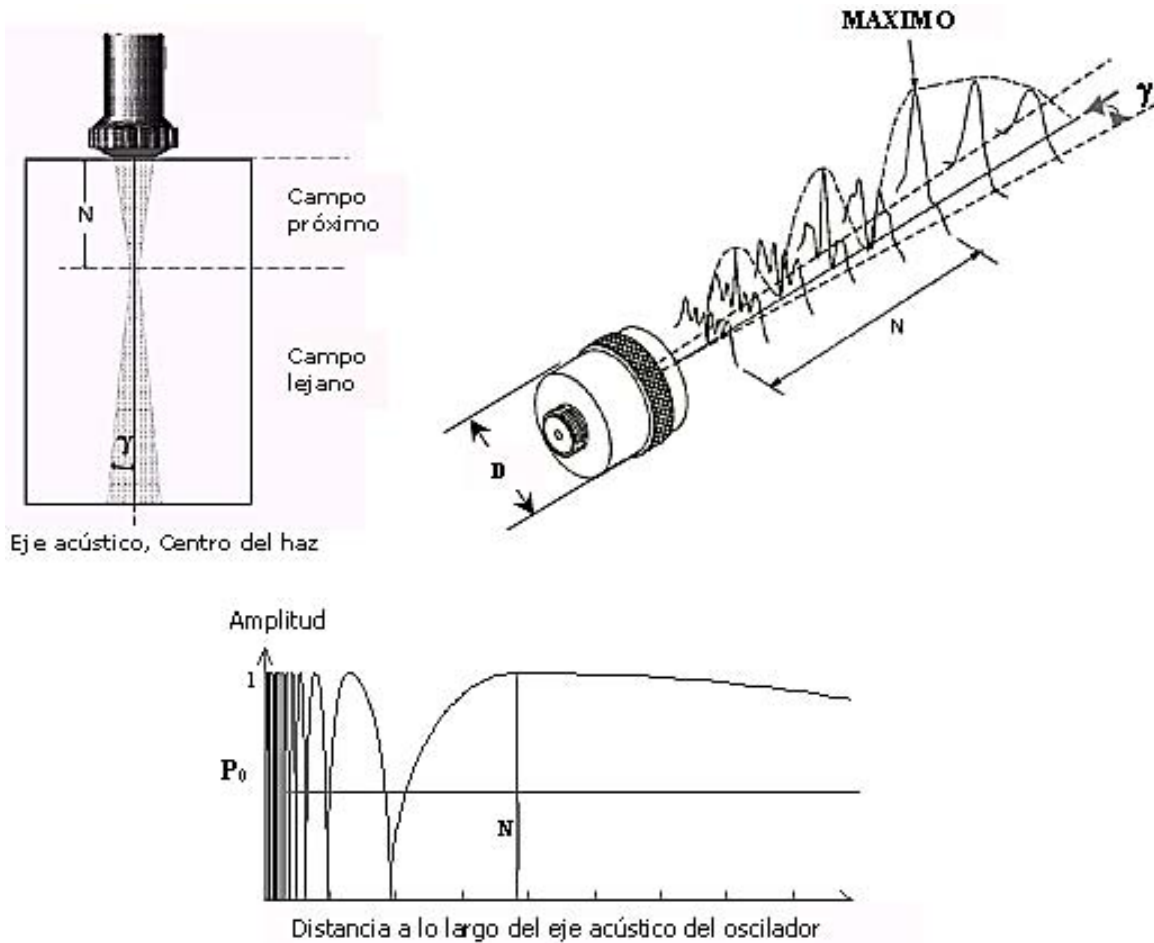


Figura 3.11. Campo próximo y campo lejano de un oscilador.

Se caracteriza por no tener divergencia, es decir no se dispersa. La longitud del campo cercano depende del diámetro del cabezal y de la longitud de onda en el medio.

3.5.2.3 Zona de Campo Lejano o Zona de Fraunhofer.

En el campo lejano por el contrario, no hay interferencia de tal manera que la intensidad del haz es uniforme y disminuye al alejarse del transductor; en esta zona si existe divergencia, lo que quiere decir que el haz a medida de alejarse tiene un diámetro mayor. A una distancia dos veces mayor que la longitud cercana el diámetro del haz es igual al diámetro de la superficie del transductor.

3.6 EQUIPO DE ULTRASONIDO.

3.6.1 Descripción del equipo de ultrasonido.

La mayoría de los equipos de inspección por ultrasonido incluyen el siguiente equipo básico:

- Un generador electrónico de señal que produce ráfagas de voltaje alternadas.
- Un transductor que emite un haz de ondas ultrasónicas cuando las ráfagas de voltaje alternado son aplicadas.
- Un acoplador para transferir la energía de las ondas de ultrasonido a la pieza de trabajo.
- Un acoplador que transfiere la salida de las ondas de sonido (energía acústica) de la pieza al transductor.
- Un transductor (puede ser el mismo que el transductor que inicia las ondas ultrasónicas o puede ser otro diferente) para aceptar y convertir la ondas de ultrasonido de salida de la pieza de trabajo en ráfagas de voltaje. En la mayoría de los sistemas un transductor simple actúa como emisor y receptor.
- Un dispositivo electrónico para amplificar y modificar las señales del transductor.
- Un dispositivo de salida que muestre la información resultante y la proyecte ya sea impresa o en pantalla.
- Un reloj electrónico o un cronómetro para controlar la operación de varios componentes del sistema.
-

3.6.2 Cable coaxial.

Un accesorio del sistema de ultrasonido es el cable coaxial, el cual en sus extremos posee conectores los cuales unen la instrumento y al transductor. Los tipos de conectores más comunes son:

- a) **Microdot.** Para transductores muy pequeños (con rosca).
- b) **BNC (Bayonet Neill-Concelm).** De medio giro.
- c) **UHF. (Cable coaxial).** Para muy alta frecuencia (con rosca), usado en inmersión.
- d) **Lemo:** De media presión.
- e) **Tuchel:** En la actualidad fuera de uso.

3.6.3 Transductores o palpadores

El transductor es una parte muy importante del instrumento de ultrasonido. Es el que contiene el elemento piezoeléctrico que convierte la señal eléctrica en vibraciones mecánicas (Emisión) y las vibraciones mecánicas en energía eléctrica (Recepción). Es el medio por el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras) o viceversa. Opera debido al efecto piezoeléctrico. Aunque existe una gran diversidad de palpadores, estos se pueden clasificar en dos grupos: palpadores de contacto y palpadores de inmersión.

3.6.3.1 Clasificación de los transductores (cabezales o palpadores).

Los transductores pueden ser clasificados en los siguientes grupos de acuerdo a:

- a) **Forma de propagar el haz ultrasónico:** haz recto y haz angular.
- b) **Técnica de inspección:** de contacto y de inmersión.
- c) **Numero de cristales:** un cristal, dos cristales o dual y de cristales múltiples.
- d) **Grado de amortiguamiento:** de banda ancha, banda angosta y de amortiguamiento interno.
- e) **Aplicaciones especiales:** transductores libres, súper amortiguadores, puntuales, periscópicos y con línea de retardo.

La siguiente figura presenta un corte típico de un cabezal (Figura 3.12).

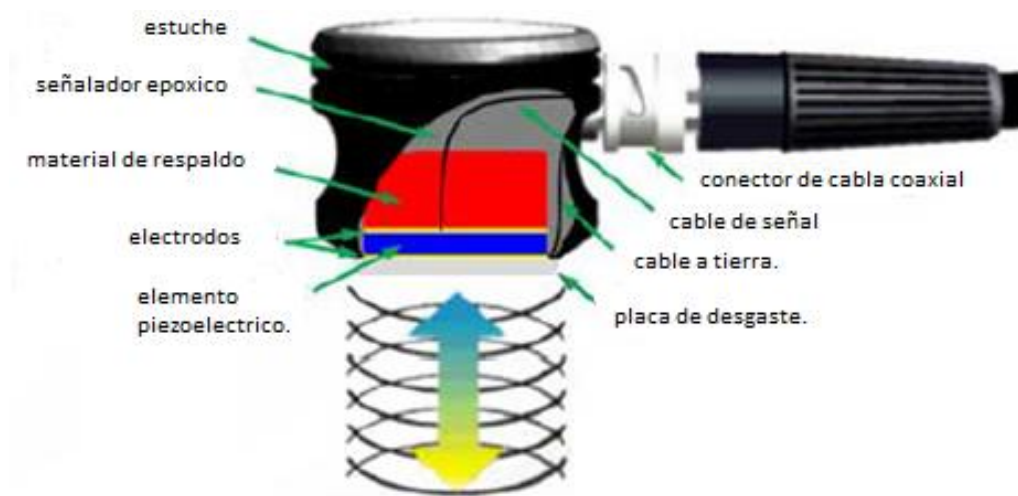


Figura 3.12. Esquema de cabezal ultrasónico.

3.6.3.1.1 Campo de radiación del cabezal.

El sonido emitido por un transductor piezoeléctrico no se origina desde un punto sino que se origina desde la superficie del elemento piezoeléctrico. El campo de sonido emitido por un transductor típico se presenta en la figura (figura 3.13), puede observarse cualitativamente la intensidad del sonido con la ayuda de la gama de colores en la cual los más claros corresponden a intensidades más altas.

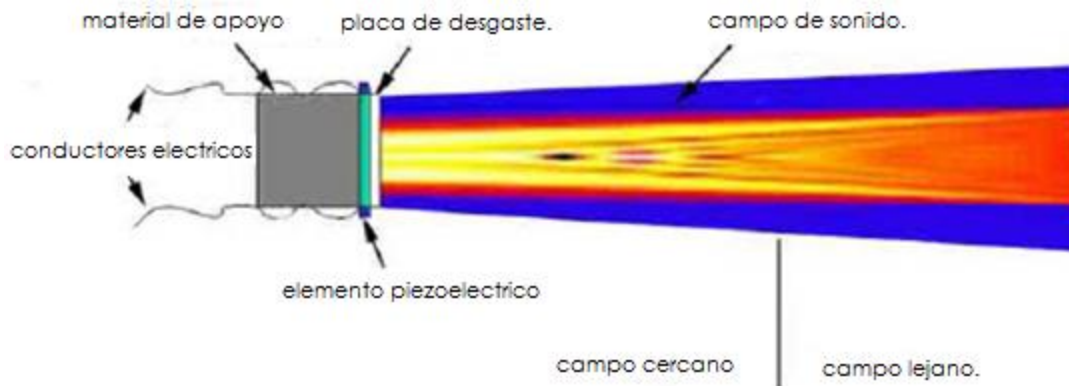


Figura 3.13. Esquema cualitativo de intensidades de sonido emanadas por un cabezal piezoeléctrico.

3.6.3.2 Descripción de las partes que conforman un palpador o transductor.

Los componentes principales son el elemento activo, el apoyo (backing) y una placa protectora (wear plate).

- El elemento activo.

Es un material piezo o ferro eléctrico, que convierte la energía eléctrica de un pulso de excitación en energía ultrasónica. Los materiales usados comúnmente son cerámicas polarizadas que son cortadas en numerosas maneras para producir diferentes formas de onda.

- El apoyo.

Es usualmente un fuerte atenuador, un material de alta densidad usado para controlar las vibraciones del transductor absorbiendo la energía radiada por la cara trasera del elemento activo. Cuando la impedancia acústica del apoyo se iguala con la impedancia acústica del elemento activo, el resultado será un transductor fuertemente amortiguado, con un buen rango de resolución pero con una baja amplitud de señal. Si existe diferencia entre la impedancia acústica del elemento activo y el apoyo, mayor energía de sonido será emitida hacia el material en prueba.

Este último será un transductor con menor resolución debido a la mayor duración de la onda, pero con una mayor amplitud de señal o sensibilidad (figura 3.14).

- **Placa protectora.**

El propósito básico de esta es proteger el elemento transductor del entorno. En el caso de transductores de contacto, la placa protectora debe de ser duradera y resistente a la corrosión. La oscilación del cristal decae lentamente en su propia frecuencia de resonancia.

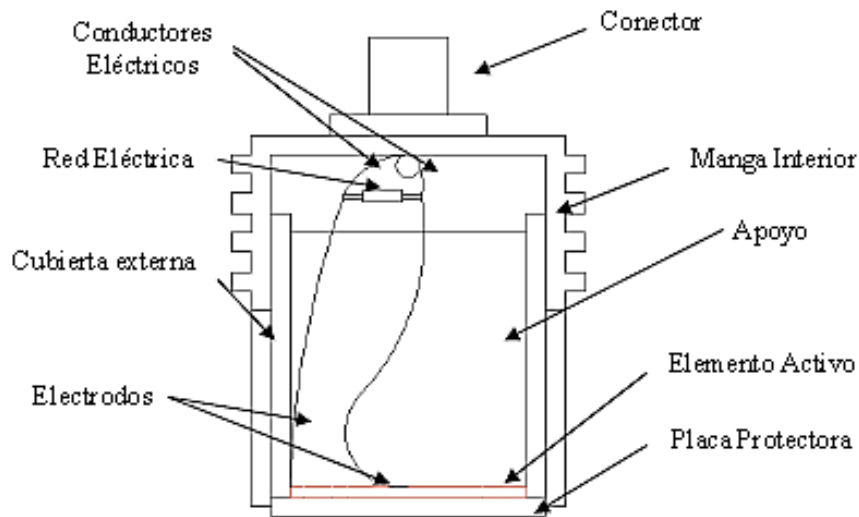


Figura 3.14. Esquema de los componentes básicos de un palpador simple (transductor).

3.6.3.3 Materiales piezoeléctricos.

- a) **Cuarzo.** Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento. Desafortunadamente, sufre interferencias en el modo de conversión y es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550 °C, pues por arriba de ésta pierde sus propiedades piezoeléctricas.
- b) **Sulfato de Litio.** Este material se considera como uno de los receptores más eficientes. Su ventaja principal es su facilidad de obtener una amortiguación acústica óptima lo que mejora el poder de resolución, no envejece y es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión. Sus desventajas son que es muy frágil, soluble en agua y se debe emplear a temperaturas menores de 75 °C.

- c) **Cerámicas polarizadas.** Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Sus principales limitaciones son: resistencia mecánica relativamente baja, en algunos casos existe interferencia en el modo de conversión, presentan tendencia al envejecimiento. Además poseen menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.

3.6.3.4 Elección del transductor.

1. **Clase de Cristal.** Con la elección de cada clase de cristal se puede variar el poder resolutivo y la sensibilidad de los transductores.
2. **Diámetro del cristal.** Entre mayor sea el diámetro del cristal se obtiene una mayor profundidad de penetración, asimismo una mayor longitud en un campo cercano y una menor divergencia.
3. **Frecuencia.** Con la elección de una mayor frecuencia se obtiene mayor posibilidad para la identificación de discontinuidades pequeñas, mayor longitud de campo cercano, mayor poder resolutivo, menor profundidad de penetración y mínima divergencia.

3.6.3.5 Accesorios.

Con el fin de eliminar la, denominada ZONA MUERTA, se utiliza un elemento separador (señalado como DELAY LINE en la siguiente figura 3.15) que alejan la fuente de ultrasonido de la superficie de la pieza dejando dicha zona. Otra ventaja de este tipo de separadores es generar un retardo de tiempo entre la generación de la onda de sonido y la llegada de la onda reflejada mejorando la lectura en las zonas cercanas a la superficie del material en el que se encuentra en contacto el cabezal. Estos los hace especiales para el uso en medición de espesores con gran precisión y verificación de laminación en materiales compuestos. A su vez, para aplicaciones en las que se necesita realizar un ensayo en superficies con elevada temperatura se utiliza una interface de material cerámico.

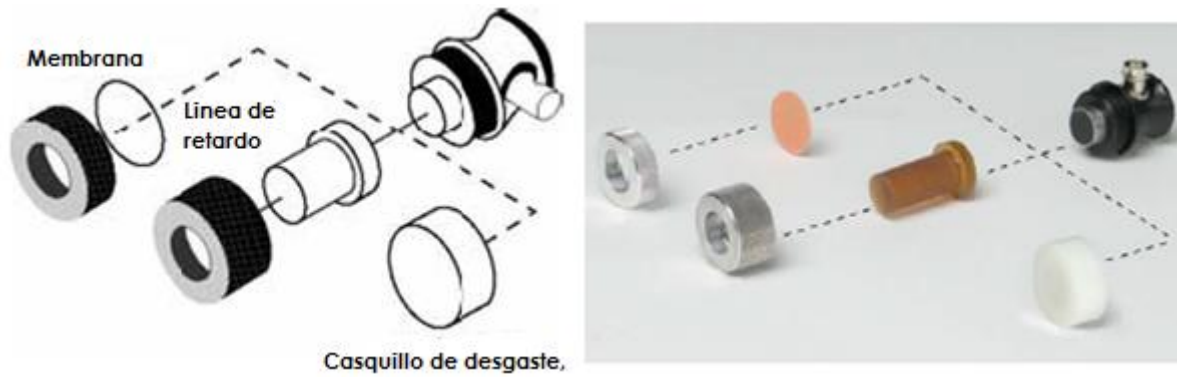


Figura 3.15. Elementos separadores.

3.6.3.6 Tipos de transductores.

Como ya se mencionó anteriormente, los cabezales o palpadores son fabricados para varias aplicaciones específicas. Estos se clasifican según la aplicación.

3.6.3.6.1 Transductores de contacto.

Son utilizados para las inspecciones que necesitan contacto con la pieza y son, generalmente, manipulados a mano. Estos poseen sus componentes protegidos por una carcasa ergonómica y una interface que impide el desgaste de la cara que roza con las piezas a analizar. (Figura 3.16).



Figura 3.16. Cabezales de contacto.

Se coloca directamente en la superficie de prueba aplicando presión y un medio de acoplamiento. Se fabrica para inspecciones de haz recto. Para proteger el transductor de la abrasión, se cubre con un material duro como el óxido de aluminio. Requieren de un medio de acople como grasas, aceites o agua para remover la película de aire entre el cabezal y el componente analizado. Se aplican directamente a la superficie de la muestra con cierta presión, interponiendo en la mayoría

de los casos un medio de acople. Según la dirección de propagación del haz con relación a la superficie de la muestra, estos palpadores se clasifican, a su vez, en palpadores de incidencia normal y en palpadores angulares.

3.6.3.6.1.1 Transductores de incidencia normal.

Se emplean en los equipos que operan por los métodos de impulso-eco, de transparencia y de resonancia, estos se emplean en problemas de defectología y caracterización. La mayor parte de estos palpadores llevan incorporados osciladores diseñados para emitir ondas longitudinales. Según el número de osciladores o cristales que llevan incorporados, se consideran los siguientes tipos:

- Palpadores de cristal único, emisor y receptor, tipo E+R.
- Palpadores de doble cristal, uno emisor y otro receptor, tipo E-R.
- Palpadores de cristales múltiples.

El nombre de “palpador normal”, deriva de la dirección en que las ondas ultrasónicas viajan en la pieza, (la dirección perpendicular a la superficie de un objeto se conoce como la dirección “normal”). El cristal del transductor tiene metalizadas las caras para poder aplicarle pulsos eléctricos. Una de esas caras se pega al cuerpo amortiguador, la otra puede ser acoplada directamente a la pieza a ensayar (cristal sin protección), o estar cubierta por una capa de material plástico o cerámico.

3.6.3.6.1.1.1 Palpador de cristal único (emisor y receptor, tipo E+R).

Este palpador está diseñado para generar ondas longitudinales, que han de atravesar la muestra en dirección perpendicular a su superficie, este palpador debe colocarse sobre la muestra junto con un líquido acoplante.

Además del cristal oscilador, consta de una carcasa exterior que protege todo el conjunto, el cable que conduce los impulsos eléctricos, el conector y el amortiguador del cristal el cual reduce el tiempo de oscilación del cristal en la dirección del espesor del mismo, aunque también se producen oscilaciones radiales que se deben suprimir; en particular se trata de cristales de titanato de bario; el amortiguador también absorbe las ondas que pudieran interferir en el oscilograma y

soporta mecánicamente el cristal piezoeléctrico. En la figura 3.17 se observa un palpador de este tipo.

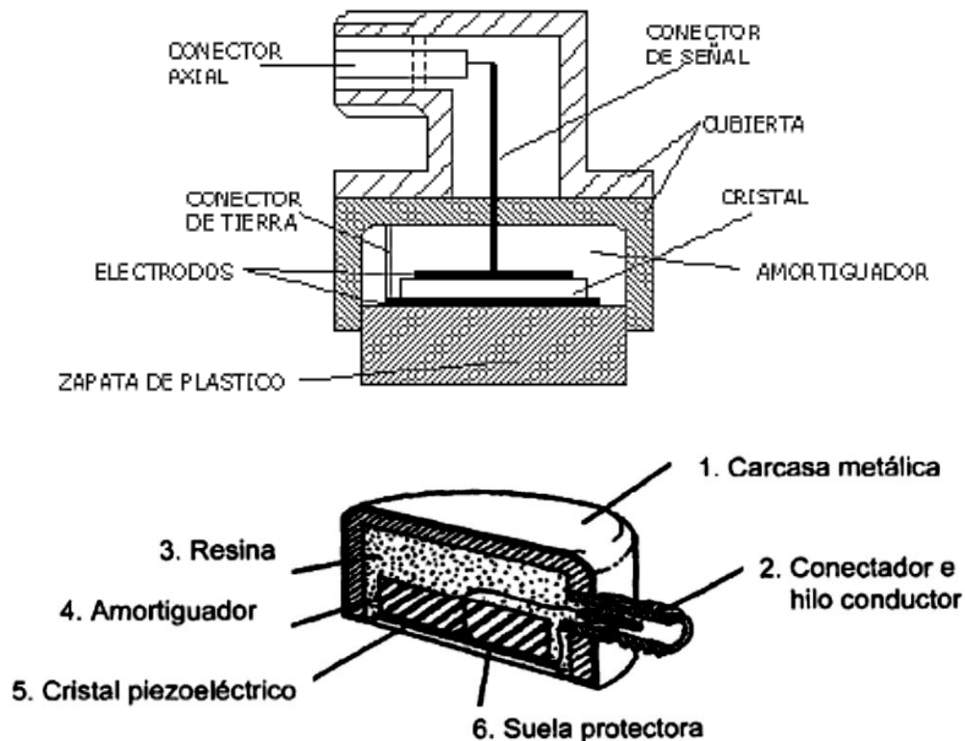


Figura 3.17. a) Corte de un palpador normal (arriba). b) Esquema de un palpador con cristal único emisor – receptor con todos sus componentes.

El amortiguador del cristal es un elemento indispensable en los equipos que operan por el método de pulso – eco. Sus finalidades concretas son las siguientes:

- Reducir el tiempo de oscilación del cristal.
- Absorber las ondas que pudieran interferir.
- Soportar mecánicamente el piezoeléctrico

3.6.3.6.1.1.2 Palpadores de doble cristal, uno emisor y otro receptor, tipo E – R.

La señal que recibe un equipo ultrasónico proveniente del impulso acústico o “eco” de emisión del ultrasonido (primer eco en la pantalla), que posteriormente es representada en la pantalla, genera una “zona muerta” para el palpador, en la cual no es posible detectar la presencia de

discontinuidades, puesto que las indicaciones de los posibles defectos quedan enmascaradas. Para solucionar este inconveniente, se han diseñado los palpadores tipo E – R, cuyo esquema aparece en la figura 3.18, que constan de dos cristales perfectamente aislados eléctrica y acústicamente por medio de una lámina de corcho de policloruro de vinilo.

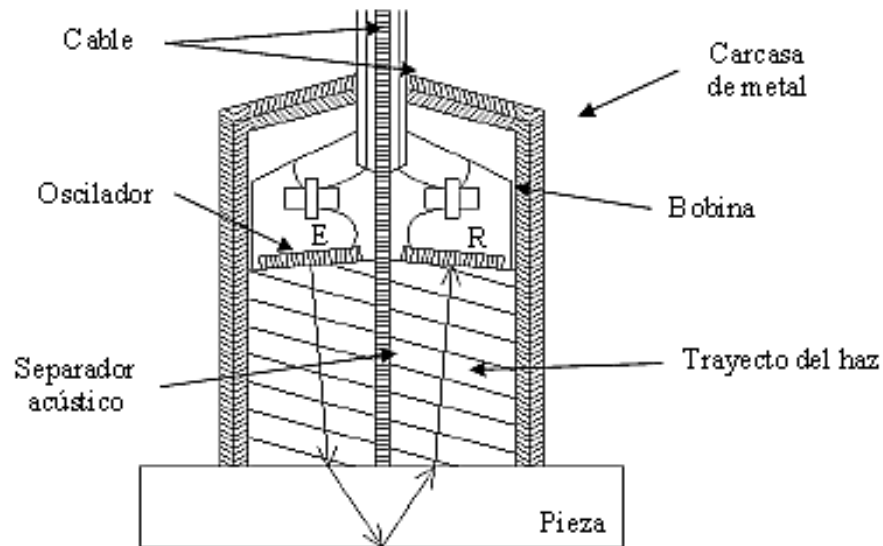


Figura 3.18. Palpador de doble cristal (emisor y receptor).

Uno de los cristales actúa como emisor y el otro sólo como receptor, ambos cristales se montan, con una cierta inclinación sobre una columna de plástico que produce un efecto focalizado, concentrando el haz ultrasónico para conseguir la máxima sensibilidad en las proximidades de la superficie. Mediante este procedimiento, se consigue que por efecto del trayecto en el plástico, la indicación de la señal de emisión quede muy separada de la indicación del eco de cualquier discontinuidad.

3.6.3.6.1.1.3 Palpadores de Cristal Múltiple.

Estos palpadores están diseñados para cubrir determinadas aplicaciones especiales tales como medir espesores en varios rangos de manera simultánea, examen de superficies curvas y examen de muestras grandes. Para el primer caso, se utilizan palpadores del tipo E-R, descritos en el apartado anterior, pero modificados en el sentido de incorporar varios cristales emisores y receptores en la misma unidad, con diferentes inclinaciones y frecuencias.

3.6.3.6.1.1.4 Palpadores para ensayos a temperaturas altas.

Los palpadores convencionales no se pueden utilizar a temperaturas fuera del intervalo comprendido entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$, debido a que los adhesivos convencionales empleados para unir el cristal al amortiguador, se pueden dañar y anular el efecto de este último. El propio cristal se puede afectar con la temperatura especialmente si es de sulfato de litio o de titanato de bario. Para ensayos a elevadas temperaturas, es preciso utilizar cuarzo o metaniobato de plomo; como amortiguador y adhesivo se utilizan resinas de moldeo, capaces de soportar temperaturas de hasta $350\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.6.3.6.1.2 Palpadores angulares.

Los palpadores angulares de contacto constan en esencia de un oscilador, generalmente, de ondas transversales aplicado a una de las caras de un prisma plástico (ver figura 3.19), tallado con un ángulo de incidencia adecuado al ángulo de refracción o de penetración que se desea para un material dado de muestra de ensayo.

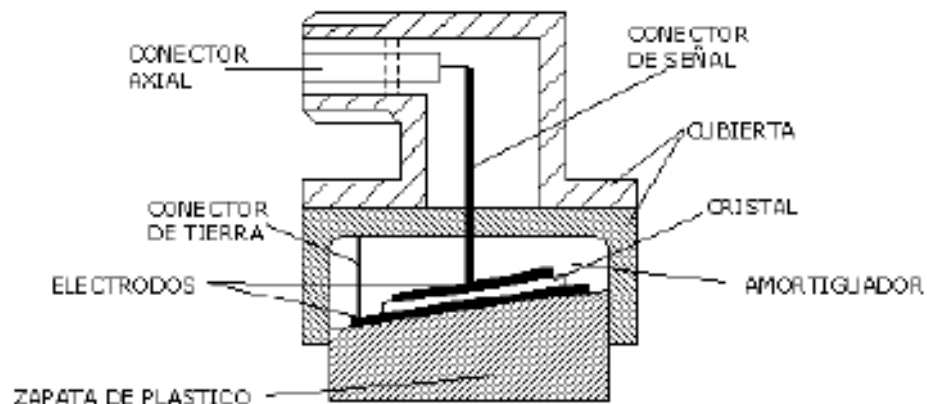


Figura 3.19. Corte de un palpador angular.

Los cabezales angulares utilizan una interface en forma de cuña la cual genera un ángulo entre el haz emitido y la normal a la superficie analizada (Figura 3.20). Esto introduce ondas refractadas de corte en el material al mismo tiempo que dichas ondas son reflejadas en las paredes de la pieza mejorando la detección de imperfecciones en cordones de soldaduras. También son utilizados para generar ondas de superficie para detectar defectos.

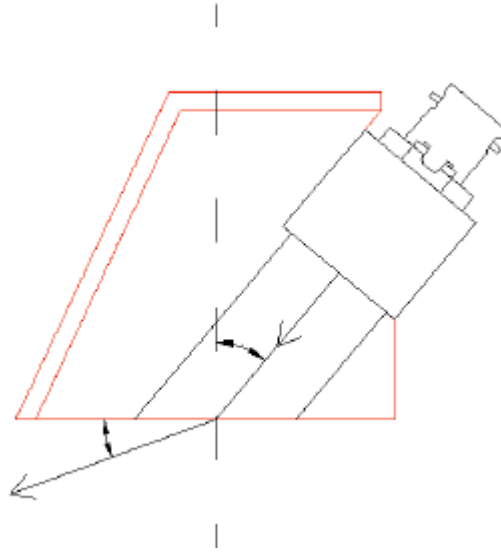


Figura 3.20. Esquema de un palpador (transductor) angular.

3.6.3.6.1.3 Palpadores de Inmersión.

Los ensayos por inmersión, bien sumergiendo la muestra en un tanque o mediante el empleo de palpadores de inmersión local, son particularmente indicados cuando se precisa realizar exploraciones de gran volumen y extensión, examinar lotes de gran número de muestras o muestras de formas relativamente complejas.

Como la transmisión del ultrasonido desde el palpador hasta la muestra, se efectúa a través de una columna de líquido, es decir sin contacto directo, presión ni rozamiento entre el palpador y la muestra (figura 3.21a y 3.21 b), esto permite:

- Eliminar los riesgos de rotura y desgaste del cristal oscilador, por lo que no se precisa el uso de alguna suela protectora.
- Emplear frecuencias más elevadas (cristales de espesor más fino) que las posibles con los palpadores de contacto, ya que el riesgo de rotura de los cristales es mínimo.
- Propagar el haz ultrasónico en la muestra con el ángulo de penetración deseado, bien como ondas longitudinales o como ondas transversales, pudiéndose variar la inclinación del palpador con relación a la superficie de la muestra de forma continua.
- Aumentar la velocidad del ensayo, al no haber contacto o rozamiento, por lo que los ensayos por inmersión están especialmente indicados para ensayos automáticos o semiautomáticos.

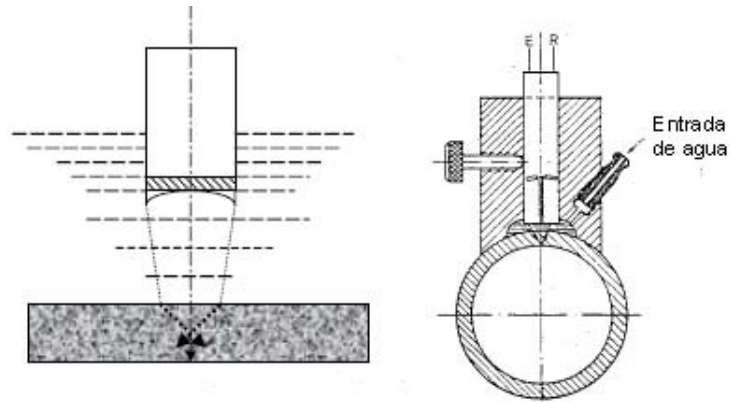


Figura 3.21a. Palpadores de inmersión, palpador focalizante y palpador de inmersión local de incidencia normal (lado izquierdo y lado derecho respectivamente).

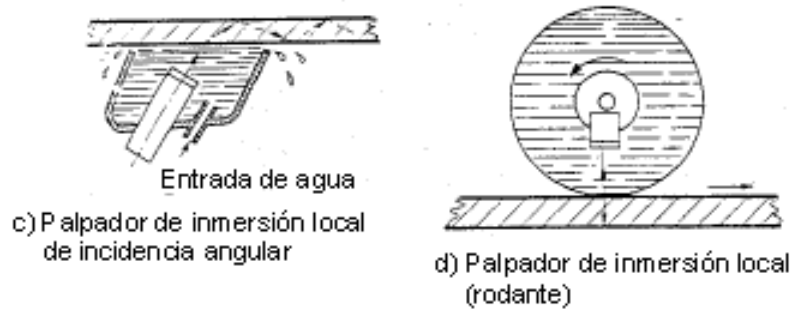


Figura 3.21b. Palpadores de inmersión, palpador de inmersión local de incidencia angular y palpador de inmersión local (rodante), (lado izquierdo y lado derecho respectivamente).

3.6.3.6.1.4 Transductores de rodillos.

Estos cabezales son utilizados para inspeccionar junta de elementos tanto metálicos como no metálicos, por ejemplo: uniones de maderas, concreto, soldaduras metálicas o plásticas y vidrios entre otros. Permiten realizar un escaneo rápido sin la necesidad de utilizar la técnica de inmersión (figura 3.22).

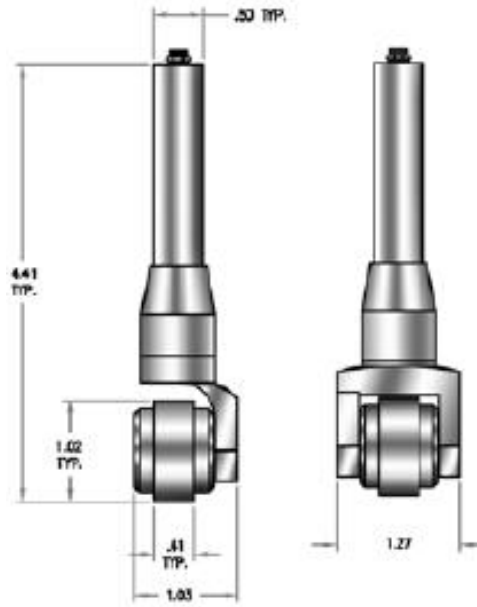


Figura 3.22. Configuraciones de cabezales de rodillo.

3.6.3.6.1.5 Transductores de tipo lápiz.

Entre las aplicaciones típicas de estos cabezales se encuentra la inspección de alabes de turbinas, tubos de pequeños diámetros y áreas cóncavas en pequeñas piezas. Poseen una pequeña área de inspección.

3.6.3.6.1.6 Cabezales de tipo brocha.

Este tipo de cabezales son utilizados para escanear áreas extensas reduciendo los tiempos de ensayo. Están constituidos por una matriz de pequeños cristales piezoeléctricos cuidadosamente colocados para minimizar la variación de performance y mantener una sensibilidad uniforme en toda el área.

3.6.3.7 Acoplantes.

Un acoplante es un 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 para materiales metálicos no se transmiten en el aire. Entre los tipos de acoplantes más comunes tenemos el agua, aceite, grasa, glicerina, vaselina.

- Características del líquido acoplante: Humectabilidad. (Capaz de mejorar la superficie y el palpador). Viscosidad adecuada. Baja atenuación. Bajo costo. Removible. No toxico. No corrosivo. Impedancia acústica adecuada.

3.7 MÉTODOS UTILIZADOS EN LA TÉCNICA DE ULTRASONIDO.

Los dos métodos más importantes para la inspección por ultrasonido son el método de transmisión y el método eco-pulsado. La principal diferencia entre estos dos métodos es que el método de transmisión involucra solo la medición de la atenuación de la señal, mientras que el método eco-pulsado puede ser utilizado para medir el tiempo de tránsito y la atenuación o disminución de la señal. Se puede establecer una primera clasificación de este tema según se opere por uno de estos métodos.

- Método de resonancia.
- Método de transparencia o de sombra.
- Método de impulso – eco.

Estos métodos se caracterizan a su vez por la magnitud medida:

- a. Frecuencia de resonancia (R).
- b. Intensidad acústica (I).
- c. Tiempo de recorrido del ultrasonido (T).
- d. Intensidad acústica y tiempo de recorrido (IT).

3.7.1 Método de Resonancia.

Este método se basa en la medida de la frecuencia de resonancia por reflexión (formación de ondas estacionarias) y se emplea, primordialmente, para la medida de espesores de productos de superficies paralelas. En consecuencia, las oscilaciones características se podrán definir por el número de semilongitudes de onda contenidas en el espesor de la muestra.

3.7.1.1 El equipo de resonancia.

El esquema de un equipo de medida de espesores por resonancia y un circuito típico, se muestran en la figura 3.23, el circuito oscilador auto excitado está provisto de un capacitor o un inductor variable, que permite el cambio de frecuencias y está conectado a una placa de una válvula

osciladora. Cuando el oscilador es acoplado a la frecuencia de resonancia de la lámina bajo prueba, se produce un aumento de la amplitud de la oscilación; este incremento producirá una carga adicional en el cristal de la sonda que se traducirá en un aumento de la corriente en la placa de la válvula osciladora, que puede ser indicado en un instrumento de aguja o bien mediante una señal audible. Con este método se pueden medir espesores en muestras de acero de 0.1 a 80 mm con un error del 1 al 3%.

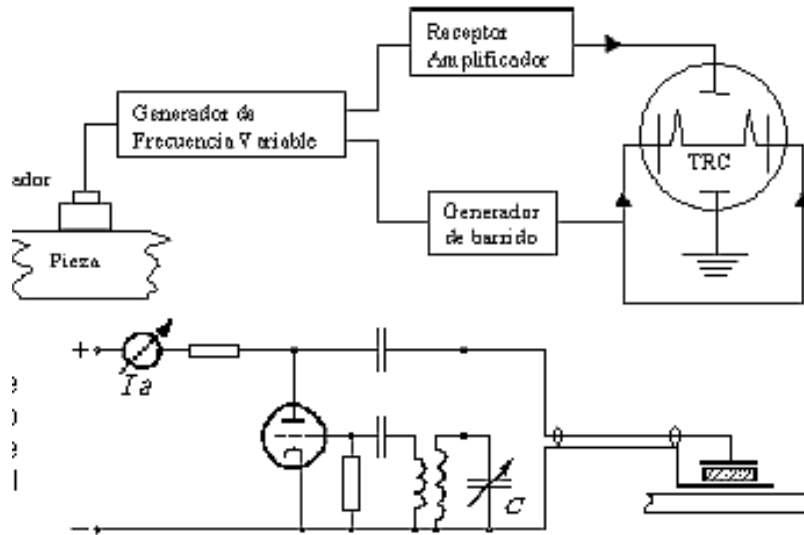


Figura 3.23. Esquema de un equipo y del circuito para la medición de espesores a través del método de resonancia.

3.7.2 Método de Transparencia o sombra.

Estos métodos están basados en el efecto de sombra que un obstáculo produce al ser iluminado por un haz ultrasónico. En estos métodos, el oscilador emisor y el oscilador receptor actúan separados y opuestos entre sí, recogiendo este último el debilitamiento de la intensidad acústica del campo ultrasónico por efecto del obstáculo interpuesto. Estos equipos operan ya sea por transmisión, reflexión o conducción del haz ultrasónico mediante un convertidor adecuado y pueden ser clasificados en dos grandes grupos, a saber:

3.7.2.1 Equipos que miden la intensidad acústica.

El método de medir la intensidad acústica, es el más antiguo en el campo del ensayo de materiales por ultrasonido. El equipo se calibra en una zona libre de obstáculos en la cual se considera la intensidad acústica como 100%; si el haz intercepta una heterogeneidad, la intensidad (o la

presión acústica) disminuirá proporcionalmente a la superficie del obstáculo. Si la muestra es accesible por una sola cara, se puede adoptar la disposición de la figura 3.24, en donde se aprovecha la reflexión del haz en su cara opuesta.

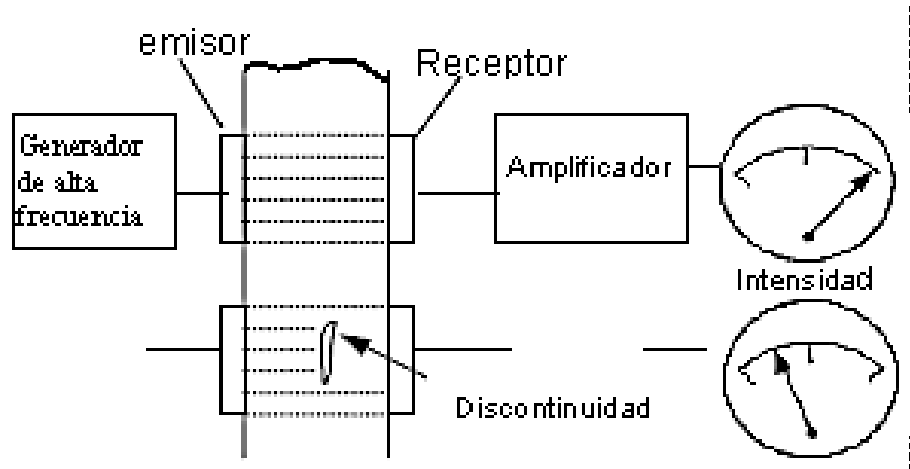


Figura 3.24. Esquema de un equipo de medida de intensidad acústica. Método de sombras por reflexión.

La medida de la intensidad acústica se puede realizar también por conducción (figura 3.25), método aplicable a muestras de geometría compleja y pared delgada, en este caso las ondas ultrasónicas se transmiten entre palpadores de una manera arbitraria con una trayectoria muy difícil de precisar.

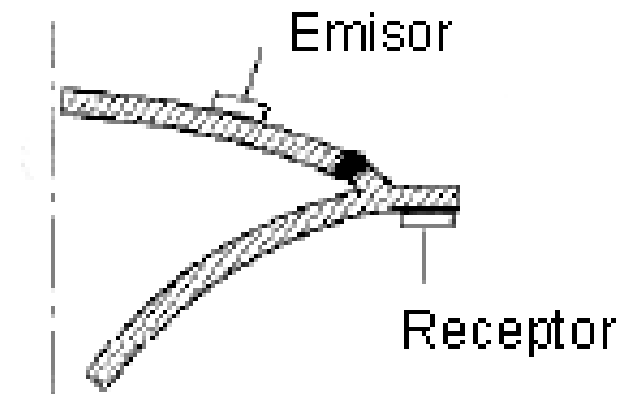


Figura 3.25. Ensayo de medida de intensidad por conducción.

Estos equipos están constituidos, básicamente, por un sistema de sincronismo, un generador de alta frecuencia, un amplificador y un tubo de rayos catódicos (TRC) que actúa como sistema de representación.

3.7.3 Método de transmisión.

Este procedimiento evalúa la parte del ultrasonido que se ha transmitido a través de la pieza a ensayar. A un lado de la pieza se aplica el emisor y al otro el receptor.

El método de transmisión el cual incluye tanto reflexión como transmisión, involucra solo la medición de la atenuación o disminución de señal. Este método también se utiliza para la detección de fallas. En el método eco-pulsado, es necesario que una falla interna refleje al menos una parte de la energía sonora sobre un transductor de recepción.

En presencia de un defecto la intensidad sonora en el receptor disminuye a causa de la reflexión parcial o se hace nula en caso de reflexión total. En este ensayo no se puede determinar la profundidad a la que se encuentra localizado el defecto de la pieza. Es necesaria una exacta alineación entre el emisor y el receptor.

3.7.4 Método de Impulso – Eco.

Están basados en el efecto de “eco” que produce una discontinuidad al ser alcanzada por un haz ultrasónico. En estos métodos, el oscilador receptor, ya sea separado o formando una unidad con el emisor (cristal único), recoge el “eco” del reflector transformándolo en la indicación correspondiente, por lo que opera siempre por reflexión.

Estos equipos emiten impulsos acústicos cortos, a intervalos constantes de manera que se obtiene una respuesta periódica en función del tiempo de recorrido del impulso acústico desde el oscilador emisor al cristal piezoeléctrico receptor. El impulso acústico recibido o “eco”, procedente de su reflexión en una discontinuidad o en una superficie límite de la muestra, se transforma en una señal o impulso eléctrico, que se visualiza según una indicación en la pantalla de un tubo de rayos catódicos, cuya altura es proporcional a la presión acústica del “eco”.

Una descripción muy simplificada de un equipo impulso-eco es la siguiente:

El impulso eléctrico, procedente del generador de pulsos, excita el cristal emisor con la consiguiente emisión de un tren muy corto de ondas ultrasónicas, impulso acústico, que, al

encontrar un obstáculo en su recorrido, se refleja y llega al receptor. Este, a su vez, genera un impulso eléctrico de voltaje muy bajo, este voltaje, convenientemente amplificado, se aplica a las placas de deflexión vertical de un TRC (tubo de rayos catódicos), con lo que se produce una indicación del eco. Si el obstáculo es menor que la sección del haz emitido por el cristal, la porción del haz no interceptada seguirá su recorrido hasta reflejarse en la superficie opuesta, esta reflexión llegará al receptor más tarde que la procedente de la discontinuidad, por lo que la indicación de su eco estará situada más a la derecha en el TRC (tubo de rayos catódicos). El emisor y el receptor no precisan estar necesariamente separados, sino que el propio emisor puede actuar como receptor mientras está en reposo entre dos impulsos consecutivos.

La materia de los equipos de eco – pulsados consisten en:

- Un reloj electrónico.
- Un generador electrónico de señal o pulsador.
- Un transductor de envío.
- Un transductor de recepción.
- Un amplificador de eco – señal.
- Un dispositivo de salida.

3.7.5 Otros métodos.

3.7.5.1 Método de frecuencia modulada.

Este método fue el precursor de los métodos de eco-pulsado, es otro método de detección de fallas. En el método FM los pulsos ultrasónicos son transmitidos en paquetes de ondas los cuales su frecuencia varía linealmente con el tiempo.

La variación en la frecuencia es repetitiva en los paquetes de ondas sucesivos de tal manera que si se grafica frecuencia contra tiempo se obtendrá un patrón de diente de sierra en la curva graficada. Existe un tiempo de demora entre paquetes sucesivos. Los ecos que retornan se muestran o visualizan en una unidad de salida. Aun cuando el método de frecuencia modulada es un método no tan común, como lo es el método de eco-pulsado. El método FM tiene una baja relación: ruido-senal y por lo tanto una buena opción en ahorro de energía.

3.7.5.2 Análisis espectral

Este método puede ser utilizado en los métodos de transmisión o eco-pulsado, involucra la determinación de un espectro de frecuencia de una onda ultrasónica después de que se ha propagado a través de la pieza. El espectro de la frecuencia puede ser determinado por la transmisión de un pulso y utilizando un transformador de Fourier. Los análisis espectrales pueden ser utilizados para medir espesores delgados.

3.7.5.3 Conducción de sonido.

Es utilizado en la detección de fallas por el monitoreo de la intensidad de formas de ondas arbitrarias en un punto determinado de la pieza a inspeccionar. Estas ondas transmiten energía ultrasónica las cuales son alimentadas a la pieza en algún otro punto sin la existencia de un patrón de haz bien definido entre los dos puntos.

3.8 REPRESENTACIÓN DE DATOS.

Cualquier instrumento de ultrasonido generalmente registra dos parámetros fundamentales de un eco: cuan largo es este (amplitud), y donde este se produce en el tiempo con respecto a un punto cero (pulso de tiempo de tránsito). El tiempo de tránsito, a su vez, suele ser correlacionado con la profundidad o la distancia hacia el reflector, basado en la velocidad del sonido en el material de prueba y de la simple relación: $\text{Distancia} = \text{velocidad} \times \text{tiempo}$. A continuación se presentarán los tres más conocidos en la aplicación en END (Ensayo no destructivo), la Representación tipo A, la Representación Tipo B y la Representación Tipo C.

3.8.1 Representación tipo A (scan – A).

Esta representación muestra la cantidad de energía recibida como función del tiempo. Las cantidades relativas de energía son presentadas en el eje vertical mientras que el tiempo transcurrido es presentado en el eje horizontal. En este sistema el tamaño relativo de la discontinuidad puede ser estimado comparando la amplitud de la señal hallada con la obtenida mediante la implementación de un patrón.

En esta presentación el tubo de rayos catódicos (TRC) está compuesto de una cantidad de puntos “Píxeles” alineados, que son cubiertos por el bombardeo de electrones, de izquierda a derecha, desde la línea de puntos superior a la inferior, a una velocidad constante. En este tipo de

presentación, la altura de los ecos de indicación o “picos” representa la intensidad del haz ultrasónico reflejado. Igualmente la línea base de tiempo, proporciona el tiempo que tarda el haz ultrasónico en ser reflejado, por lo que para un valor de velocidad conocido es posible calibrar la pantalla en términos de distancia. En la figura 3.26, se observan tres ecos de indicación que corresponden: el número (1) al eco inicial, el número (2) al eco de la discontinuidad y el número (3) al eco de la pared posterior.

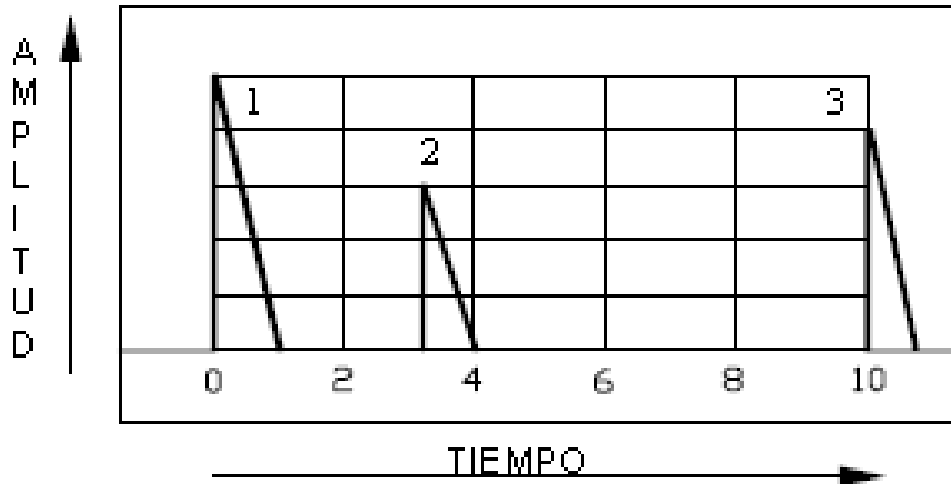


Figura 3.26. Presentación Scan – A.

Mediante la presentación Scan–A se pueden determinar las dimensiones de la discontinuidad, la profundidad, la distancia desde la superficie, sea la de contacto o la posterior a la discontinuidad, la divergencia del haz ultrasónico y otros factores.

3.8.1.1 Desplegado del escaneo tipo A.

Es básicamente una gráfica de amplitud versus tiempo, en la cual una línea horizontal sobre un osciloscopio indica el tiempo transcurrido mientras que el eje vertical indica las deflexiones (llamadas indicaciones o señales) representan los ecos.

3.8.2 Representación tipo B (scan B, exploración B, barrido B).

En este tipo de presentación se muestra el recorrido superficial en la pieza de ensayo, contra el tiempo o la profundidad de reflexión del haz ultrasónico, donde el brillo de la señal es proporcional a su amplitud (Figura 3.27).

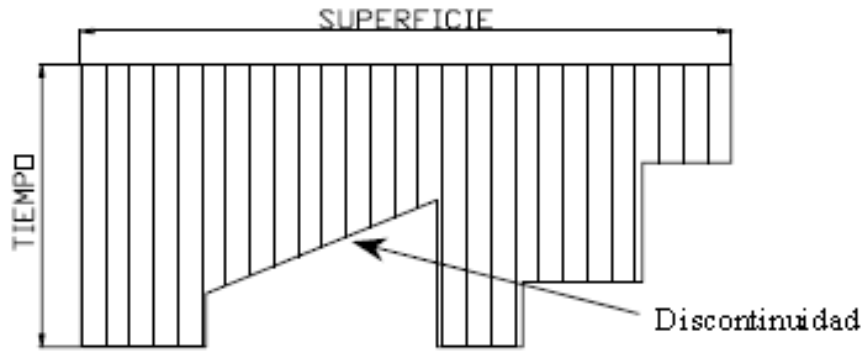


Figura 3.27. Presentación Scan – B.

Por medio de los equipos que operan con esta presentación, se puede obtener una vista del objeto perpendicular a la superficie de la pieza de ensayo; de forma tal que cualquier discontinuidad presente en el material, creará una indicación de superficie límite. En estos equipos, la imagen es retenida por el TRC mediante un recubrimiento de fósforo, lo que permite fotografiar la pantalla para obtener un registro permanente.

La representación tipo B genera un perfil correspondiente a la sección transversal de la pieza que se está analizando. El tiempo de viaje de la onda (o su equivalente en profundidad) es visualizado en el eje vertical mientras que la posición del cabezal es representada en el eje horizontal. La línea A se produce cuando el cabezal pasa por encima de la zona de reducción de espesor (Figura 3.28).

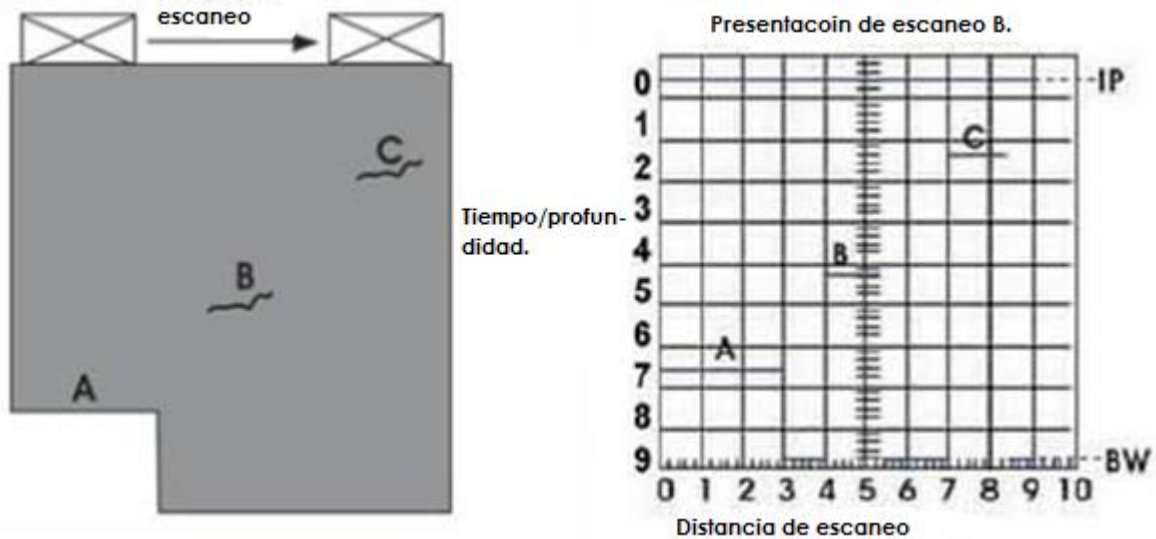


Figura 3.28. Representación tipo B.

3.8.2.1 Desplegado del escaneo tipo B

Es básicamente una gráfica de tiempo versus distancia, en el cual un eje ortogonal en el desplegado corresponde al tiempo transcurrido, mientras que el otro eje representa la posición del transductor a través de una línea sobre la pieza de trabajo relativa a la posición del transductor al inicio de la inspección.

3.8.3 **Representación tipo c (Scan C).**

La representación tipo C presenta una vista del plano analizado de la pieza. Estas visualizaciones son producidas por sistemas de escáner automáticos como escaneos por inmersión controlados por computadora (Figura 3.29). La amplitud de la señal de la onda es censada a intervalos regulares al mismo tiempo que el cabezal es desplazado por toda la superficie a analizar. Dicha amplitud es presentada utilizando una escala de grises o de colores en cada posición proveyendo una imagen de las características reflejadas.

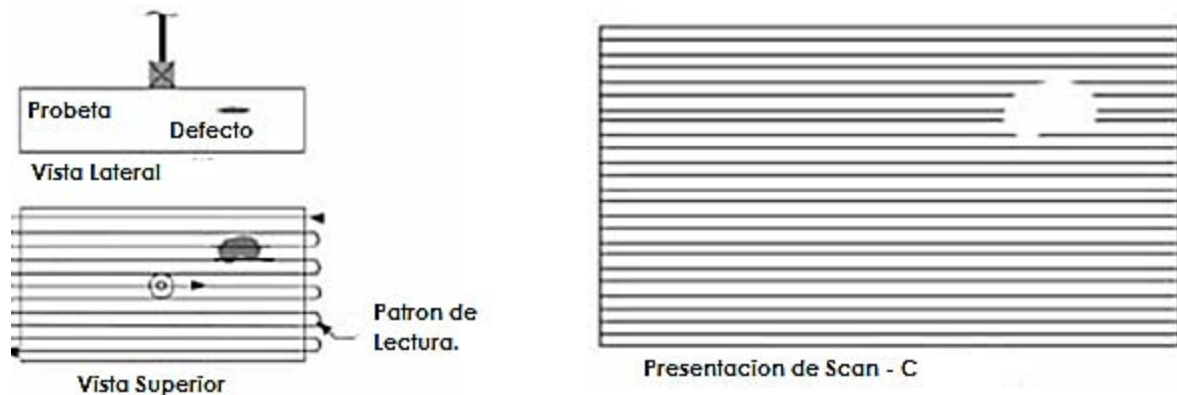


Figura 3.29. Esquema de barrido en representación tipo C.

En este tipo, se obtiene una imagen superficial del objeto, de manera que cualquier discontinuidad presente en la zona de interés proporcionará una indicación o la ausencia de esta. Las posiciones horizontal y vertical del palpador son controladas por el sistema de ensayo, y los ecos de indicación de las discontinuidades son clasificados mediante un control de intensidad. Esto se debe a que los equipos que utilizan la presentación Scan-C son automáticos y operan bajo la técnica de inmersión. La presentación de resultados se realiza por un graficador e indica la ubicación superficial de la discontinuidad, sin proporcionar información acerca de su forma,

orientación y profundidad. En otras palabras, un registro de resultados Scan-C es similar a una película radiográfica, pues proyecta a un plano las discontinuidades internas.

3.8.3.1 Desplegado del escaneo tipo C.

Almacena ecos de las porciones internas de las piezas a examinar como función de la posición de cada interface reflectiva dentro de un área. La profundidad de la falla normalmente no es almacenada, pero puede ser medida semi cuantitativamente (figura 3.30).

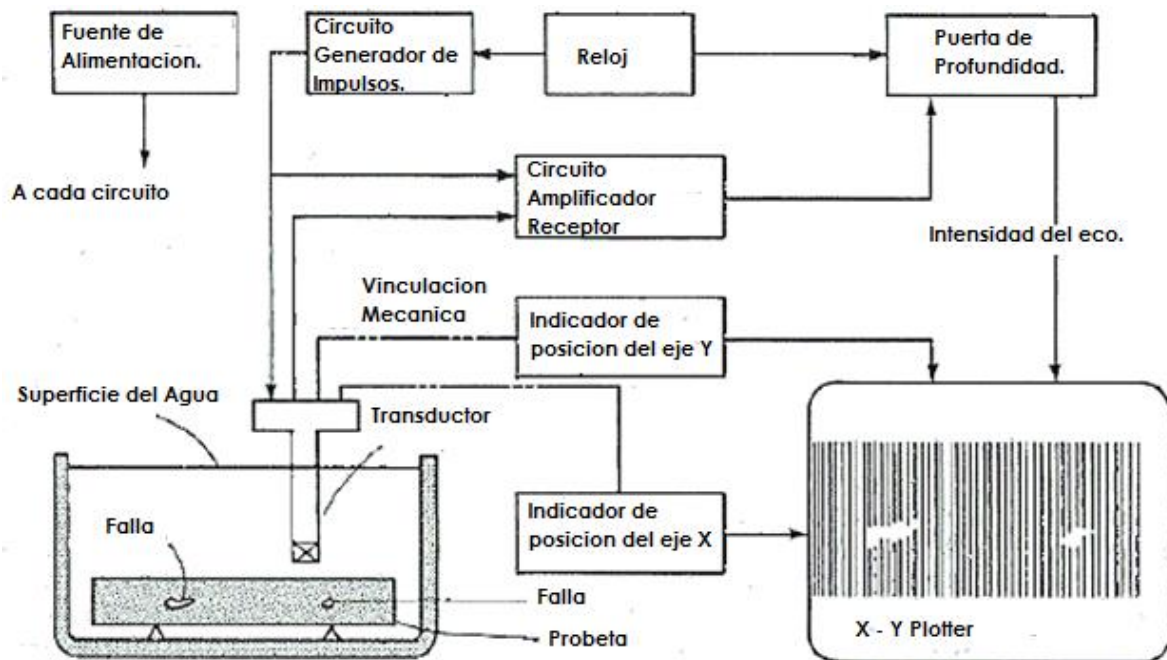


Figura 3.30. Diagrama típico de un arreglo de escaneo tipo C.

3.8.3.2 Metodologías de inspección requeridas por los equipos de ultrasonido.

3.8.3.2.1 *Phased Array, Configuración Lineal.*

La técnica de ultrasonido *Phased Array* con configuración lineal, simula el ultrasonido manual, solo se reemplaza el movimiento manual por un barrido electrónico. Como se muestra en la figura 3.31, el equipo y escáner empleado debe permitir en un solo recorrido inspeccionar desde ambos lados de la soldadura, de esta forma se evaluará apropiadamente todo el volumen de la soldadura.

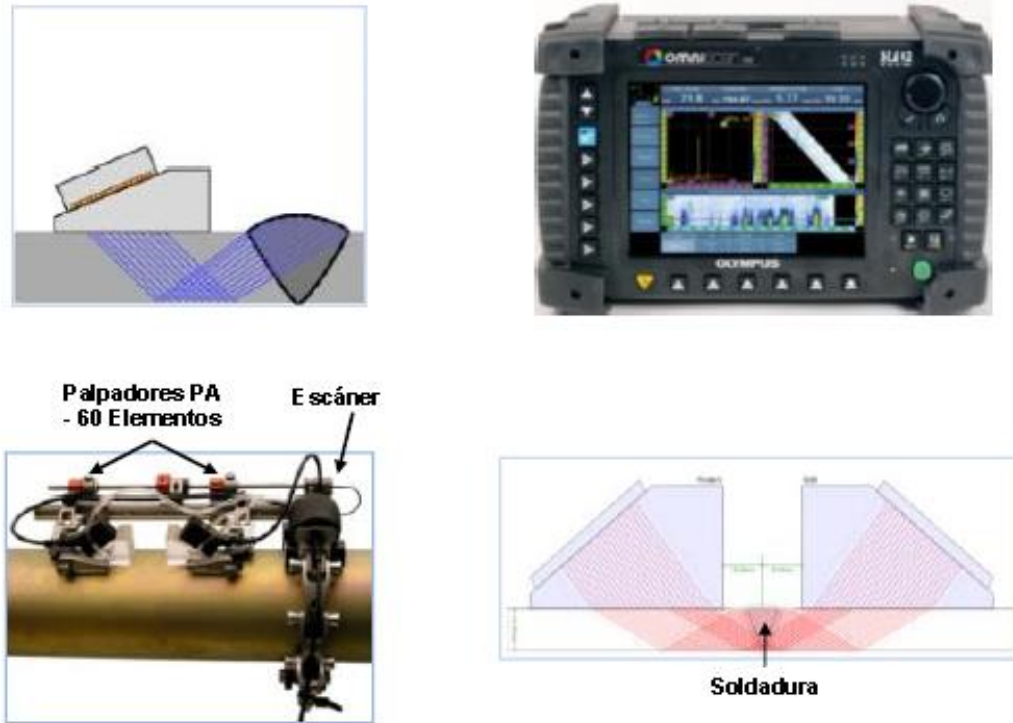


Figura 3.31. Configuración Phased Array Lineal.

3.8.3.2.2 Phased Array, Configuración Sectorial.

El barrido sectorial puede escanear en una sola pasada y un solo grupo, soldaduras de gran espesor (figura 3.32).



Figura 3.32. Configuración Phased Array Sectorial.

3.8.3.2.3 *Técnica TOFD (Time of Flight Diffraction).*

El ensayo de ultrasonido por TOFD se basa en la detección de ondas de difracción, es un excelente complemento para la inspección pulso eco, ya que se basa en un principio físico diferente (Figura. 3.33).

Dentro de las ventajas de la técnica TOFD se destaca la alta precisión en la medición de la altura de las discontinuidades y la ayuda que brinda para caracterizar el tipo de discontinuidad.

Como desventaja, la técnica tiene zona muerta cerca de la presentación de la soldadura, en esta zona existe la posibilidad de no detectar apropiadamente las discontinuidades, es por esta razón que no se recomienda como única técnica de inspección.

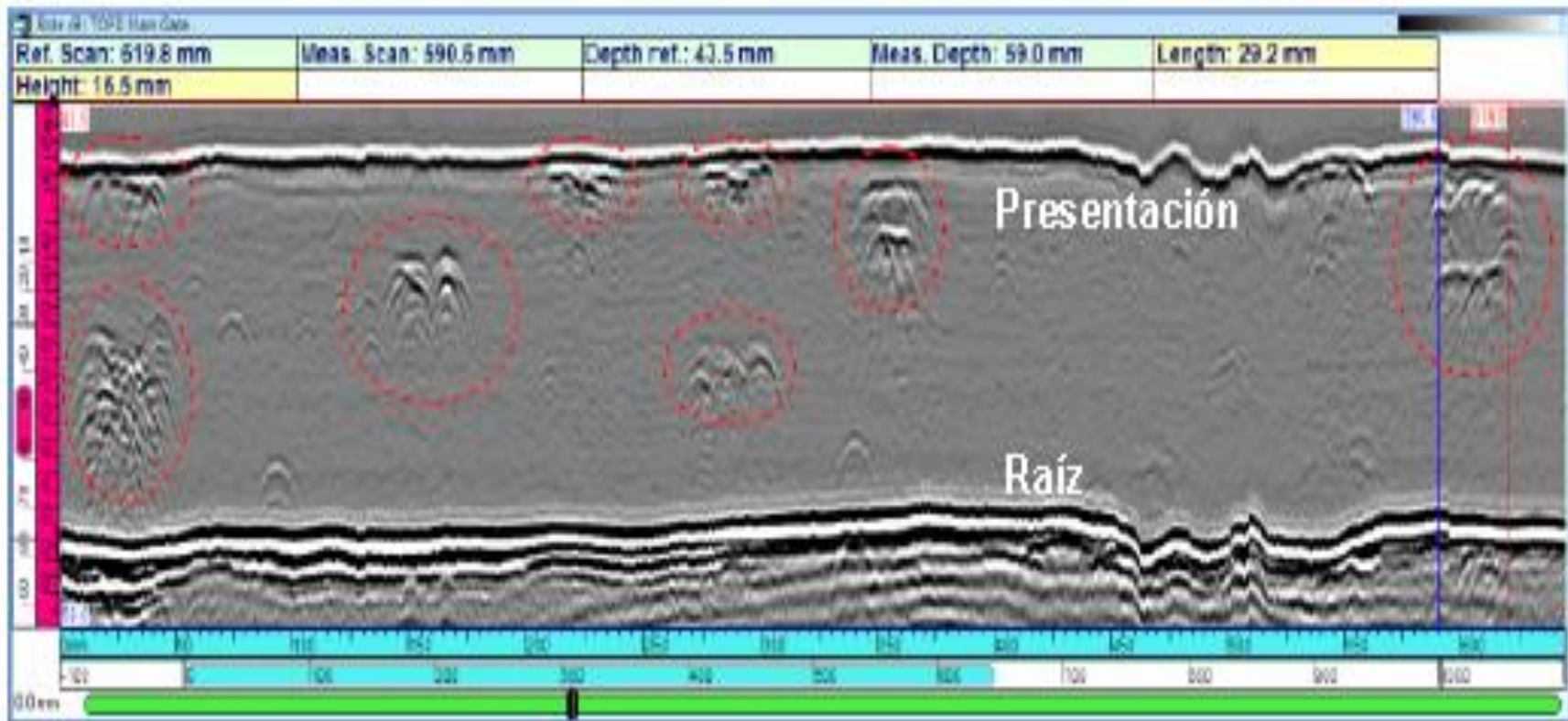


Figura 3.33. Técnica complementaria TOFD.

3.8.3.2.4 AUT – Ultrasonido Automatizado (Discriminación de Zonas).

El ensayo de AUT no hace énfasis solamente en el empleo de escáner motorizado para el desplazamiento automático, lo más importante que se debe cumplir es la “Discriminación de Zonas” adicionalmente, para soldadura automática se empleará la técnica “tándem” y para la soldadura manual, la técnica “pulso eco”. La técnica requiere la división de cada soldadura en diferentes zonas, (figura 3.34).

El equipo de ultrasonido deberá generar un haz ultrasónico por cada zona, el cual debe tener control de ganancia independiente. La calibración se realiza con un bloque basado en la norma ASTM E1961, donde existe un reflector por cada zona.

El ultrasonido automático (discriminación de zonas), puede realizarse con palpadores de UT convencional (Multi-Probe) o mediante la técnica Phased Array; sin embargo, es mejor emplear la tecnología Phased Array ya que permite el enfoque de la energía en la zona de interés permitiendo un mejor sobre trazado (Overtrace); por otra parte, el escáner que funciona bajo la técnica Phased Array es más liviano y permite rápidamente cambiar la calibración al variar el espesor.

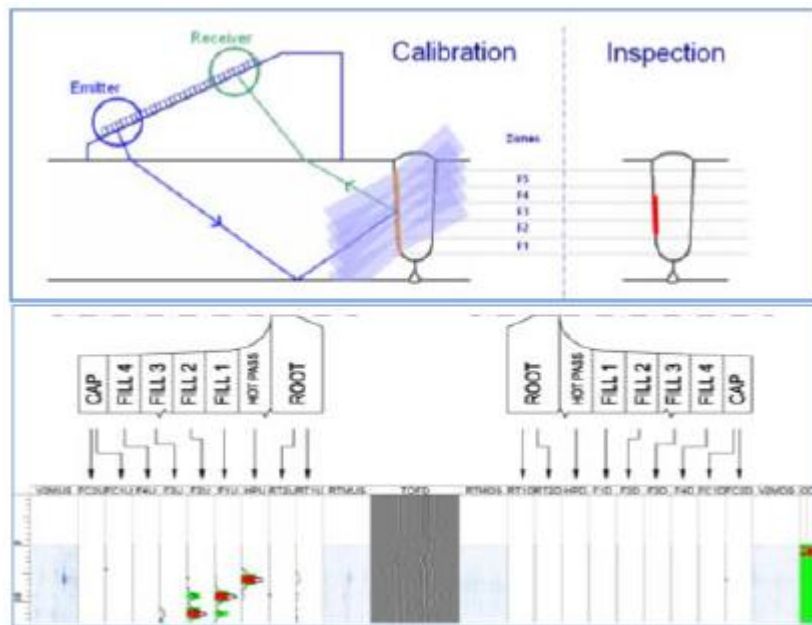


Figura 3.34. Principio de la técnica de Ultrasonido Automático (AUT).

3.9 BLOQUES DE CALIBRACIÓN.

La acción de calibración se refiere a un acto de evaluación y ajuste de la precisión de medida del equipo. En lo que respecta a ensayos ultrasónicos se utilizan variados métodos de calibración ya que es un ensayo que se basa en la comparación. Primeramente la electrónica del equipo se debe calibrar para asegurar su funcionamiento y diseño. Luego hay una calibración que se debe realizar por el usuario previo al ensayo. Esta calibración incluye el arranque del equipo, el cabezal, y el testeado del arranque para validar los niveles deseados de precisión.

Bloques Patrón o de Calibración, son piezas de un material de composición, estado superficial, tratamiento térmico, y forma geométrica especificados, mediante los cuales se puede verificar y calibrar un aparato de ultrasonidos. No han sido pensados para un ensayo concreto, ya que su validez es universal.

Bloques de Referencia, son piezas usadas para una inspección concreta. Son en general del mismo material, y con el mismo tratamiento térmico que la pieza a ensayar. Contienen reflectores bien definidos, utilizados para ajustar la amplificación del aparato de ultrasonidos, de manera que se puedan comparar las indicaciones detectadas, con las que provienen de reflectores conocidos. En la construcción de bloques de referencia se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- El material debe ser acústicamente equivalente al que se va a ensayar.
- El espesor no variara más del 10% de los valores de las piezas a ensayar.
- La superficie de apoyo no podrá ser inferior a tres veces el diámetro o anchura del palpador.
- Cuando el reflector es un taladro su diámetro no será inferior a dos veces la longitud de onda.

También estos patrones nos ayudan a estimar el tamaño de las imperfecciones. En un ensayo pulso-eco la intensidad de la señal depende tanto del tamaño de la fisura como de la distancia entre el cabezal y esta. Cabe destacar que el material del patrón a utilizar debe ser el mismo que el material a inspeccionar. A continuación se presentan algunos patrones de calibración como los mencionados (Figuras 3.35 y 3.36).

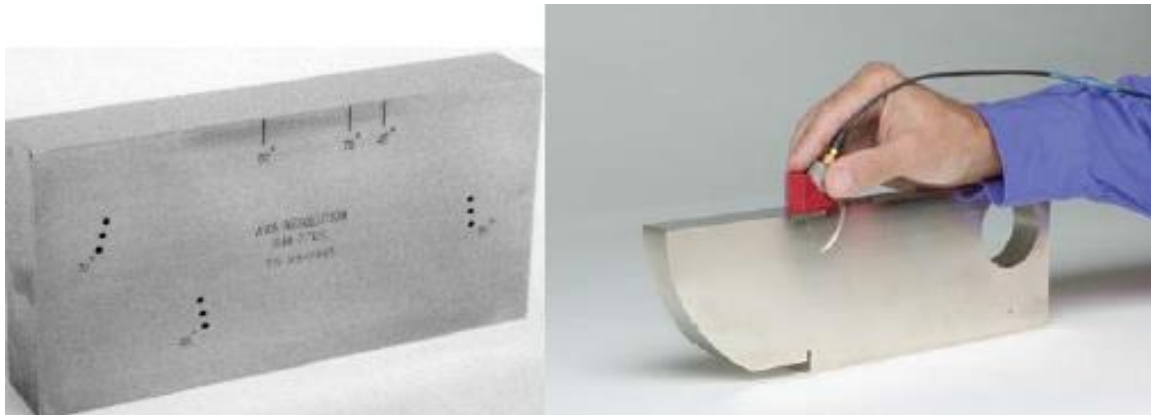


Figura 3.35. Patrones de Calibracion.



Figura 3.36. Patron de medicion de espesores.

Para la realización práctica, tanto de la comprobación del equipo como de la calibración del sistema, existen varios tipos de bloques o piezas de referencia. Los bloques de calibración que podrán ser utilizados, son los siguientes:

- Bloque del tipo AWS tipo II W.
- Bloques auxiliares para referencia.

Por medio de los bloques de calibración se puede:

- a) Verificar que el sistema compuesto por el transductor, cable coaxial y el equipo funciona correctamente.
- b) Fijar la ganancia o la sensibilidad con la cual se detectara las discontinuidades equivalentes a un tamaño especificado o mayores.

3.9.1 Bloque de calibración VI.

Este bloque (figura 3.37), surge de los trabajos realizados por la Comisión V "Ensayos, medidas y control de las uniones soldadas", del Instituto Internacional de Soldadura, llegando al establecimiento de una pieza patrón para el calibrado de los equipos que trabajan con la técnica de impulso-eco, para el control de uniones soldadas. Sirve para comprobación del ángulo real y punto de salida de palpadores angulares; ajustes en distancias. Con el transcurso del tiempo se han ido introduciendo modificaciones en el bloque V1, perfectamente válidas ya que respetan las condiciones básicas, que son:

- Clase de material con velocidad constante de las ondas.
- Dimensiones del bloque.

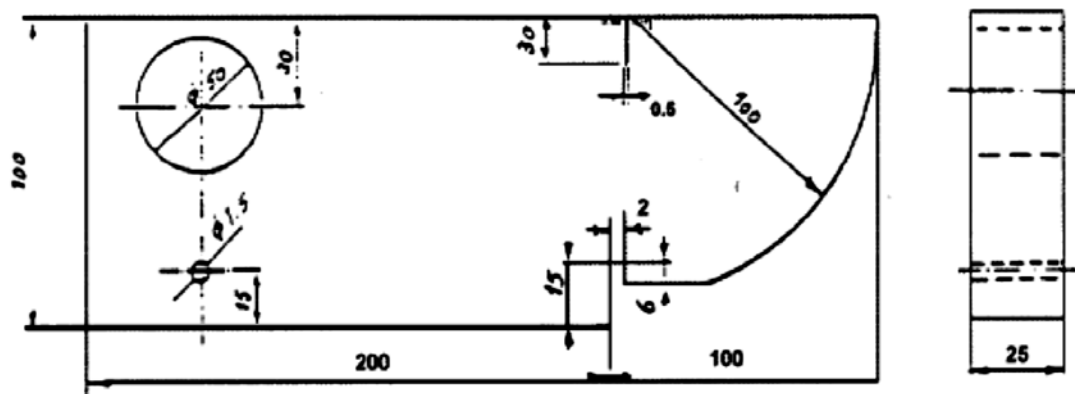


Figura 3.37. Bloque VI

3.9.2 Bloque de calibración V2.

Con este bloque se realizan las mismas funciones que con el bloque V1, pero con palpadores miniatura, y los ajustes son en campos menores de 200mm, que es el campo mínimo de calibración del bloque V1.

3.9.3 Bloque ASME.

Estos bloques están contruidos y mecanizados de acuerdo con la figura 3.38. El plaqueado o revestimiento de acero inoxidable se depositara siguiendo el mismo procedimiento empleado para el plaqueado del componente, si lo tiene. El acabado superficial y tratamiento térmico han de ser iguales.

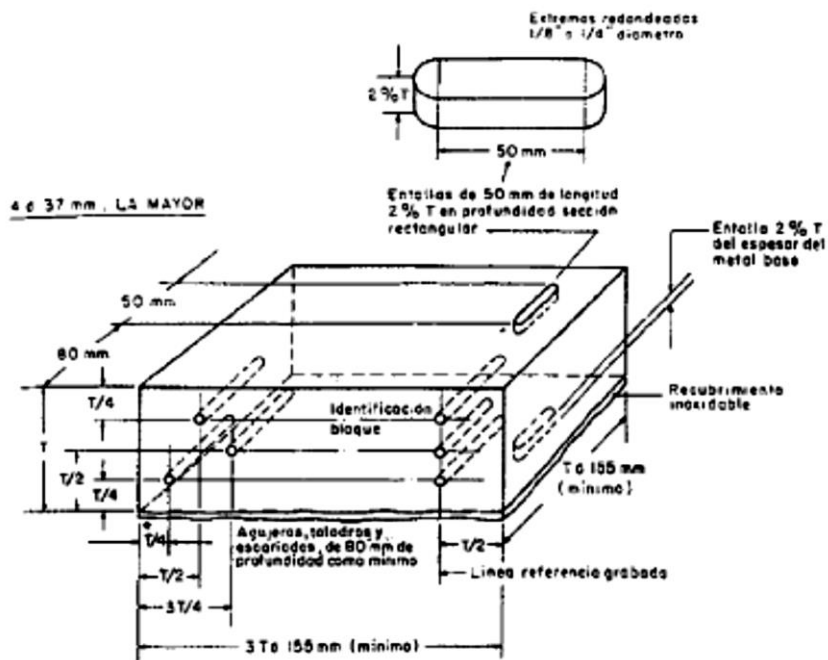


Figura 3.38. Estos bloques tienen básicamente tres taladros y dos entallas para la calibración con palpadores de incidencia angular y otros tres taladros para calibración con palpadores de incidencia normal.

3.9.4 Bloque normalizado tipo II w.

Servirá para realizar y comprobar la calibración en distancias y para la comprobación del punto de salida y ángulo del haz ultrasónico emitido por un palpador angular en condiciones normales. La principal misión del bloque es el ajuste del equipo, en conjunto con los palpadores normales y angulares, así como para la calibración en campos menores de 200 mm.

3.10 NORMAS QUE CERTIFICAN Y EVALÚAN LA INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO.

3.10.1 Normas AWS D1.1. Pruebas de ultrasonido en uniones de ranura soldadas.

3.10.1.1 Normas Generales.

- **Porosidad en tubería.** Para detectar posible porosidad en tubería la práctica RT es recomendada para suplementar la examinación UT para soldaduras ESW o EGW.
- **Metal Base.** Estos procedimientos no intentan emplearse en para realizar pruebas sobre metal base. De todas formas, discontinuidades relacionadas con soldadura (grietas,

laminaciones, etc.) en el metal base adyacente las cuales según este código no serían aceptables deberán de ser informadas al ingeniero en jefe.

3.10.1.2 Equipo UT

- **Requerimientos de equipo.** Los instrumentos utilizados en la prueba UT deberán de ser de tipo eco-pulsados diseñados para trabajar con transductores que oscilen en frecuencias entre 1 y 6 MHz.
- **Linealidad Horizontal.** La linealidad horizontal del instrumento de pruebas deberá de estar calificada de acuerdo a la distancia del patrón completo de sonido a ser utilizada en la prueba UT de acuerdo a lo establecido en el punto 6.30.1.
- **Requerimientos de los instrumentos de prueba.** Los instrumentos de prueba deberán de incluir una estabilización interna para que después de que el instrumentos se haya calentado previamente para su operación no existan variaciones mayores que +/- 1 dB debido a un cambio de voltaje nominal de 15%. Deberá de existir una alarma o un dispositivo que monitoree en caso de caída de voltaje en la batería antes de que el equipo se apague debido a que la batería se descargó por completo.
- **Calibración de los instrumentos de prueba.** Los instrumentos de prueba deberán de tener un control de ganancia calibrado (atenuador) ajustable de 1 a 2 dB con un rango máximo de 60dB. El procedimiento de calificación deberá de estar de acuerdo con lo descrito en el punto 6.24.2 y 6.30.2
- **Rango de despliegue.** El rango dinámico de despliegue de los instrumentos deberá de tener un grado de detección de 1dB en variación de amplitud.
- **Haz recto (onda longitudinal) unidades de búsqueda.** El haz recto (onda longitudinal) unidad de búsqueda deberán de tener un área activa no menor a ½ pulgada cuadrada y no más que 1 pulgada cuadrada. El transductor deberá de ser redondo o cuadrado. Los transductores deberán de ser capaces de manejar los tres tipos de reflexiones descritas en 6.29.13.
- **Unidades de haz angular.** Las unidades de haz angular deberán de consistir en transductores. La unidad deberá de estar compuesta de dos elementos o de una unidad integral.
- **Frecuencia.** La frecuencia de los transductores deberá de estar entre 2 y 2.5 MHz.

- **Dimensiones de los transductores.** El cristal del transductor deberá de ser rectangular o cuadrado y podrá variar de 5/8" a 1" en espesor y de 5/8" a 13/16" en altura. La relación máxima de espesor con altura deberá ser de 1.2 a 1.0 y la mínima relación de espesor con altura podrá ser de 1.0 a 1.0
- **Ángulos.** El transductor podrá producir un haz de sonido con un Angulo en el material de 2 grados más o menos que: 70, 60 o 45 grados.

CAPITULO 4

IMPLEMENTACIÓN DE CORRELACIONES:

**PRUEBA DESTRUCTIVA TEARDOWN VS
ULTRASONIDO.**

**EFICIENCIA DEL EQUIPO DE
ULTRASONIDO.**

4.1 INTRODUCCIÓN

Las pruebas por ultrasonido son uno de los métodos de control no destructivos que se utilizan hoy en día y se encuentran en continuo desarrollo, estas tecnologías se aplican dentro de las instalaciones de Cuautitlán Stamping and Assembly (CSAP, Planta de Ensamble y Estampado Cuautitlán) Planta Ford Motor Company. Dentro de la planta de carrocería se utilizan diferentes métodos de ensayos destructivos que incluyen “la prueba de desgarre”, “la prueba de cincel destructiva” y “la prueba no destructiva de cincel”.

En la prueba de desgarre y la prueba de cincel destructiva, las soldaduras son sometidas a esfuerzo hasta que se rompen con simples medios de prueba, sin dejar constancia de un valor medido. Lo que se utiliza como criterio de evaluación es el tipo de la rotura y el tamaño del punto de soldadura. La cantidad de chatarra que genera esta prueba hace que el costo sea considerable. La ventaja de la prueba de cincel radica en el hecho de que también se puede utilizar en el componente acabado. Sin embargo, se utiliza sobre todo como una prueba no destructiva y en estos casos, la carga no se aplica hasta la rotura de la unión soldada. Los costos para esta prueba son comparativamente bajos, pero también el valor de sus resultados de la prueba.

La prueba no destructiva de cincel solo se puede utilizar para la detección de puntos de soldadura defectuosos cuya fuerza se encuentra muy por debajo del valor mínimo permisible, por ejemplo, los llamados “Puntos Pegados”. Cuando hablamos de soldadura por resistencia hablamos de un proceso que consiste en obtener un núcleo de fusión de diámetro determinado en función del espesor de las láminas. La soldadura eléctrica por resistencia utiliza el desprendimiento de calor producido por el paso de una corriente de fuerte intensidad y necesita la aplicación de un esfuerzo entre las piezas a soldar.

En la cual se tiene que (figura 4.1):

- A. Núcleo fundido.
- B. Electrodo superior (caps. de cobre).
- C. Electrodo inferior (caps. de cobre).
- D. Pieza a soldar (placas de lámina de aluminio.)

Después de la elaboración de los puntos de soldadura, se realiza una inspección visual de los puntos para verificar lo siguiente:

- Que no estén quemados, ni perforados y que estén exentos de picaduras.
- Que tengan una ligera indentación (muesca de 0.2 a 0.4 mm de profundidad) en las dos caras de las láminas.
- Que estén exentos de indentación en la cara en el caso de utilización de un electrodo afilado plano (no provocan indentación de las láminas).

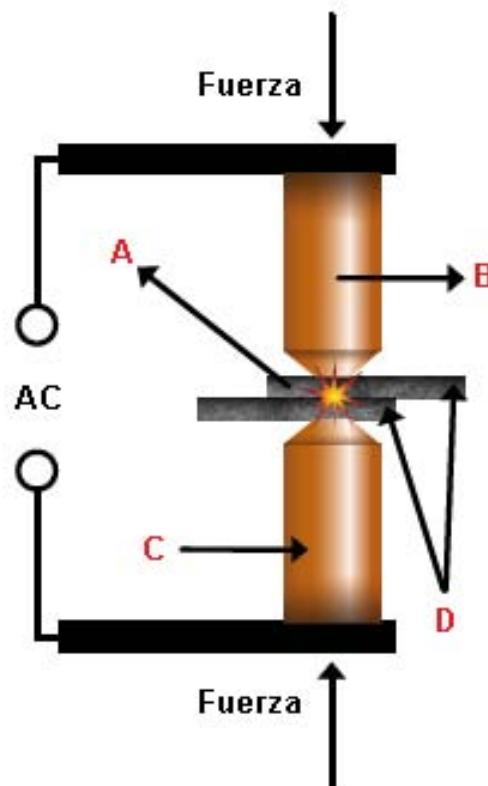


Figura 4.1 Puntos clave de la soldadura por puntos.

En la inspección visual, el operador utiliza las características de la superficie de la soldadura para determinar la calidad de la soldadura, por ejemplo: la coloración, indentación y la condición superficial. (Figura 4.2)

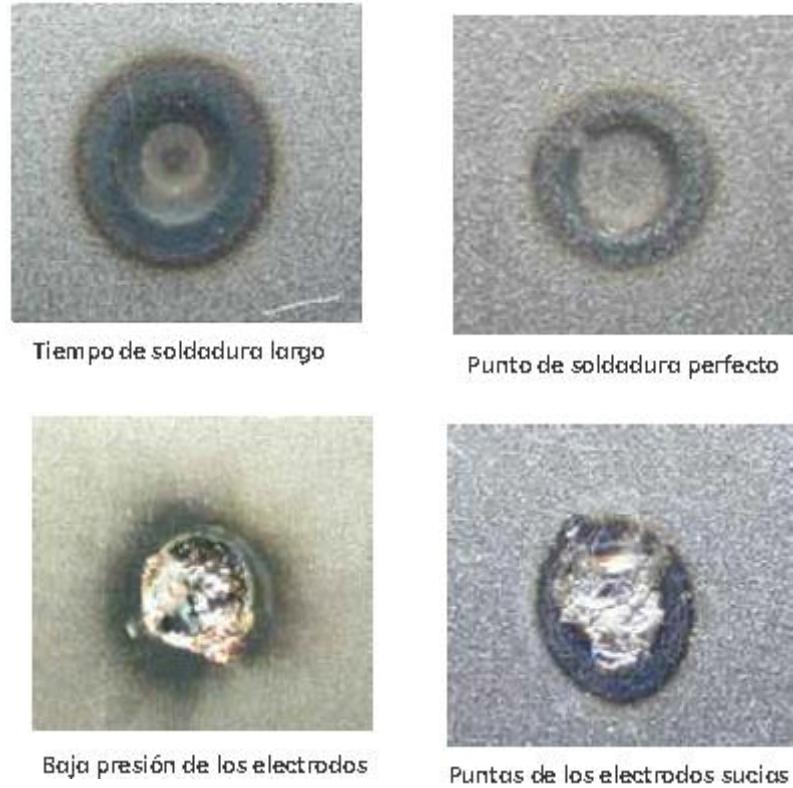


Figura 4.2. Ejemplos de defectos en la inspección visual.

En la planta de ensamblaje y estampado de Cuautitlán, se llevaba a cabo una inspección, en la cual se relacionaban los datos obtenidos en la inspección de ultrasonido y los datos obtenidos en la prueba destructiva de teardown. Sin embargo en estos documentos solo se hacía una validación de que se cumplieran dichas indicaciones de manera manual, no existía un documento en la que se comprobara un balance y ningún promedio de puntos de soldaduras dentro del rango aceptable o no aceptable. Por lo cual fue necesario implementar un formato de correlación para así tener un mejor control de cada una de las pruebas.

Dentro de esta misma, aparte de la clasificación de los puntos de soldadura, se manejaban 2 grupos que englobaban los puntos de soldadura en general, los cuales eran:

- **PUNTOS BETA:** Son aquellos en los cuales se manejaban todos aquellos puntos que estaban por debajo de los límites estandarizados. (Diámetro, forma y calidad).
- **PUNTOS ALPHA:** Son aquellos que están por arriba de los estándares, es decir, sobrepasan especificaciones tales como diámetro, calibre, forma y calidad.

4.2 REQUERIMIENTOS EN EL ÁREA DE CARROCERÍAS.

4.2.1 Puntos de soldadura.

Un punto de soldadura se considera malo (NOK) si:

- No hay núcleo en el desabotonado (cuando se realiza la prueba destructiva de desgarre y se observa que se ha pegado y no se fusiono el material.)
- El diámetro del núcleo es inferior al valor mínimo solicitado.

Con el equipo de ultrasonido se realiza la inspección tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Puntos OK.
- Sin soldadura.
- Punto quemado.
- Punto pequeño.
- Punto adherido.

En las figuras 4.3,4.4, 4.5 y 4.6 se presentan las formas de presentar un punto NOK.

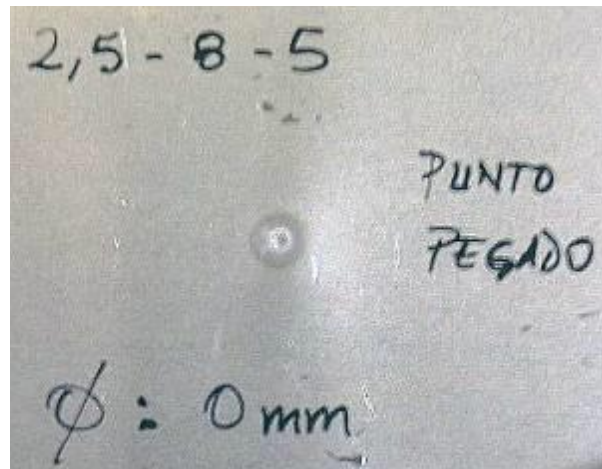
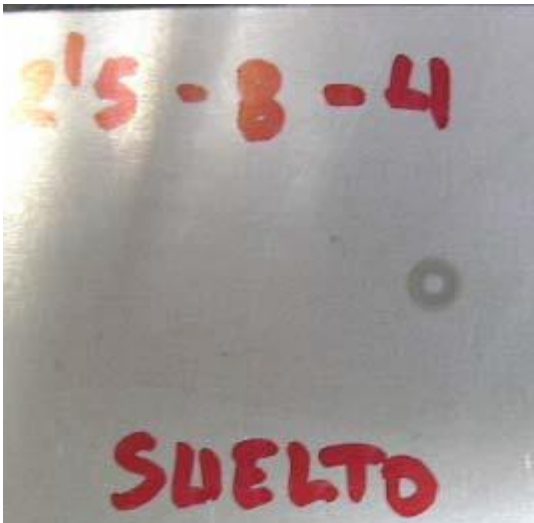


Figura 4.3 y 4.4 respectivamente, en la cual muestran un punto suelto (sin soldadura), y punto pegado o adherido.

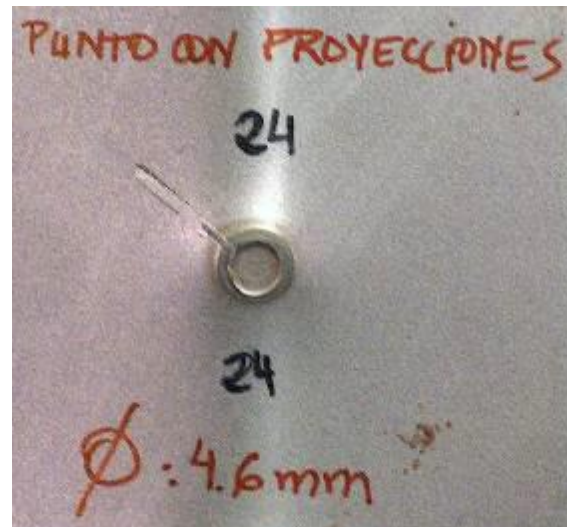


Figura 4.5 y 4.6, respectivamente, las cuales muestran un punto pequeño (menor al espesor requerido y punto de soldadura quemado

4.2.2 Diámetro del punto de soldadura.

El diámetro del punto de soldadura es el diámetro del material fundido medido en una prueba destructiva. El modo de fractura de una inspección de ultrasonido puede no ser algunas veces un punto de soldadura completo.

- Para el caso de una fractura, el diámetro del punto de soldadura es el promedio del diámetro en la superficie del botón de soldadura expuesto.
- Para una fractura parcial, el diámetro del punto de soldadura es el promedio del área de la superficie del punto expuesto incluyendo la fractura interfacial
- Para una fractura interfacial, el diámetro de soldadura es el promedio de la superficie de la fractura sin la adhesión de la zona del anillo.

4.2.2.1 Mínimo Diámetro de Soldadura.

Para un panel de soldadura doble el diámetro mínimo requerido es determinado usando el espesor de la lámina más delgada que tengan. Para un panel de soldadura triple, el mínimo diámetro de soldadura requerido en cada interface es determinado usando el espesor de la lámina más chica. La tabla 4.1 enlista los diámetros mínimos de soldadura medido tras un examen de teardown. El diámetro mínimo de soldadura es la dimensión relevante para el diseño de la junta y el diseño de

la soldadura. El espesor de la lámina de metal que hace referenciada en la tabla hace referencia al espesor nominal de la lámina más delgada en cada interface de soldadura.

Tabla 4.1. Mínimos de soldadura, prueba de teardown estándar.

Más delgado espesor de lámina en la interface de soldadura (mm).	Diámetro mínimo satisfactorio de soldadura (mm).	Mínimo diámetro insatisfactorio de soldadura (mm).
0.50 – 0.79	3.5	2.6
0.80 – 1-24	4.0	3.0
1.25 – 1.99	5.0	3.8
2.00 – 3.00	6.3	4.7

4.2.3 Limitaciones en la relación del calibre.

Cuando una de las láminas exteriores es de acero de fase dual (DP) con una resistencia mínima a la tensión de 780 MPa, aceros de transformación inducida por plasticidad (TRIP), acero martensítico (MSW), o acero bórico, la mayor resistencia de limitación de radio obtenida por el calibre puede ser usado para la realización de las pruebas.

4.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE UNA INSPECCIÓN DEL DEPARTAMENTO DE TEARDOWN VS EL EQUIPO DE ULTRASONIDO.

En la actualidad en la planta CSAP, para disminuir costos en cuanto a pérdidas debido a pruebas destructivas en el área de CARROCERÍAS, se realiza una inspección destructiva programada 1 vez por mes en el departamento de TEARDOWN (Departamento de Destrucción) para llevar a cabo una relación entre las medidas obtenidas en la inspección de ultrasonido. La planta CSAP, se encarga de manufacturar el Ford Fiesta en sus modelos de 4 y 5 puertas. Figura 4.7 Fiesta modelo 4 puertas, figura 4.8 Fiesta modelo 5 puertas.



Figura 4.7 Ford Fiesta Modelo 4 puertas.



Figura 4.8 Ford Fiesta Modelo 5 puertas.

Actualmente se cuentan con las siguientes líneas de producción dentro de la nave de Carrocerías, en los cuales se realiza la inspección de la soldadura mediante el equipo de ultrasonido.

- Underbody (Zona debajo de la carrocería o plataforma).

- Quarter Inner (Cuartos Interiores).
- Closures (Cierres finales).
 - o Liftgate (Compuerta levadiza).
 - o Hood (El capó o capota).
 - o Front Door (Puerta Delantera).
 - o Decklid (Cajuela).
 - o 5 puertas y 4 puertas Rear (Puerta Trasera).
- Framing I, II, III, IV Y V (Encuadre final de la carrocería).
- Body Side (Costados).

Las áreas más críticas en la nave de Carrocerías son: Underbody, Framing y Body Side, debido a que son las zonas donde se une cada una de las partes de la carrocería.

- El departamento de TEARDOWN se encarga de separar una unidad después de cada 60 ciclos (cada ciclo es una unidad ensamblada en su totalidad en la nave de carrocerías) de la línea de producción, llevarla a su “destrucción” en la cual proceden a realizarle un análisis general de manera visual y manualmente, este consiste en utilizar herramientas tales como el calibrador digital (vernier) para medir cada uno de los puntos de soldadura. El proceso de realizar dicha inspección no debe de ser mayor a 5 días hábiles.

La inspección de ultrasonido tanto la inspección de teardown se llevan a cabo realizando un “match” (relación) del Catálogo Maestro, proporcionado por Ford USA, en el cual están localizados todos los puntos correspondientes a cada departamento, su diámetro máximo y mínimo permitido de punto de soldadura.

4.3.1 Puntos de soldadura analizados por departamento.

En la tabla 4.2 se enlistan la cantidad de puntos que se analizan por cada departamento.

- Modelo Ford FIESTA 4 puertas: 1361 puntos por analizar en la inspección de ultrasonido.
- Modelo Ford Fiesta 5 puertas: 1292 puntos por analizar en la inspección de ultrasonido.

Tabla 4.2. Puntos de soldadura por departamento.

SUB – ENSAMBLE.	CANTIDAD DE PUNTOS A INSPECCIONAR.
Underbody.	523
Quarter Inner LH 4 Puertas	89
Quarter Inner RH 4 Puertas	82
Quarter Inner LH 5 Puertas	81
Quarter Inner RH 5 Puertas	70
Liftgate	55
Hood	12
Front Door RH	40
Front Door LH	40
Framing 5 Puertas	289
Framing 4 Puertas	358
Decklid	32
Body Side RH 4 Puertas	32
Body Side LH 4 Puertas	30
Body Side RH 5 Puertas	41
Body Side LH 5 Puertas	41
Rear RH 5 Puertas	34
Rear LH 5 Puertas	34
Rear RH 4 Puertas	34
Rear LH 4 Puertas	34

4.3.2 Ejemplos de formatos obsoletos ocupados para realizar la correlación.

El formato de la figura 4.9 se llena una vez finalizada la inspección tanto ultrasónica como destructiva y a esto se le conocía como formato de correlación, sin embargo no presentaba mayor información más que solo conocer si el punto acreditó los mínimos o máximos límites establecidos.


							
Ultrasonic NDT vs. Weld Teardown Log Sheet							
PLANT	Cuautitlan Stamping & Assembly						
ULTRASONIC INSPECTOR NAME				AREA/LINE	Closures		
TEARDOWN INSPECTOR NAME				SUBASSEMBLY / PART	Hood		
SHIFT	RR-HOOD-01			STACKUP			
DATE				Required Min Button Size (mm):	3.2 mm		
	Ultrasonic	Teardown	Correlation Ultrasonic vs. Teardown				
WELD ID	Weld Size (mm)	Average Weld Size (mm)	OK-OK	OK-NOK	NOK-OK	NOK-NOK	Notes
5C001A-001-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001A-002-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001A-003-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001A-004-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001B-005-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001B-006-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001B-007-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5C001B-008-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5L002A-001-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5L002A-002-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5R002A-001-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
5R002A-002-54			0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.2 mm
TOTAL			0	0	0	12	
Correlation Study Reviewed by		Date Reviewed		OK-OK: Weld determined to be OK by Teardown n was called OK by UT OK-NOK: Weld determined to be OK by Teardown n was called NOK by UT			
<input type="text"/>		<input type="text"/>					

Figura 4.9. Formato obsoleto de correlación área de ensamble HOOD.

4.3.2.1 Descripción de los formatos

Prueba No Destructiva de Ultrasonido vs. Hoja de Registro de la Prueba de Soldadura de Teardown. (Figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13).

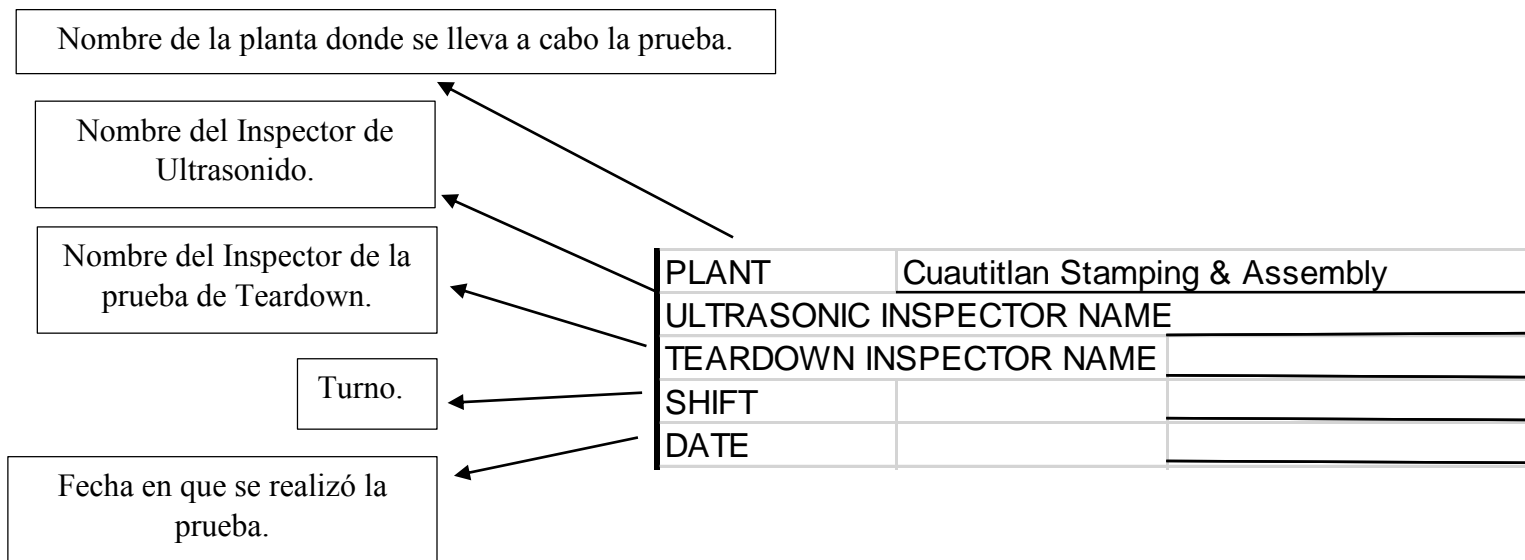


Figura 4.10 Descripción de formatos parte 1.

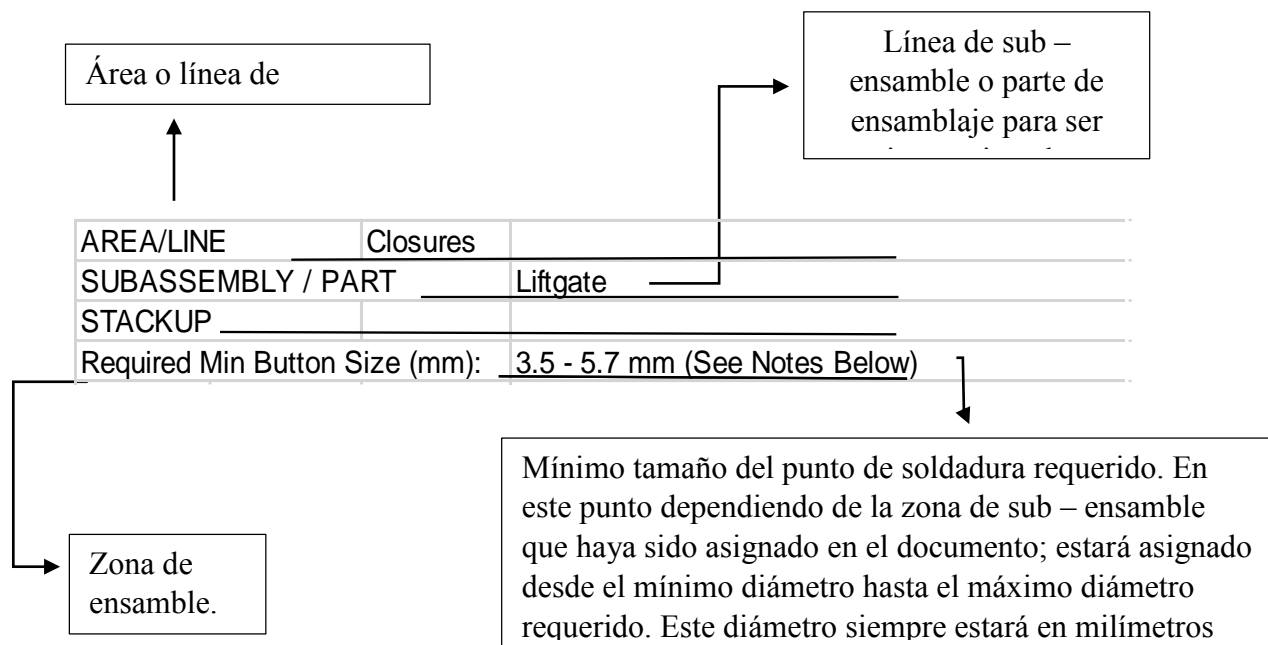


Figura 4.11 Descripción de formatos parte 2.

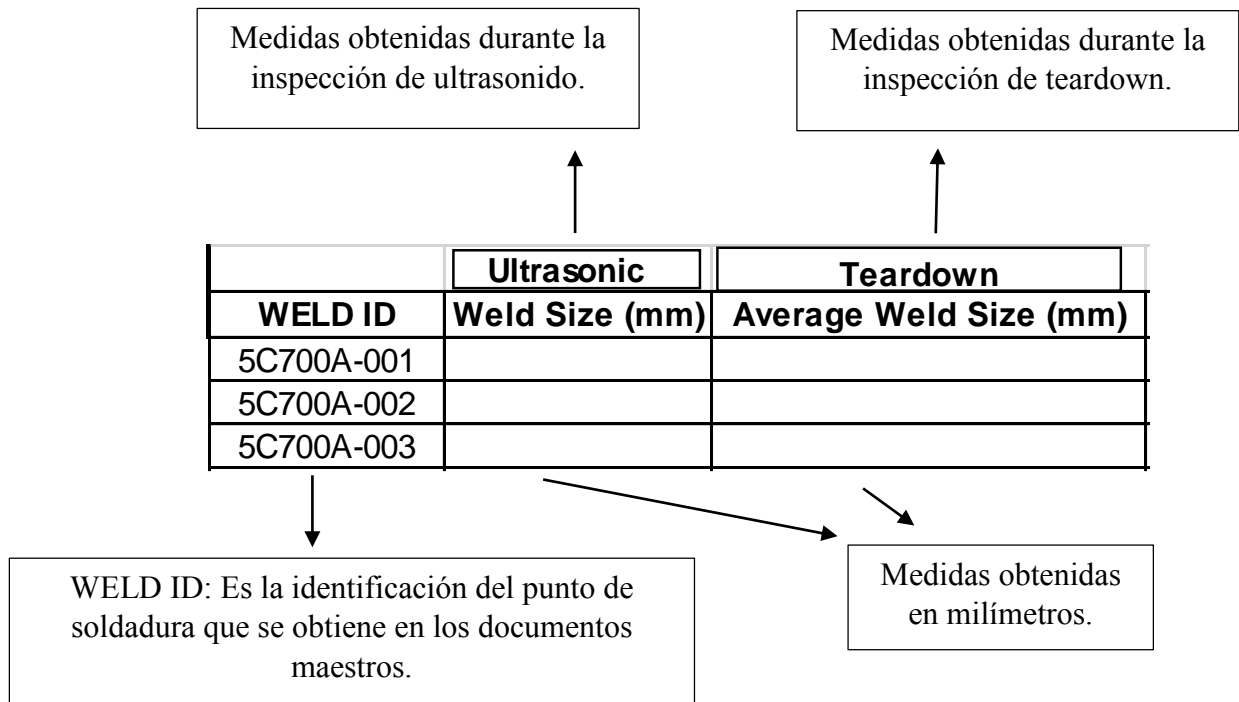


Figura 4.12. Descripción de formatos parte 3.

Correlation Ultrasonic vs. Teardown n				Notes
OK-OK	OK-NOK	NOK-OK	NOK-NOK	
0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.6 mm
0	0	0	1	Minimum Nugget Size = 3.3 mm

1 2 3 4 5

Figura 4.13. Descripción de formatos parte 4.

- 1. Puntos OK – OK.** Punto de soldadura en el cual en la inspección de teardown fue aceptado y en la inspección de ultrasonido también fue aceptado.
- 2. Punto OK – NOK.** Punto de soldadura en el cual fue determinado como OK por la inspección de teardown, pero fue rechazado (NOK) en la inspección de ultrasonido.
- 3. Punto NOK - OK.** Punto de soldadura determinado como NOK o rechazado en la inspección de teardown, pero fue aceptado en la inspección de ultrasonido.

4. **Punto NOK – NOK.** Punto de soldadura que fue rechazado por ambas inspecciones.
5. Mínimo diámetro aceptado para cada WELD ID, utilizado como referencia para realizar la inspección y realizar la correlación necesaria.

4.3.3 Nuevos formatos para establecer una correlación más exacta de los datos obtenidos.

En estos nuevos formatos de correlación se establecen funciones tales como:

- Punto aceptado o no, dependiendo de los límites establecidos por cada WELD ID, en el cual se establece si el diámetro obtenido mediante la prueba de ultrasonido es mayor al mínimo diámetro establecido.
- Se agregan los puntos BETA y ALPHA en los cuales se establecen los puntos que están dentro de los estándares de diámetros mínimos y máximos.
- Se agrega el valor de la diferencia de “Valor del diámetro obtenido – el valor del diámetro estándar”.
- Se agregan datos como: Tolerancia positiva, negativa, exacta y su promedio. Total de datos alpha y beta.

Sin embargo se agregan graficas de datos conglomerados tales como promedios de tolerancia entre datos estándar (mínimo tamaño de punto de soldadura) y resultados obtenidos en las inspecciones de soldadura, cuadros de tolerancia de puntos alpha y beta, tolerancia aceptada de resultados obtenidos en la inspección de ultrasonido vs los resultados obtenidos en la inspección de teardown, correlación graficada en el cual se agregan los valores positivos o negativos por departamentos, el total de puntos alpha y beta por unidad analizada completamente, no por departamentos (Figura 4.14).

Los siguientes datos fueron obtenidos de una prueba de ultrasonido vs teardown, realizada del 06 al 08 de Febrero de 2012.

Figura 4.14. Nuevos formatos de correlación.

Decision	Weld	Diameter	Beta		Alpha			Date							
Pass	Reason	Id	Safety	3T	UT	Caliper	Min	Actual	Measured	Measured	Actual	Total Good Welds	+/- Tol.	Abs. Value	07/02/2012
Y		7R092A-001			4.9	4.5	3.47	0	0	0	0	1	0.4	0.4	
Y		7R092A-002			6.1	5.2	3.47	0	0	0	0	1	0.9	0.9	Exact Tolerance 2
Y		7R092A-003			6.1	6.1	3.47	0	0	0	0	1	0	0	Positive Tolerance 17 56.67%
Y		7R092A-004			5.6	5.7	3.47	0	0	0	0	1	-0.1	0.1	Negative Tolerance 13 43.33%
Y		7R092A-005			5.8	4.4	3.47	0	0	0	0	1	1.4	1.4	
Y		7R092A-006			5.4	5.5	3.47	0	0	0	0	1	-0.1	0.1	Average Tolerance 0.56
Y		7R092A-007			6	5	3.47	0	0	0	0	1	1	1	
Y		7R094A-002			5.7	5.9	4.2	0	0	0	0	1	-0.2	0.2	
Y		7R097A-002			5.8	6	4.2	0	0	0	0	1	-0.2	0.2	
Y		7R098A-001			6	5	3.47	0	0	0	0	1	1	1	
Y		7R098A-002			6.4	6.6	3.47	0	0	0	0	1	-0.2	0.2	
Y		7R099A-002			6.9	6.2	3.47	0	0	0	0	1	0.7	0.7	
Y		7R099A-003			5.7	6.2	3.47	0	0	0	0	1	-0.5	0.5	
Y		7R099A-004			5.7	5.7	3.47	0	0	0	0	1	0	0	
Y		7R103B-012			6	6.4	3.47	0	0	0	0	1	-0.4	0.4	
Y		7R103B-013			5.4	5	3.47	0	0	0	0	1	0.4	0.4	
Y		7R104A-002			5.2	5.5	3.23	0	0	0	0	1	-0.3	0.3	
Y		7R104A-003			6.5	5.3	3.23	0	0	0	0	1	1.2	1.2	
Y		7R104A-004			6.3	5	3.23	0	0	0	0	1	1.3	1.3	
Y		7R104A-005			5.5	5	3.23	0	0	0	0	1	0.5	0.5	
Y		7R109A-001			6.7	6.3	4.2	0	0	0	0	1	0.4	0.4	
Y		7R109A-002			6.3	5.8	4.2	0	0	0	0	1	0.5	0.5	
Y		7R110A-001			6.2	5.7	3.47	0	0	0	0	1	0.5	0.5	
Y		7R110A-002			5.8	5.2	3.47	0	0	0	0	1	0.6	0.6	
Y		7R113A-001			5.6	5.8	3.58	0	0	0	0	1	-0.2	0.2	
Y		7R151E-023			5.1	5.4	3.23	0	0	0	0	1	-0.3	0.3	
Y		7R151E-024			4.7	5.6	3.23	0	0	0	0	1	-0.9	0.9	
Y		7R151E-025			5.2	5.4	3.23	0	0	0	0	1	-0.2	0.2	
Y		7R151E-026			6.5	5	3.23	0	0	0	0	1	1.5	1.5	
Y		7R154A-002			4.9	5.8	3.47	0	0	0	0	1	-0.9	0.9	
Y		7R154A-003			6.1	5.7	3.47	0	0	0	0	1	0.4	0.4	
Y		7R161A-001			6	5.3	3.35	0	0	0	0	1	0.7	0.7	

Nominal Measurements		
Beta		Alpha
Actual Undersize		Measured Undersize
0		0
Measured Undersize		Actual Undersize
0		0
		Total Good Welds
		32
Beta		Alpha
#DIV/0!		100.00%

4.3.3.1 Descripción de los nuevos formatos aplicados al formato de correlación antiguo.

Descripción de la figura 4.15.

1. Columna en la que se indica si el punto de soldadura es aceptado, condicionado con la siguiente regla: si el diámetro del punto de soldadura obtenido en la prueba de ultrasonido es mayor al mínimo diámetro del punto de soldadura estándar, el punto de soldadura es aceptado.
2. Razones por las cuales se está aceptando el punto de soldadura como un punto OK.
3. WELD ID, para identificar el punto de soldadura que se está analizando.
4. Tipo de equipo de protección personal utilizado para realizar la prueba.
5. En esa casilla se señala si fue una inspección realizada en una carrocería a 3 láminas.
6. Diámetro obtenido por el equipo de ultrasonido.
7. Diámetro obtenido durante la prueba teardown.
8. Mínimo diámetro requerido, según estándares de seguridad de la Ford.

Decision		Weld			Diameter		
Pass	Reason	Id	Safety	3T	UT	Caliper	Min
Y		7R092A-001			4.9	4.5	3.47
1	2	3	4	5	6	7	8

Figura 4.15. Análisis de los nuevos elementos en los nuevos formatos (a).

Descripción de la figura 4.16.

1. Inicio de la configuración.
2. Lados medidos en la configuración.
3. Mínimo y máximo indentación.
4. Fecha en la que se realizó la inspección.
5. Turno en el que se realizó la inspección.
6. Nombre del inspector.
7. Área en la que se lleva a cabo la inspección.

Setup	Side 1	Side 2	Min	Max	Date	Time	Inspector	Unit Number
1	2		2		07/02/2012	Shift 2	6	Body Side RH - 4 Door

Figura 4.16. Análisis de los nuevos elementos en los nuevos formatos (b).

Descripción de la figura 4.17.

1. Medida actual de los puntos beta analizados.
2. Medida correcta de los puntos beta analizados.
3. Medida correcta de los puntos alpha analizados por inspección.
4. Medida actual de los puntos alpha analizados por inspección.
5. Cantidad total de puntos correctos analizados.
6. Porcentaje de desviación de los puntos buenos.
7. Valor absoluto de los puntos alpha.

Beta		Alpha				
Actual	Measured	Measured	Actual	Total Good Welds	+/- Tol.	Abs. Value
0	0	0	0	1	0.4	0.4

Figura 4.17. Análisis de los nuevos elementos en los nuevos formatos (c).

Descripción de la figura 4.18

1. Fecha en la que se realizó la prueba de ultrasonido.
2. Cantidad de puntos que obtuvieron una tolerancia exacta.
3. Cantidad de puntos que obtuvieron una tolerancia positiva, es decir por arriba de los radios y diámetros mínimos requeridos. Porcentaje obtenido sobre el 100%.
4. Cantidad de puntos que obtuvieron una tolerancia negativa, es decir por debajo de los diámetros y radios mínimos requeridos.
5. Promedio de la tolerancia obtenida durante la inspección.

Date			
07/02/2012	1		
Exact Tolerance	2	2	
Positive Tolerance	17	56.67%	3
Negative Tolerance	13	43.33%	4
Average Tolerance	0.56	5	

Figura 4.18. Análisis de los nuevos elementos en los nuevos formatos (d).

Beta	Alpha
Actual Undersize	Measured Undersize
0	0
2. Puntos BETA , aquellos que no son admisibles tanto por la prueba de ultrasonido como por la prueba de teardown.	Actual Undersize
0	0
3. Actual Undersize . Medida actual obtenida en la prueba destructiva de teardown.	Total Good Welds
4. Measured Undersize . Medida real obtenida en la prueba de ultrasonido.	32
5. Promedio BETA . Promedio general de los puntos BETA específicos para el área en el que se realizó la inspección. Siempre debe marcar un 0 % o en su caso, debe marcar el error en la fórmula de Excel debido a que todos los datos son 0. Si en alguna ocasión	Alpha
Beta	
#¡DIV/0!	100.00%

marcara algún error o un valor por arriba de 1%, se debe de analizar la causa y el lugar de origen del porque marco ese porcentaje.

6. **Puntos ALPHA**, aquellos que son admisibles tanto por la prueba de ultrasonido como la prueba de teardown.
7. **Measured Undersize**. Medida real obtenida en la prueba de ultrasonido.
8. **Actual Undersize**. Medida real obtenida en la prueba destructiva de teardown.
9. **Total Good Welds**. Cantidad total de puntos aceptados por la prueba de ultrasonido y teardown, (ambas deben acreditar los puntos).
10. **Promedio ALPHA**. Promedio general de los puntos ALPHA específicos para el área en el que se realizó la inspección. Siempre debe de tener un porcentaje de > 95%, para que la correlación sea exitosa.

Nominal Measurements		1
Beta	2	Alpha
Actual Undersize	3	Measured Undersize
0		0
Measured Undersize	4	Actual Undersize
0		0
		Total Good Welds
		32
Beta	5	Alpha
#¡DIV/0!		100.00%

Figura 4.19. Análisis de los nuevos elementos en los nuevos formatos (e).

4.3.4 Presentación de la información a partir de los datos obtenidos en los nuevos formatos de correlación.

A continuación se presentan los datos obtenidos en las pruebas de ultrasonido y teardown como un conglomerado general. Anteriormente solo se utilizaban los datos que se presentaban en el formato de correlación obsoleto, sin ningún tipo de presentación de información general, y solo informando y presentando solo la cantidad de datos a analizar, sin embargo con estos nuevos formatos, se pueden obtener y generar una recopilación de los datos obtenidos en las pruebas de ultrasonido y teardown, y no solo obtener un conglomerado sino a su vez utilizar esa información para llevar un promedio ya sea mensual, trimestral, semestral o anualmente para corroborar si existe una cantidad excesiva en cuanto a puntos BETA y verificar si es solo una área o son varias.

4.3.4.1 Tabla de PROMEDIO POR DEPARTAMENTO.

En esta tabla se muestra en general la cantidad de puntos OK y NOK de todos los departamentos, y la cantidad de puntos aceptados en cada inspección, posteriormente se pueden obtener datos de varias inspecciones para tener un promedio semestral o anual. (Figura 4.20, 4.21, 4.22).

Descripción de la figura 4.20

1. Columna de los departamentos que existen en la nave de carrocerías.
2. Fecha en la que se realizó la inspección.
3. Diferencia absoluta entre el diámetro medido en la inspección de ultrasonido restado del mínimo diámetro admisible.

Department 1	Date 2	Difference +/- 3
Body Side RH	07/02/2012	0.56
Body Side LH	07/02/2012	0.69
Quarter Inner RH	07/02/2012	0.70
Quarter Inner LH	07/02/2012	0.89
Framing	08/02/2012	0.740782123
Under Body	07/02/2012	0.89

Figura 4.20. Tabla de promedios por departamentos. (1).

Descripción de la figura 4.21

1. Valores positivos (aquellos que están por arriba del mínimo diámetro del punto de soldadura) y valores negativos (aquellos que están por debajo del mínimo diámetro del punto de soldadura y sin embargo son aceptados como puntos OK).
2. Promedio general de puntos beta y alpha para cada área de trabajo.

Positive 1	Negative	Alpha 2	Beta
17	13	#¡DIV/0!	100.00%
15	15	#¡DIV/0!	100.00%
59	23	0.00%	100.00%
69	9	#¡DIV/0!	100.00%
139	210	0%	100%
219	273	0.00%	100.00%

Figura 4.21. Tabla de promedios por departamento (2).

Descripción de la figura 4.22.

1. Puntos BETA obtenidos por departamento. (Prueba destructiva teardown).
2. Puntos BETA obtenidos por departamento. (Prueba de ultrasonido).
3. Puntos ALPHA obtenidos por departamento. (Prueba de ultrasonido).
4. Puntos ALPHA obtenidos por departamento. (Prueba destructiva teardown).
5. Total de puntos aprobados, es decir, sin contar los puntos BETA y ALPHA detectados en las pruebas.

Beta Actual	Beta Measured	Alpha Measured	Alpha Actual	Total Goods
0	0	0	0	32
0	0	0	0	30
1	0	0	0	81
0	0	0	0	82
1	0	0	0	357
1	0	0	0	521

Figura 4.22. Tabla de promedios por departamentos (3).

4.3.4.2 Grafica de tolerancia diaria. Teardown vs Ultrasonido.

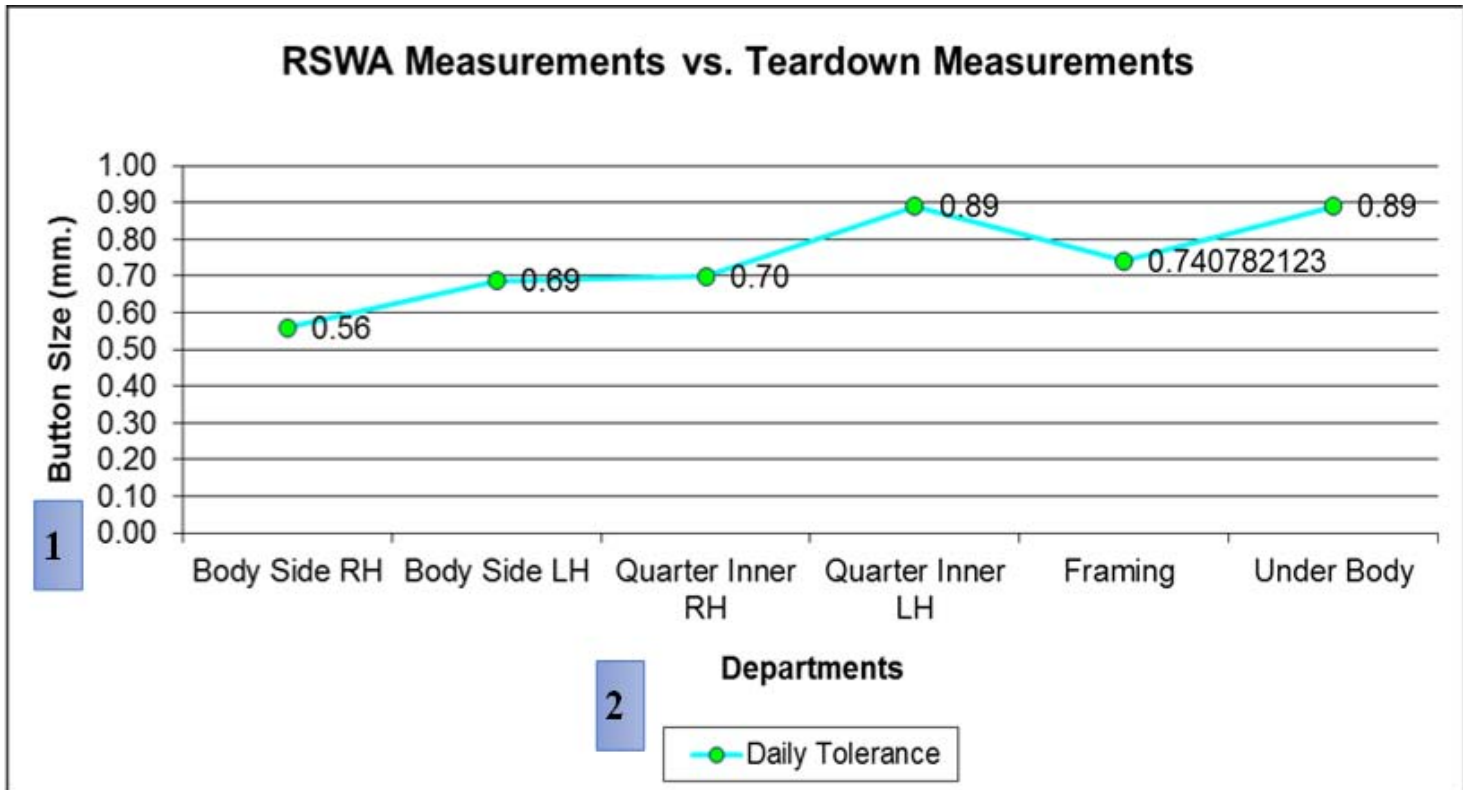
La grafica mostrada en la figura 4.23 muestra el promedio:

- Sumando cada valor de la columna Abs Value y dividido entre el número total de puntos en cada departamento. Lo buscado en mejoras del proceso es que no exista algún valor mayor a 0 en esta columna. Sin embargo en la columna +/- Total. Se tienen valores tanto positivos como negativos, esto se debe a que existe una diferencia entre las medidas obtenidas de teardown y ultrasonido.
- Valores Positivos: Se refiere cuando el diámetro medido por la inspección de ultrasonido es mayor que el diámetro medido en la prueba de teardown.
- Valores Negativos: Se refiere cuando el diámetro medido por la inspección de ultrasonido es menor que el diámetro medido en la prueba de teardown.

- Valor = 0: Es el valor que se obtiene cuando no existe diferencia entre lo medido en la inspección de ultrasonido y la prueba destructiva de teardown.

En pocas palabras con esta grafica se obtiene el valor máximo permitido del punto de soldadura por cada departamento.

Figura 4.23. Tolerancia diaria de cada departamento.



4.3.4.3 Grafica de Correlación o “Desviaciones” por departamentos.

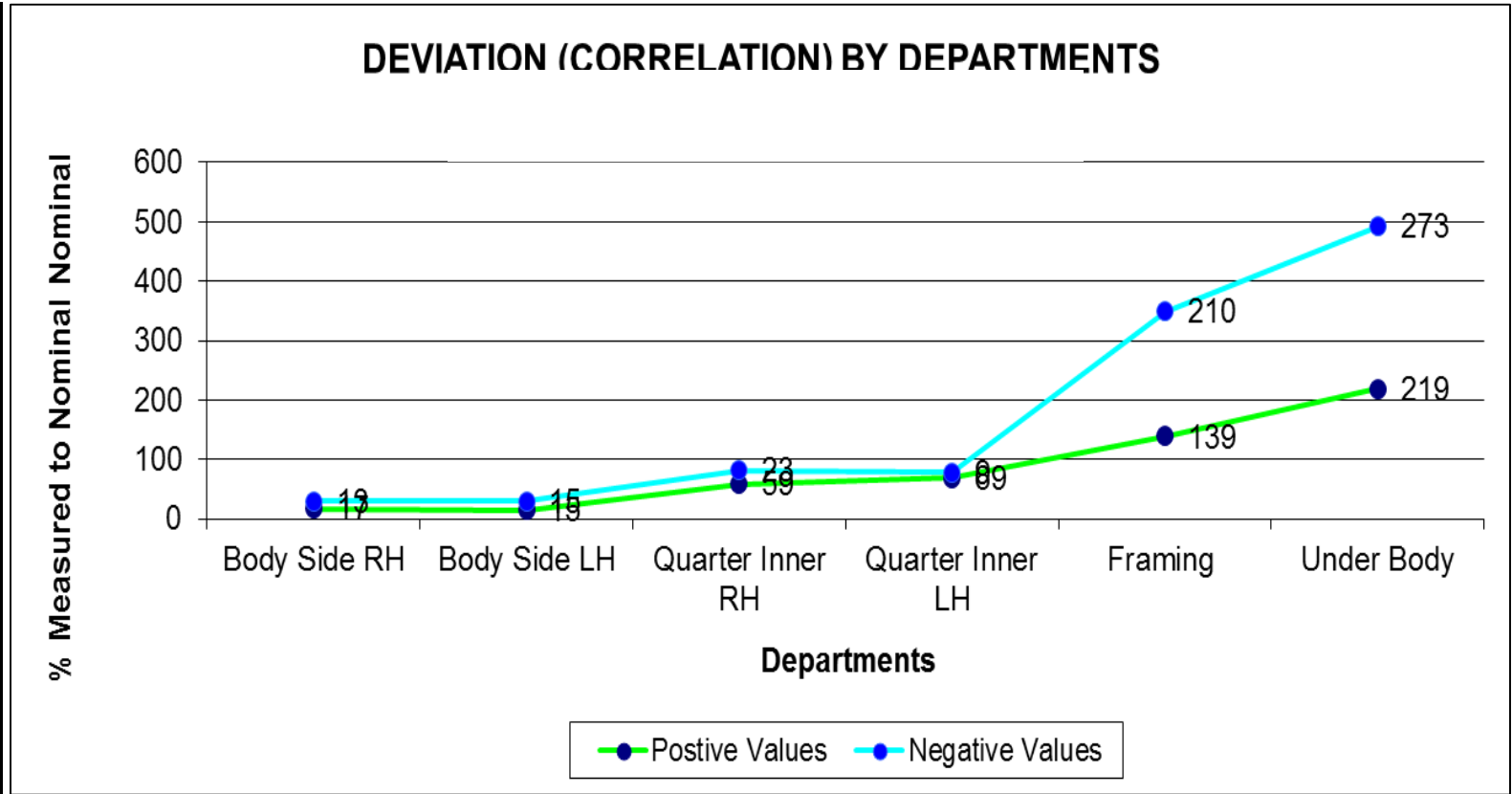
La gráfica de la figura 4.24 muestra la sumatoria de:

- Conteo general por departamento de los puntos en dos rangos diferentes: valores positivos y valores negativos, de los cuales anteriormente se explicó en qué consisten dichos valores.

Estos valores en una primera instancia se toman contando la columna Abs Value, sin embargo ya se encuentra el resultado final en el recuadro Positive Tolerance y Negative Tolerance. A continuación se describe la gráfica.

- **% Measured to Nominal.** Es esta columna se muestra una relación de los valores positivos y negativos por cada departamento, en esta grafica tomada de una correlación, se observa que el departamento de Under Body presenta más puntos negativos (Color azul) que positivos, por lo cual tenemos que prestar atención del porque se está dando esta situación.

Figura 4.24. Correlación de cada departamento.



4.3.4.4 Tabla de total de puntos ALPHA y BETA.

Esta tabla (figura 4.25) muestra un total general de puntos BETA y ALPHA de todos los departamentos inspeccionados. Como podemos notar tenemos un resultado alpha de 100% debido a que no tenemos puntos alpha ni en el recuadro measured undersize de alpha tanto en el recuadro actual undersize de alpha y la formula que se utiliza es como sigue:

$$= 1 - ((\text{Valor Measured Undersize} - \text{Valor Actual Undersize}) / \text{Total Good Welds}).$$

En cambio tenemos los puntos Beta, de los cuales tenemos un valor de 0.00% esto a que su fórmula nos dice Overall Beta = Valor Measured Undersize Beta / Valor Actual Undersize Beta) por lo que en este caso tenemos una operación de $0/3 = 0$. Estos valores se toman de la tabla Averages.

Alpha		Beta
100.00%		0.00%
Nominal Measurements		
Beta		Alpha
Actual Undersize		Measured Undersize
3		0
Measured Undersize		Actual Undersize
0		0
		Total Good Welds
		1103

Figura 4.25. Tabla de total de Puntos ALPHA y BETA.

CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- Los resultados están totalmente orientados a satisfacción de los clientes, tanto internos como externos, sin embargo los beneficios se reflejan directamente en la disminución de defectos de soldadura al detectar oportunamente los departamentos que están presentando detalles en su operación, por lo cual nos ahorra tiempo de inspección y a su vez en menos unidades que se tengan que someter a pruebas destructivas.
- Las exigencias del mercado automotriz, día con día van creciendo a pasos agigantados y es por eso que las especificaciones que hay que cumplir son más estrictas y se debe pensar en la mejora continua de dichas especificaciones para ganar mercado a la competencia. Este trabajo puede ser una gran herramienta didáctica para ingenieros, personal nuevo o personal interesado en la soldadura por puntos de resistencia.
- Se puede decir que dentro de las aplicaciones de la soldadura, este trabajo está orientado a la satisfacción de una buena práctica, en el desarrollo y aplicación de la soldadura, ajustándose a las normas establecidas para asegurar la calidad del producto a realizar. También, como se puede leer en este trabajo existe una gran variedad de procesos donde las aplicaciones en el área automotriz son muy extensas, y por eso debe existir una orientación y comprensión del proceso de soldadura para facilitar su inmediata aplicación en el campo de trabajo.
- Dentro de mi vida laboral he encontrado gran satisfacción y logros profesionales, desarrollando algunos de estos procesos que son muy delicados y exigentes en su aplicación, ya que cualquier variante en la secuencia de soldadura puede ocasionar un gran desperdicio de piezas, debido a que una vez aplicada la soldadura, no hay forma de poder recuperar las piezas soldadas, y por eso requieren de un control preciso, además en algunos procesos son de parte vital y sobretodo de mucha seguridad dentro del área automotriz.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Welding Society. Manual de Soldadura. Tomo 1 (8ª edición).
2. Manual de Soldadura de Omega. Soldaduras Omega s. A de C.V.
3. Norma: ASTM; American Society for Testing Materials. 1976.
4. Ultrasonic Non Destructive Testing – Advanced Concepts and Applications (National Instruments – Tutoria).
5. Inspección de soldaduras empleando el ensayo de ultrasonido en lugar de radiografía. Carlos Enrique Suarez Navas. 10 de marzo de 2011. Rev. 1. Manual técnico.
6. El primer nombre. Inspección de puntos de soldadura con spotchecker. Manual del Ingeniero.
7. Ford welder repair laboratory training manual. Ford Motor Company (Manuals, Book 0)
8. Manual del ingeniero técnico. Edward H. Smith. Tomo III. Editorial Prentice Hall.
9. “Caracterización de defectos en uniones soldadas utilizando el método de ultrasonidos”. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica. Tesis de grado doctoral.
10. Apuntes para el laboratorio de pruebas no destructivas. Upiicsa. México 2002. Pág. 96 – 120.
11. Sánchez-Iriarte. Aplicaciones del ultrasonido en rehabilitación física. Universidad del Valle de México. Foro de análisis y discusión de resultados. Sociedad Queretana de medicina de rehabilitación A.C. México. 2008.