

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POROSIDAD EN JUNTAS
SOLDADAS DE TUBERÍA DE ACERO ASTM A-36 REALIZADOS POR
PROCESO SMAW, MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
ESPECIFICADOS

JUAN DAVID SEGURA TRIANA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DIVISION DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.

2015

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POROSIDAD EN JUNTAS
SOLDADAS DE TUBERÍA DE ACERO ASTM A-36 REALIZADOS POR
PROCESO SMAW, MEDIANTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
ESPECIFICADOS

JUAN DAVID SEGURA TRIANA

PROYECTO TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE PROBLEMA DE
INGENIERÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRE-CTOR

ING. ELVER JOFRE CARVAJAL.

CO- DIRECTOR

ING. GILBERTO QUINTERO.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DIVISION DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.

2015

PAGINÁ DE ACEPTACIÓN

Nota de Aceptación

PAR EVALUADOR No.1

PAR EVALUADOR No. 2

Bogotá DC. 2015.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a todas aquellas personas que han sido parte en mi vida en este proceso académico las cuales no dejaron nunca de creer en llegar a terminar este logro.

Todo esto es gracias a familia, compañeros y docentes.

AGRADECIMIENTOS

Este presente trabajo agradecemos a nuestros padres y familiares porque nos brinda su apoyo moral y económicamente para seguir estudiando y lograr el objetivo trazado para un futuro mejor y ser orgullo para ellos y oda la familia.

Me gustaría gradecer sinceramente a mi director el Ingeniero Elver Carvajal y Co-director Gilberto Quintero por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus orientaciones, su persistencia, paciencia y su motivación han sido fundamentales para la culminación de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	11
2	INTRODUCCIÓN.....	12
3	MARCO TEORICO	14
3.1	PROCESOS DE UNIÓN.....	14
3.2	PROCESOS DE SOLDADURA.....	16
3.3	DETERMINACIÓN DE LOS DEFECTOS EN EL PROCESO DE SOLDADURA.	22
3.4	INDICACIÓN.....	22
3.5	DISCONTINUIDAD.	23
3.6	DEFECTO	23
3.7	SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA.....	24
3.7.1	<i>Ensayos no destructivos.....</i>	<i>25</i>
3.7.2	<i>Ventajas de los ensayos no destructivos.....</i>	<i>25</i>
3.7.3	<i>Limitaciones de los ensayos no destructivos.</i>	<i>26</i>
3.7.4	<i>Etapas básicas de la inspección.</i>	<i>27</i>
3.7.5	<i>Ensayos no destructivos superficiales o lineales.....</i>	<i>28</i>
3.7.6	<i>Ensayos no destructivos volumétricos</i>	<i>29</i>
3.8	ESPECIFICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA DE ACUERDO CON LOS CÓDIGOS IMPLEMENTADOS.....	31
4	METODOLOGIA, EQUIPOS Y MATERIALES.....	33
4.1	ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES	33
4.2	TIPO DE BISEL	34
4.3	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE APORTE.	36
4.4	ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADORA WPS.....	37
4.5	POROSIDAD	41
4.6	VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CREACIÓN DE POROS EN LA JUNTA SOLDADA.....	41
4.6.1	<i>El fundente y la porosidad.....</i>	<i>41</i>
4.6.2	<i>Humedad</i>	<i>41</i>
4.6.3	<i>Velocidad de solidificación</i>	<i>42</i>
4.7	PROCEDIMIENTOS Y DESARROLLO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	42
4.7.1	<i>Ensayos superficiales</i>	<i>42</i>
4.7.2	<i>ENSAYOS VOLUMÉTRICOS.....</i>	<i>60</i>
4.8	PRUEBA DE TENSIÓN	82
4.8.1	<i>Procedimiento</i>	<i>84</i>
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVOS.....	86
6	CONCLUSIONES	89
7	BIBLIOGRAFÍA.....	91

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Equipo para aplicación por arco eléctrico	17
Ilustración 2 Equipo para la aplicación de soldadura por resistencia	18
Ilustración 3 Equipo para la aplicación de soldadura blanca.....	19
Ilustración 4 Equipo para la aplicación de la soldadura fute	20
Ilustración 5 Equipo para el proceso de soldadura en estado sólido.....	21
Ilustración 6 Equipo para la aplicación de soldadura con oxígeno y gas combustible.....	22
Ilustración 7 Visualización de la probeta	35
Ilustración 8 Dimensiones de la probeta.....	36
Ilustración 9 Dimensiones de ensamble de la probeta.....	37
Ilustración 10 WPS utilizado para el desarrollo de la junta soldada.....	40
Ilustración 11 Limpieza de pieza.....	44
Ilustración 12 Limpieza por medio del Cleaner.....	44
Ilustración 13 Aplicación del penetrante	45
Ilustración 14 Tiempo de espera del penetrante	45
Ilustración 15 Remoción del penetrante	46
Ilustración 16 Remoción de penetrante completo.....	47
Ilustración 17 Aplicación de revelador	48
Ilustración 18 Líquidos Penetrantes toma 1	48
Ilustración 19 Líquidos Penetrantes toma 2.....	49
Ilustración 20 Líquidos Penetrantes toma 3.....	49
Ilustración 21 LP toma 4.....	49
Ilustración 22 Líquidos Penetrantes toma 5.....	50
Ilustración 23 Líquidos Penetrantes toma 6.....	50
Ilustración 24 Indicación no relevante.....	51
Ilustración 25 Indicación no relevante.....	51
Ilustración 26 Limpieza por medio de solvente.....	52
Ilustración 27 Limpieza por medio mecánico	53
Ilustración 28 Aplicación de corriente.....	53
Ilustración 29 Retirar el exceso de partículas	54
Ilustración 30 Retirar el exceso de partículas	54
Ilustración 31	55
Ilustración 32 Partículas magnéticas toma 1	55
Ilustración 33 Partículas magnéticas toma 2	56
Ilustración 34 Des-magnetización.....	57
Ilustración 35 Limpieza de la pieza.....	57
Ilustración 36 Contraste.....	58
Ilustración 37 Aplicación de corriente	58
Ilustración 38 Aplicación de partículas.....	59
Ilustración 39	59
Ilustración 40 Partículas magnéticas Húmedas Toma 1.....	59

Ilustración 41 Partículas magnéticas Húmedas 2	60
Ilustración 42 Procedimiento de posicion placas de radiografia	62
Ilustración 43 RT toma 1 Revelado	63
Ilustración 44 RT Toma 2 Revelado	64
Ilustración 45 RT Toma 3 Revelado	64
Ilustración 46 Toma 1 de radiografía suministrada	65
Ilustración 47 Toma 2 de radiografía suministrada	66
Ilustración 48 Alistamiento de calibración	68
Ilustración 49 Determinación del área de barrido.....	69
Ilustración 50 ultrasonido Phased Array Toma.....	71
Ilustración 51 Demostración de la dispersión del Haz ultrasónico.	71
Ilustración 52 Morfología de la discontinuidad en forma de Eco	72
Ilustración 53 Ultrasonido Phased Array Toma 1 A-Scan.....	74
Ilustración 54 Ultrasonido Phased Array toma 1 S-Scan	76
Ilustración 55 Ultrasonido Phased Array toma 2 A-Scan	77
Ilustración 56 Ultrasonido Phased Array toma 2 S-Scan	78
Ilustración 57 Ultrasonido Phased Array toma 3 A-Scan	79
Ilustración 58 Ultrasonido Phased Array toma 3 S-Scan	80
Ilustración 59 UT C-Scan	81
Ilustración 60 Visualización de probeta para ensayos a tensión	82
Ilustración 61 Plano de probeta para ensayo a tensión	83
Ilustración 62 Probeta sin defectos.....	83
Ilustración 63 Probetas con defectos	84
Ilustración 64 Máquina universal de ensayos	84

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Procesos de unión	14
Tabla 2 Tecnología de uniones soldadas a partir de diferentes fuentes de energía.....	15
Tabla 3 Proceso de soldadura por arco.....	16
Tabla 4 procesos de soldadura por resistencia.....	17
Tabla 5 Procesos de soldadura blanca.....	18
Tabla 6 Procesos de soldadura fuerte	19
Tabla 7 Proceso de soldadura en estado solido	20
Tabla 8 Proceso de soldadura con oxígeno y gas combustible.....	21
Tabla 9 discontinuidades que se presentan en los procesos de soldadura.....	24
Tabla 10 Ensayo no destructivo por medio de Tintas penetrantes	28
Tabla 11 Ensayo no destructivo por medio de Partículas magnéticas	29
Tabla 12 Ensayo no destructivo por medio de Radiografía industrial.....	30
Tabla 13 Ensayo no destructivo por medio de Ultrasonido Phase Array	31
Tabla 14 Datos técnicos del material	33
Tabla 15 Propiedades mecánicas.....	34
Tabla 16 Composición química	34
Tabla 17 diseño de bisel	35
Tabla 18 Datos técnicos del material de aporte para la raíz	36
Tabla 19 Datos técnicos del material de aporte de relleno.....	36
Tabla 20 Variable del proceso de soldadura.....	38
Tabla 21 Contenido un proceso de soldadura (WPS)	38
Tabla 22 Materiales de los líquidos penetrantes	43
Tabla 23 Materiales de Partículas magnéticas.....	52
Tabla 24 Materiales del equipo de Radiografía industrial.....	61
Tabla 25 Materiales para ultrasonido	67
Tabla 26 Dimensiones de Bloque de calibración Patrón	69
Tabla 27 Resultados de la gráfica de Esfuerzo-Deformación	85
Tabla 28 Resultados	86
Tabla 29 Resultados comparativos mediante ensayos no destructivos	87

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Contenido de materiales y equipos empleados en los ensayos no destructivos.

Anexo 2: Entrega física de las pruebas hechas por radiografía.

Anexo 3: Artículo investigativo sobre: Caracterización morfológica de porosidad en juntas soldadas de tubería de acero ASTM A-36 realizados por proceso SMAW, mediante ensayos no destructivos especificados.

1 RESUMEN

El presente documento es uno de los resultados del proceso de investigación en torno al reconocimiento y análisis de los defectos dentro de las juntas soldadas por tecnología SMAW, el cual consistió en la fabricación de dos probetas en tubo ASTM A-36 con el fin de unir las por medio de un proceso de soldadura con electrodos revestidos, se induce el defecto de porosidad, y medida por medio de diferentes ensayos no destructivos, tales como: Tintas Penetrantes (PT), Partículas Magnéticas (MT), Inspección Visual (VT), Radiografía industrial (RT) y Ultrasonido Phase Array (UT).

Mediante los ensayos no destructivos ya mencionados, se buscó identificar las características visuales de la discontinuidad de porosidad, que se presentó en la junta, la cual, al inducir porosidad en la unión soldada, se logra determinar el mejor método para la identificación, a través de los ensayos superficiales o volumétricos, especificando factores y variables críticas, que influyen en el proceso de soldadura, contando con el apoyo y soporte técnico de la compañía SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S., de Colombia.

Por último se halló, las propiedades mecánicas mediante el ensayo de tensión, con tres probetas diferentes, las cuales; una se encontró sin defectos y las otras dos se encontraron con defectos internos y externos (Poros), de esta manera se pudo comparar mediante los resultados cuál tiene mayor afectación en la junta soldada.

2 INTRODUCCIÓN

En la Industria Colombiana en general no prevalece el conocimiento acerca de la identificación de los defectos, por medio de los ensayos no destructivos, es decir, hace falta por parte los ingenieros mecánicos identificar por medio de estos ensayos cómo “se ve” morfológicamente ciertas discontinuidades presentes en la junta soldada, para identificar directamente el tipo de discontinuidad con el fin de rechazar o aceptar la unión soldada, claro está, rigiéndose bajo parámetros y requisitos de calidad ya establecidos.

De esta manera se plantea como objetivo la caracterización morfológica de porosidad que se presenta en el proceso de soldadura por medio de electrodo revestido (SMAW “Shield Metal Arc Welding”), mediante ensayos no destructivos tales como (Líquidos Penetrantes PT, Partículas Magnéticas MT, Radiografía industrial RT Ultrasonido Phase Array UT). Y así poder utilizar estas herramientas de inspección con la finalidad de encontrar estos atributos de porosidad, internos y externos de la soldadura.

Para realizar la caracterización se implementó la Tecnología presente en el *Instituto de Soldadura West Arco S.A.S*, con equipos, los cuales tienen mayor sensibilidad y poseen una mayor capacidad para encontrar defectos volumétricos, con los siguientes ensayos para hallar su porosidad:

- Ultrasonido Phase Array (UT)
- Radiografía (RT)

Adicionalmente, se pueden utilizar ensayos no destructivos de tipo superficial y sub-superficial para encontrar defectos lineales, como porosidad con los siguientes ensayos:

- Líquidos penetrantes
- Partículas magnéticas

De esta manera el proyecto de grado tiene como objetivo general Identificar la morfología del defecto de porosidad en juntas soldadas de tubería en acero ASTM A-36, mediante ensayos no destructivos especificados.

Para lo cual se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las variables críticas que influyen en la creación de poros en la junta soldada, realizadas durante el proceso SMAW, de acuerdo a la normatividad existente.
- Fabricar y Realizar las probetas por medio del proceso de Soldadura SMAW, bajo características y especificaciones técnicas establecidas en las normas, teniendo en cuenta las especificaciones del procedimiento de soldadura, así como el reporte de calificación en el procedimiento de fabricación e inspección de la junta soldada.
- Realizar los ensayos no destructivos para la determinación de las discontinuidades y los defectos en la junta soldada, a partir de resultados obtenidos, y así revelar las características de la morfología que identifican la porosidad en la junta soldada.
- Determinar y comparar mediante pruebas de tensión, el efecto de la discontinuidad en la unión soldada, según el defecto inducido de porosidad.
- Elaborar ponencias, conferencias y/o artículos, identificando la importancia que tiene la porosidad en la unión soldada.

En este orden, el alcance del presente trabajo de grado, es inducir el defecto de porosidad por medio del proceso de soldadura de electrodo revestido SMAW, con sus respectivas variables críticas, y así, esta manera poder revelar las características de la morfología, que identifican la porosidad en la junta soldada. Con los métodos de inspecciones, por medio de ensayos no destructivos, también determinar las posibles consecuencias en sus propiedades mecánicas que se presentan en las uniones soldadas, al tener discontinuidades de porosidad interna y externa.

3 MARCO TEORICO

En este capítulo, podremos encontrar los diferentes procesos de unión y fuentes de energía existentes en la actualidad, es por ello que de esta manera se simplifica hasta determinar el proceso por soldadura el cual se implementa en el trabajo de grado realizado.

3.1 PROCESOS DE UNIÓN

En términos generales se entiende por unión o junta, como la fusión de dos o más elementos entre sí, con la finalidad de formar una sola pieza.

Tabla 1 Procesos de unión

Uniones fijas	Uniones desmontables	Uniones adhesivas
Remaches Uniones forzadas Soldadura	Tornillo-tuerca Pasadores Chavetas Lengüetas Ejes nervados Guías	Naturales Inorgánicos Sintéticos

Fuente: Autor

A partir del alcance del trabajo de grado, el tipo de unión seleccionado es mediante el proceso de soldadura. Es apropiado hacer una definición del término “soldadura”. De acuerdo con AWS, una soldadura es: “una coalescencia localizada de metales o no metales producida tanto por calentamiento de los metales a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión solamente, con o sin el uso de material de aporte.” Coalescencia significa “unidos uno a otro entre sí”. Por esa razón la soldadura se refiere a las operaciones usadas para llevar a cabo en esta operación de unión [1].

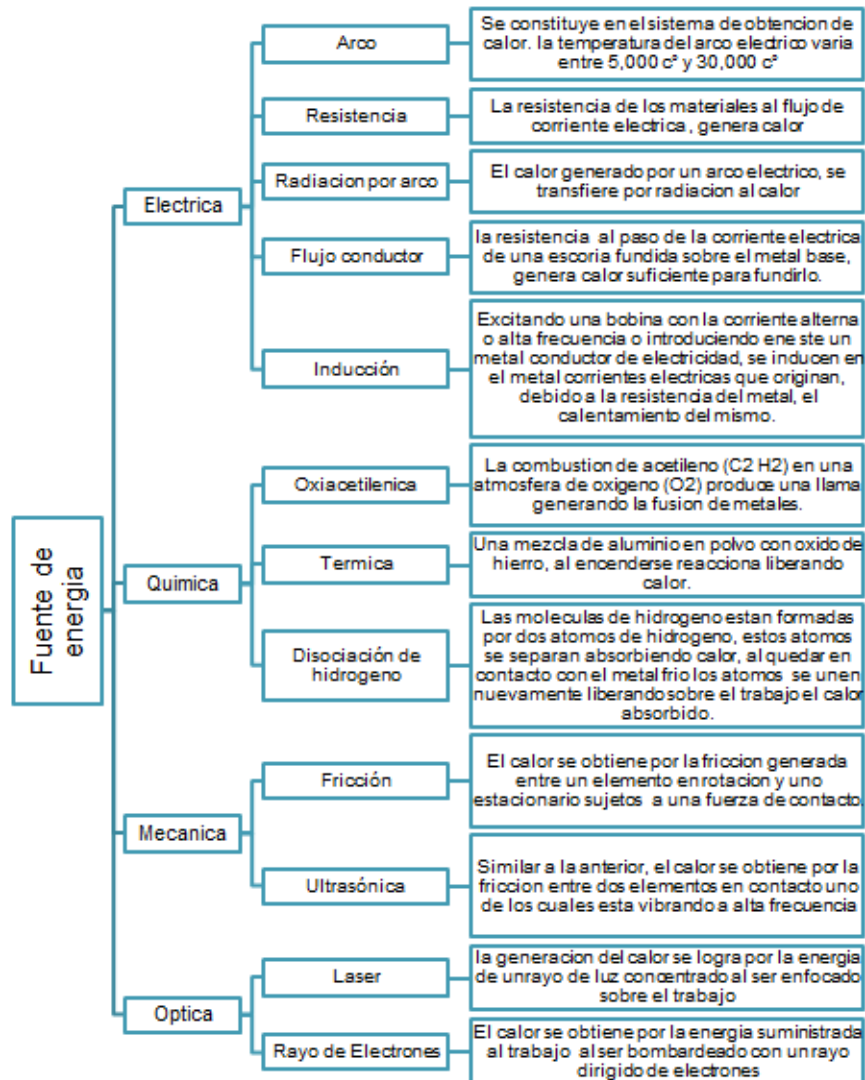
La industria y la ciencia han tratado de usar todas la clases de energía conocidas para unir o soldar los metales. El tipo de energía que se puede clasificar en cuatro grupos como son:

- Eléctrica

- Química
- Óptica
- Mecánica

En la siguiente tabla 2 podemos observar las diferentes clases de energía conocidas con sus respectivas modalidades describiéndose para cada una el sistema de obtención del calor.

Tabla 2 Tecnología de uniones soldadas a partir de diferentes fuentes de energía



Fuente Manual de West Arco

3.2 PROCESOS DE SOLDADURA

El proceso de soldadura mediante la acción de unir los elementos por efecto del calor, con o sin aportación de material nuevo, da continuidad a los elementos unidos. Además la soldadura ha sido tradicionalmente un producto clave para el desarrollo de nuevos bienes de consumo y creación de infraestructura, asimismo el nivel de calidad con el cual se producen los materiales, son establecidos por la American Welding Society (AWS).

Se clasifican en la siguiente tabla:

Tabla 3 Proceso de soldadura por arco

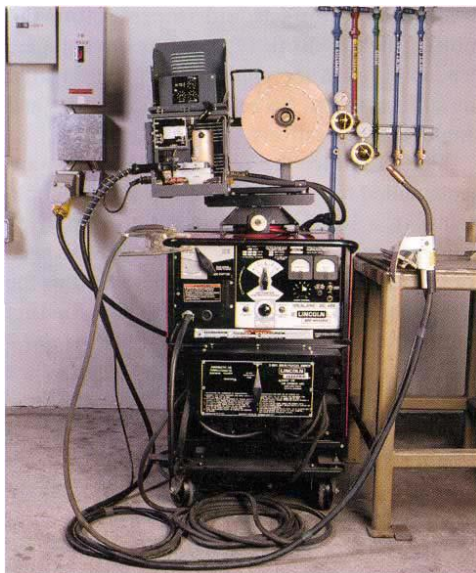
SOLDADURA POR ARCO (AW)	soldadura de pernos por arco SW
	soldadura con hidrógeno atómico AHW
	soldadura por arco con electrodo desnudo BMAW
	soldadura por arco con electrodo de carbón CAW
	soldadura por arco con electrodo de carbón protegido por gas CAW-G
	soldadura por arco con electrodo de carbón protegido CAW-S
	soldadura por arco con electrodo de carbón gemelo CAW-T
	soldadura por electro gas EGW
	soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente FCAW
	soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente protegido por gas FCAW-G
	soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente autoprotegido FCAW-S
	soldadura por arco metálico protegido por gas GMAW
	soldadura por arco metálico protegido por gas pulsado GMAW-P
	soldadura por arco metálico protegido por gas mediante corto circuito GMAW-S
	soldadura por arco de tungsteno protegido por gas GTAW
	soldadura por arco de tungsteno protegido por gas pulsado GTAW-P
	soldadura por arco magnéticamente impulsado MIAW
	soldadura por arco de plasma PAW
	soldadura por arco metálico protegido SMAW
	soldadura por arco sumergido SAW
	soldadura por arco sumergido en serie SAW-S

Fuente Autor

La soldadura eléctrica por arco, es el procedimiento por el que se realiza la unión entre dos partes metálicas, aprovechando el calor desarrollado por el arco eléctrico que se libera entre un electrodo (metal de adjunción) y el material por soldar. La alimentación del arco de soldadura se puede obtener con una máquina generadora de corriente alterna (soldadora) [9].

En la ilustración 1 se evidencia el tipo de equipo a utilizar para este tipo de proceso por arco.

Ilustración 1 Equipo para aplicación por arco eléctrico



Fuente página: <http://www.cebora.it/istr/ist190E.pdf>

Tabla 4 procesos de soldadura por resistencia

SOLDADURA POR RESISTENCIA (RW)	soldadura por centelleo o chispa FW
	soldadura por resistencia controlada a presión RW-PC
	soldadura de costura por resistencia RSEW
	soldadura de costura de alta frecuencia RSEW-HF
	soldadura de costura por inducción RSEW-I
	soldadura de costura de resistencia por aplastamiento RSEW-MS
	soldadura de puntos por resistencia RSW
	soldadura por recalcado UW de alta frecuencia UW-HF
	por inducción UW-I

Fuente Autor

El proceso de soldadura por resistencia, consiste en la fusión de elementos mediante la combinación de calor y presión para obtener la coalescencia, el calor se genera mediante una resistencia eléctrica dirigida hacia el flujo de corriente en la unión que se va a soldar, de esta manera la soldadura por resistencia no tiene necesidad de utilizar gases protectores, fundentes o metales de relleno. Este tipo

de proceso de fusión por que el calor aplicado provoca la fusión de las superficies de empalme [12].

En la ilustración 2 se evidencia el tipo de equipo a utilizar para este tipo de proceso soldadura por resistencia.

Ilustración 2 Equipo para la aplicación de soldadura por resistencia



Fuente: <http://www.amadamiyachieurope.com/espes/tecnolog%C3%ADa/soldadura-por-resistencia/>

Tabla 5 Procesos de soldadura blanca

SOLDERING o SOLDADURA BLANDA (S)	soldadura blanda por inmersión DS
	soldadura blanda en horno FS
	soldadura por inducción IS
	soldadura blanda por rayos infrarrojos IRS
	soldadura blanda con plancha INS
	soldadura blanda por resistencia RS
	soldadura blanda por antorcha TS
	soldadura blanda ultrasónica USS
	soldadura blanda con gas a presión WS

Fuente Autor

El proceso de soldadura blanda (Soldering) es considerado cuando el material de aporte se funde a una temperatura menor a los 450 °c y también el punto de fusión el material base debe estar por debajo también del punto de fusión del metal base [15].

En la ilustración tres se evidencia el tipo de equipo a utilizar para este tipo de proceso soldadura blanda.

Ilustración 3 Equipo para la aplicación de soldadura blanca



Fuente <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn49.html>

Tabla 6 Procesos de soldadura fuerte

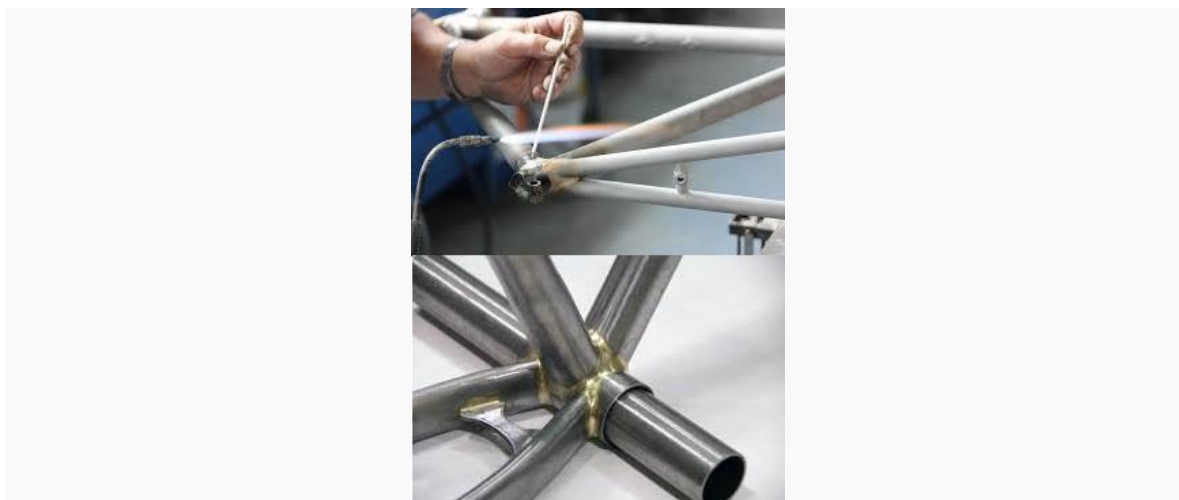
BRAZING o SOLDADURA FUERTE (B)	soldadura fuerte por bloques BB
	soldadura fuerte por difusión DFB
	soldadura fuerte por inmersión DB
	soldadura fuerte exotérmica EXB
	soldadura fuerte en horno FB
	soldadura fuerte por inducción IB
	soldadura fuerte por rayo infra rojo IRB
	soldadura fuerte por resistencia RB
	soldadura fuerte por antorcha TB
	soldadura fuerte por arco con electrodo de carbón gemelo TCAB

Fuente Autor

La soldadura fuerte (brazing) es el proceso de unión de dos piezas mediante calor y un material de aportación que se funde a una temperatura por encima de los 450° C (800 °F) y por debajo del punto de fusión de las piezas a ser soldadas. El material de aportación utilizado en soldadura fuerte varía en función del material de las piezas a unir. Las aleaciones que más se utilizan son de cobre fosforoso, plata, níquel y cobalto, aluminio-silíceo, cobre, cobre-zinc y magnesio [15].

En la ilustración 4 se evidencia el tipo de equipo a utilizar para este tipo de proceso soldadura blanda.

Ilustración 4 Equipo para la aplicación de la soldadura fuente



Fuente 1 <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn49.html>

Tabla 7 Proceso de soldadura en estado solido

SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO (SSW)	soldadura por coextrusión CEW
	soldadura en frío CW
	soldadura por difusión DFW
	soldadura por presión isoestática en caliente HIPW
	soldadura por explosión EXW
	soldadura por forja FOW
	soldadura por fricción FRW
	soldadura por fricción con impulso directo FRW-DD
	soldadura por fricción agitación FSW
	soldadura por fricción inercia PRW-I
	soldadura a presión en caliente HPW
	soldadura por rodillos ROW soldadura ultrasónica USW

Fuente Autor

Los procesos de soldadura en estado sólido usan presión o una combinación de calor y presión. Si se usa calor la temperatura del proceso está por debajo del punto de fusión de los metales que se van a soldar. Generalmente no se utilizan un metal de aporte en estos procesos [26].

En la ilustración 5 se evidencia el tipo de equipo a utilizar para este tipo de proceso soldadura en estado sólido.

Ilustración 5 Equipo para el proceso de soldadura en estado sólido.

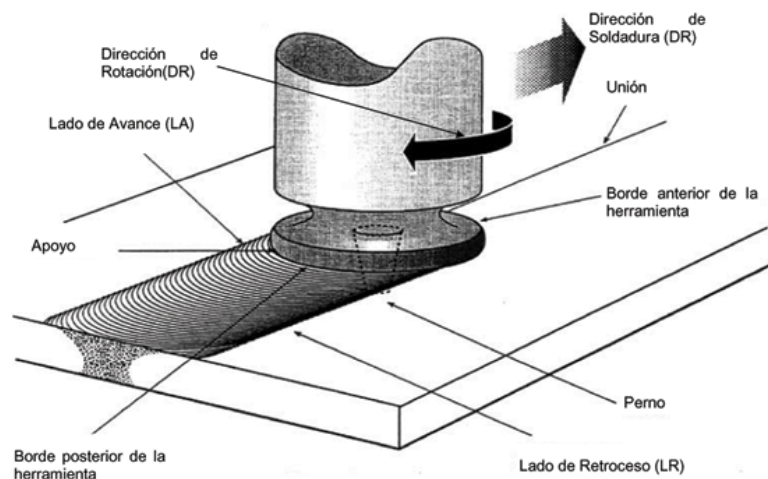


Figura 1: Esquema del proceso de Soldadura por Fricción-Agitación.

Fuente

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S151770762008000200017&script=sci_arttext

Tabla 8 Proceso de soldadura con oxígeno y gas combustible

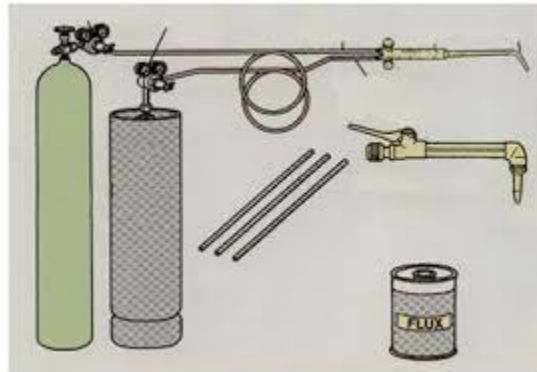
SOLDADURA CON OXÍGENO Y GAS COMBUSTIBLE (OFW)	soldadura por aire acetileno AAW
	soldadura por oxígeno acetileno OAW
	soldadura por oxígeno hidrógeno OHW
	soldadura por gas a presión PGW

Fuente Autor

La soldadura con gas combustible tiene con principio la mezcla con uniformidad con el oxígeno, lo cual se genera cuando se combinan este tipo de mezcla produciendo una flama de alta temperatura. En este proceso se utilizan un gas acetileno, es un gas carburante cuya mezcla alcanza una temperatura aproximada de 3000 °C esta temperatura alcanza a fundir aproximadamente el 98% de los materiales. La alta temperatura producida por la combustión del acetileno con el oxígeno dirigido por un soplete funde la superficie del metal de aporte, para rellenar las separaciones o ranuras a medida que la flama se desplaza a lo largo de la unión [26].

En la ilustración seis se evidencia el tipo de equipo a utilizar para este tipo de proceso soldadura con oxígeno y gas combustible.

Ilustración 6 Equipo para la aplicación de soldadura con oxígeno y gas combustible



Fuente <http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/lvergara/FueryBla.htm>

3.3 DETERMINACIÓN DE LOS DEFECTOS EN EL PROCESO DE SOLDADURA.

Para llegar a tener un criterio adecuado con respecto a las variables e indicaciones que se presentan en un proceso SMAW, hay que tener en cuenta un conocimiento adecuado en defectología y poder lograr diferenciar entre una discontinuidad y defecto. Ya que en las inspecciones de END (Ensayos No Destructivos) toda indicación presente en la soldadura es interpretada por el inspector y es la persona calificada para determinar si es un defecto o no.

3.4 INDICACIÓN.

1. Una indicación falsa la cual es aquella aparece durante la inspección y puede ser provocada por una mala aplicación del método.
2. Una indicación no relevante puede ser producida por la estructura del material o por la configuración de la pieza, o puede ser ocasionada por algunas características del material o efectivamente puede ser aquella que por su ubicación, forma, tamaño o cantidad no afecta el desempeño de la pieza.

3. Una indicación relevante es aquella que por su ubicación, forma, tamaño o cantidad afecta el desempeño de la pieza.

3.5 DISCONTINUIDAD.

Por discontinuidad se puede hablar o interpretar cualquier interrupción presente en la estructura física o configuración de la pieza.

De tal manera las discontinuidades se clasifican en 3 partes:

- Inherentes generadas durante la producción inicial del estado de fundición.
- De proceso causadas por procesos posteriores al estados de fundición, como la forja, extrusión, soldadura, tratamientos térmicos.
- De servicio las cuales surgen debido del producto final por condiciones de carga o ambientales.

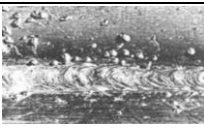
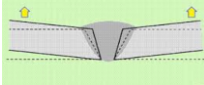
3.6 DEFECTO

Un defecto es una discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones que por su tamaño, forma o localización no cumplen con los criterios de aceptación especificados [1], pero hay que tener en cuenta las siguientes argumentaciones ya que en los ensayos no destructivos son primordiales al cual tiene que tener en cuenta a la hora de un aceptación.

- No todas las indicaciones son discontinuidades.
- No todas las discontinuidades son defectos.
- No todas las discontinuidades producen indicaciones.

De esta manera encontramos en la siguiente tabla las imperfecciones o irregularidades que se presentan en el cordón de soldadura o en las zonas afectadas por el calor. Lo consideramos como defecto cuando su tamaño o localización pueden provocar un fallo de la unión.

Tabla 9 discontinuidades que se presentan en los procesos de soldadura

Discontinuidad	Definición	Causa	Corrección	Visualización
Salpicaduras y chisporroteo	Las salpicaduras como partículas de metal expelidas durante la fusión de la soldadura de manera de no formar parte de la soldadura	Desviaciones del arco	Asegurarse de una buena conexión de la masa a tierra	
		Amperaje demasiado alto	Ajuste del amperaje según la necesidad	
		Arco demasiado largo	Ajuste el arco a la longitud adecuada	
		Electrodo defectuoso	Emplee el electrodo adecuado	
			Emplee polaridad adecuada Seque el metal base	
Soplo magnético del Arco	El soplo magnético se forma debido a fuerzas electromagnéticas, éstas actúan sobre el arco del electrodo, sobretodo cuando este se encuentra en bordes, extremos ó partes	Los campos magnéticos causan desviación del arco fuera de su curso.	Divida la masa en partes	
			Suelde en la misma dirección del soplo del arco	
			Emplee arco corto	
			Coloque debidamente la conexión a la polaridad	
			Emplee electrodos adecuados (CA) Utilice bloques de acero para cambiar el flujo magnético alrededor del arco	
Inclusiones de escoria	La definición de inclusión es un material sólido y extraño, atrapado; como por ejemplo, escoria, fundente, tungsteno u óxido	Arco demasiado corto	Emplee arco mediano	
		Inadecuada manipulación del electrodo	Obtenga un charco amplio de metal fundido	
		Corriente demasiado baja.	Emplee corriente y velocidad recomendadas	
		Deficiente limpieza de cada cordón	Remover todo resto de escoria del cordón antes de aplicar el siguiente	
Mala apariencia	Es cuando la presentación del cordón no es adecuada	Electrodo de mala calidad	Emplear electrodos garantizados	
		Inapropiado uso del electrodo	Emplear técnica recomendada	
		Sobrecalentamiento	Evitar sobrecalentamiento	
		Arco alto; amperaje y voltaje elevados	Emplear altura correcta del arco amperajes y voltajes adecuados los recomendados por el fabricante	
			Emplear movimientos uniformes	
Soldadura porosa	Define porosidad como una tipo de discontinuidad que forma una cavidad provocada por gases que quedan ocluidos durante la soldadura.	Arco corto, excepto con electrodos inoxidables o de bajo hidrógeno	Mantener el arco más largo	
		Tiempo insuficiente de fusión	Suficiente tiempo a la fusión, para que los gases se escapen	
		Demasiado amperaje	Amperaje adecuado	
		Revestimiento húmedo.	Limpiar bien la superficie	
		Material base sucio	Secar el electrodo	
		Avance rápido	Velocidad adecuada al avance	
Penetración y Fusión incompleta	Es una discontinuidad superficial que resulta en una falta de material en la sección	Mucha velocidad de avance	Deje suficiente campo libre en el fondo	
		Electrodo muy grueso	Seleccione el electrodo adecuado	
		Amperaje muy bajo	Use suficiente amperaje para obtener la penetración deseada	
		Penetración defectuosa	Calcule correctamente penetración del electrodo	
			Corregir velocidad de avance Limpiar junta de materias extrañas	
Deformación y Distorsiones	Es generada por la presencia de altas temperaturas en los metales concentradas en solo punto cambiando las dimensiones.	Contracción del metal de soldadura	Suelde rápidamente	
		Sujeción inadecuada de las piezas	Sujete piezas debidamente	
		Preparación defectuosa	Martille los bordes antes de la soldadura	
		Recalentamiento de la junta	Procure que no quede espacio excesivo entre las piezas	
			Haga uso del método adecuado Use electrodos de alta velocidad y penetración moderada	
Grietas	Las fisuras caracterizadas como lineales, como también a las que muestran condiciones de extremo muy filosas.	Embridamiento excesivo.	Reducir el embridamiento	
		Electrodo inadecuado	Precalentar	
		Penetración excesiva respecto a la anchura del cordón	Utilizar un metal de aportación más dúctil. Realizar un martillado	
		Aportación de calor demasiado elevada que causa deformaciones grandes	Revisar la composición del alambre	
		Tensiones residuales elevadas, enfriamiento rápido y grandes deformaciones	Disminuir la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la tensión	
			Reducir la tensión, la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la velocidad de desplazamiento Precalentar para reducir el nivel de las tensiones residuales, utilizar una secuencia de soldeo adecuada	

Fuente Autor

3.7 SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURA.

Los elementos soldados por lo general requieren de un control sobre la manera como se ejecuta en proceso de soldeo. Además se genera un plan de

mantenimiento preventivo el cual sería una observación periódica de estos elementos soldados ya que la presencia de poros, grietas, en general discontinuidades las cuales son consideradas como una situación de fractura o fatiga de material o rompimiento de estas piezas. Por lo cual existen diferentes métodos para su revisión y su prevención por medio de los diferentes ensayos para descubrir las fallas en la soldadura en las zonas afectadas térmicamente.

3.7.1 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos son técnicas aplicadas a la inspección de productos acabados y semi-acabados que permiten obtener información de piezas o partes de una estructura metálica o no metálica sin alterar sus condiciones de utilización o aptitud de servicio, es decir no provocan daños en el material, ni perjudican o interfieren con el uso futuro de las piezas o partes inspeccionadas [5].

3.7.2 Ventajas de los ensayos no destructivos

En los ensayos no destructivos se pueden utilizar diferentes etapas del transcurso productivo, los cuales se pueden aplicar en los siguientes puntos:

- Uno de estos se suele usar en la recepción de las materias primas para verificar propiedades tales como la composición química, propiedades mecánicas y estado de la pieza.
- Otro punto que hay que tener en cuenta es paso a paso de un proceso de fabricación, con la finalidad comprobar que esté libre de defectos el cual se pueden provocar por un mal maquinado, un tratamiento térmico incorrecto o con una soldadura mal aplicada.
- En los productos finalizados se realiza una inspección final para la liberación del producto, lo cual busca garantizar al cliente que el producto cumple con los criterios de aceptación, de esta manera al cliente de la pieza se le garantiza cumplirá de manera satisfactoria la función para la cual fue fabricada.
- Los elementos que se encuentran en servicio, se realiza una inspección o comprobación de sus partes para verificar que aún pueden ser utilizadas de forma productiva, para conocer el tiempo de vida útil, se sugiere programar

adecuadamente las paradas de mantenimiento sin afectar el proceso productivo.

- Los beneficios generados por los ensayos no destructivos y su combinación para realizar un buen análisis detallado el cual pueda contribuir a mejorar la inspección del proceso de fabricación de un elemento, componente o servicio, esto ayuda a optimizar la productividad de la empresa al prever paradas inesperadas por cualquier falla de un mecanismo crítico, también este tipo de procedimientos ayuda a tener una programación en los planes de mantenimiento, lo que reduce el notablemente los tiempo y el costo de la reparación o reproceso.

Adicionalmente y debido a que no se alteran las propiedades del material, no existen desperdicios. Con el empleo de los END solo hay pérdidas cuando se detectan piezas defectuosas. Así mismo este tipo de inspección es muy rentable cuando se inspeccionan partes o componentes críticos, en los procesos de fabricación controlada o en la producción de piezas a gran escala [5].

3.7.3 Limitaciones de los ensayos no destructivos.

Una de las limitaciones en algunos casos puede ser la inversión inicial dado que puede ser muy alta, pero alcanza a ser justificada si se examina de una forma adecuada la relación costo - beneficio, principalmente en lo que se refiere a tiempos muertos en la producción.

Otra limitación es que la propiedad física a controlar es medida de forma indirecta, adicionalmente es evaluada cualitativamente o por comparación. Esta limitante puede ser superada si se preparan patrones de comparación o referencia que permitan una calibración correcta de los sistemas de inspección [5].

Cuando los procedimientos de inspección no existen o se encuentra mal preparados y calificados o cuando patrones de referencia no son los adecuados o la calibración no es adecuada, las discontinuidades que se indican pueden ser mal interpretadas o ponderadas, de forma diferente por dos o más inspectores.

3.7.4 Etapas básicas de la inspección.

Las etapas básicas de la inspección de un material estructural mediante END en lo que respecta a los problemas de defectología, caracterización y metrología, pueden resumirse en:

- *Selección del método y técnicas operatorias idóneas:* para seleccionar adecuadamente el método de inspección es necesario tener en cuenta algunos aspectos los cuales son:
 - El material a inspeccionar (composición química, acabado superficial, geometría, cantidad, peso, proceso de fabricación, condiciones de servicio, acceso).
 - Los equipos disponibles.
 - El entrenamiento del personal.
 - Los costos.
- *Obtención de una indicación propia:* una vez seleccionada y aplicada la técnica se obtendrá una respuesta llamada indicación. De acuerdo con el factor que la origine las indicaciones pueden ser: falsas, no relevantes y relevantes.
- *Interpretación de la indicación:* consiste en hallar la correlación entre la indicación con su forma, naturaleza, ubicación y tamaño. Pueden ser lineales o volumétricas; lineales son aquellas cuya relación longitud ancho es mayor que tres, y volumétricas aquellas cuya relación longitud ancho es menor o igual a tres.
- *Evaluación de la indicación:* es hallar la correlación entre la discontinuidad que genera una indicación relevante y su efecto sobre el comportamiento de la pieza.

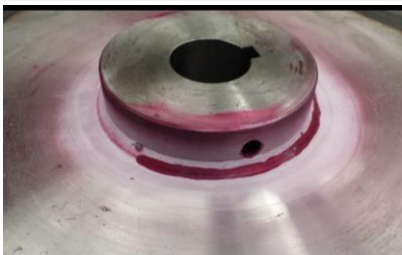
El objetivo primordial de cada procedimiento es examinar si hay discontinuidades, caracterizarlas y posteriormente evaluarlas, cada procedimiento que se haga por ensayos no destructivos se evalúa según el documento aplicable al código, especificación y/o procedimiento. El cual determina los criterios de aceptación o rechazo para cada aplicación específica.

De acuerdo a su finalidad se pueden dividir en aquellos que se utilizan para inspección superficial, volumétrica o de hermeticidad.

3.7.5 Ensayos no destructivos superficiales o lineales

Los ensayos no destructivos superficiales son métodos de control de calidad, el cual sirve para encontrar discontinuidades superficiales o sub-superficiales dependiendo el método a seleccionar, es por ello que en las siguientes tablas se realiza una breve descripción de dos métodos más usados en la industria como lo es líquidos penetrantes (tabla 10), el cual se usa solo para detectar discontinuidades superficiales y partículas magnéticas (tabla 11), el cual se usa para detectar discontinuidades superficiales o sub-superficiales.

Tabla 10 Ensayo no destructivo por medio de Tintas penetrantes

Tintas Penetrantes (PT)	
Es un método utilizado para la detección de discontinuidades superficiales, siempre y cuando éstas se encuentren abiertas a la superficie y el material no sea poroso. La técnica consiste en la aplicación de un líquido penetrante sobre la pieza, el cual penetra en las discontinuidades abiertas a la superficie por principios de capilaridad, después se retira el exceso de penetrante por medio de un líquido removedor y seguidamente se aplica un revelador. El líquido penetrante contenido en la discontinuidad será absorbido por el revelador y se hará visible sobre la superficie de la pieza indicando la presencia de la misma. La habilidad del líquido penetrante de fluir sobre la superficie y entrar en las discontinuidades depende de la limpieza de la superficie, la tensión superficial del líquido, configuración de la cavidad, ángulo de contacto del líquido, habilidad del líquido para mojar la superficie, limpieza de la cavidad y tamaño de la abertura de la cavidad. Las discontinuidades típicas que se pueden encontrar mediante líquidos penetrantes son: discontinuidades superficiales, costuras, grietas, pliegues, porosidad y fugas.	
Ventajas	Desventajas
1. Simple 2. Económico 3. Aplicable a superficies extensas 4. Entrenamiento y certificación relativamente rápida 5. Aplicable a todo tipo de material no poroso 6. Muy portátil y fácil de operar e interpretar 7. Alta sensibilidad	1. Las discontinuidades deben ser abiertas a la superficie. 2. Limitado cuando existe alta rugosidad superficial. Riesgos de daños al ambiente. 3. Limitaciones de salud en espacios confinados. 4. Puede contaminar los materiales inspeccionados. 5. La superficie a inspeccionar requiere remoción de la pintura y buena limpieza. 6. Tiñe o mancha algunos materiales de manera permanente.
Visualización	
	 

Fuente Autor

Tabla 11 Ensayo no destructivo por medio de Partículas magnéticas

Partículas Magnéticas (MT)	
Es un método de ensayos no destructivos que tiene como finalidad encontrar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Su principio se basa en el hecho de cuando la pieza es magnetizada existentes campos de fuga generadas por las discontinuidades que se lleguen a presentar, el cual será detectado por medio de partículas ferromagnéticas, ya que serán atraídas por el campo de fuga y se aglomerarán en el contorno del mismo indicando su localización, tamaño, forma y orientación. Hay dos maneras de realizar este método, por medio de partículas magnéticas de forma seca o de forma húmeda en un vehículo que puede ser agua o aceite. Algunas de las discontinuidades detectables por este método son discontinuidades superficiales dado que rara vez se encuentra sub-superficiales.	
Ventajas	Desventajas
1. El ensayo por partículas magnéticas es muy sensitivo para detectar discontinuidades pequeñas y poco profundas en materiales ferromagnéticos. 2. Las indicaciones pueden ser producidas por grietas suficientemente largas para ser vistas a ojo desnudo, pero grietas excesivamente anchas no producirán una buena definición debido a que la abertura en la superficie es demasiado ancha para acumular allí las partículas. 3. Si una discontinuidad es fina, definida y cerrada a la superficie, tal como una inclusión metálica alargada, se producirá una indicación bastante clara y definida, en cambio si la discontinuidad es profunda la indicación será menos distinguible.	1. Capas de pintura y otro tipo de coberturas, tales como el plateado afectan la sensibilidad del ensayo. 2. El método solo puede ser utilizado en materiales ferromagnéticos. 3. Para mejores resultados, el campo magnético debe estar en una dirección tal que intercepte el plano principal de la discontinuidad, por eso normalmente se requiere magnetizar en diferentes direcciones. 4. La des-magnetización normalmente es necesaria. 5. La pos limpieza es requerida para eliminar los residuos de partículas magnéticas. 6. Algunas veces se necesita aplicar corrientes muy altas para inspeccionar piezas muy grandes. 7. Se debe tener cuidado de no generar calentamientos localizados que puedan afectar a la pieza.
Visualización	
	

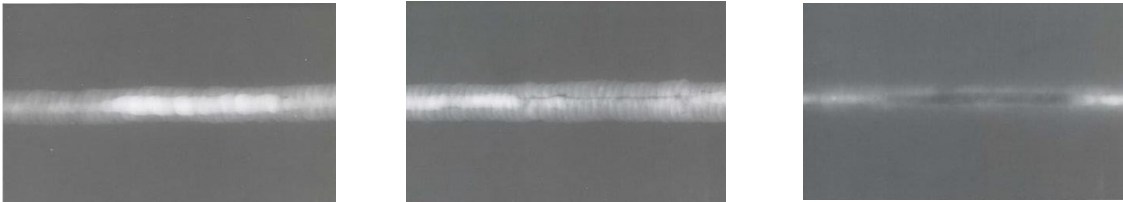
Fuente Autor

3.7.6 Ensayos no destructivos volumétricos

Los ensayos no destructivos volumétricos son métodos de control de calidad, el cual sirve para encontrar discontinuidades superficiales o internas de la zona inspeccionada, es por ello que en las siguientes tablas se realiza una breve descripción de dos métodos más usados en la industria como lo es radiografía industrial (tabla 12), el cual se usa para detectar discontinuidades internas y

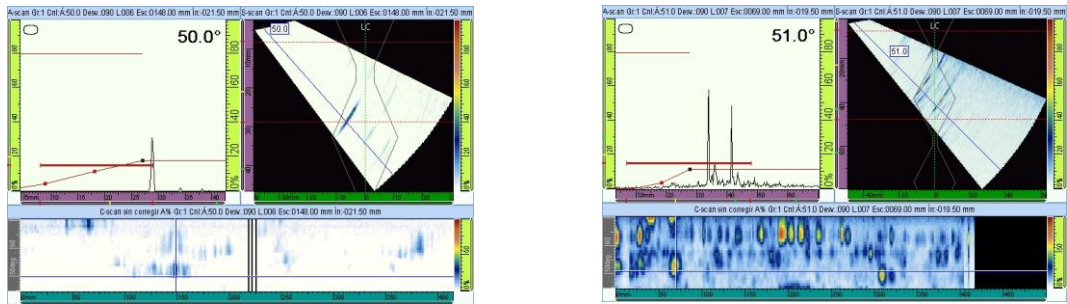
ultrasonido (tabla 13), el cual se usa para detectar discontinuidades por medio de ondas ultrasónicas y proyectadas en diferentes interfaces para su interpretación.

Tabla 12 Ensayo no destructivo por medio de Radiografía industrial

Radiografía industrial (RT)	
Es un método de ensayo no destructivo el cual se basa en las propiedades de los rayos gama o rayos x para detectar propiedades en una región de un especificado material el cual se compara con una región cercana y se basa en la absorción, una gran cantidad de energía radiante el cual depende de la densidad, la estructura y la composición del material. En una misma pieza se pueden absorber diferentes cantidades de radiación las cuales penetran. Esa absorción de radiación alcanzará a ser revelada por medio de una película y revelará la presencia de una discontinuidad. Este ensayo se utiliza para detectar: inclusiones, falta de fusión, grietas, corrosión, porosidad y pérdida de material.	
Ventajas	Desventajas
1. Mayor rapidez en el procesado. 2. Economía que dependerá del volumen de películas. 3. Uniformidad del revelado en las películas. 4. Limpieza en las películas. 5. Limpieza en la zona de trabajo. 6. Ahorro de espacio.	1. Fallas en el sistema de control de la temperatura de los reactivos. 2. Atoramientos de las películas en los rodillos. 3. Falla en la bomba que alimenta revelador nuevo al sistema. 4. Adhesión de las películas a los rodillos del secador. 5. Mala operación de la bomba que alimenta el fijador al sistema. 6. Marcas de presión en las películas por desajustes de los rodillos. 7. Requiere de energía eléctrica para su operación.
Visualización	
	

Fuente Autor

Tabla 13 Ensayo no destructivo por medio de Ultrasonido Phase Array

Ultrasonido Phase Array (UT)	
Es un método en el cual grupos de ondas de alta frecuencia introducidas en el material inspeccionado son utilizados para detectar defectos internos y en algunas oportunidades superficiales. Las ondas atraviesan el material con cierta atenuación y son reflejadas en las interfaces, este haz reflejado es detectado y analizado definiendo la presencia y localización de las discontinuidades.	
Ventajas	Desventajas
1. Alta sensibilidad de detección. 2. La inspección volumétrica del material en una gran variedad de espesores. 3. Rapidez de la inspección y el resultado inmediato. 4. No es perjudicial para el operario y el personal circundante 5. Uso de equipos manuales y de poco peso. 6. Tiene múltiples opciones al realizar estos tipos de exámenes tales como detección de discontinuidades y medición de espesores.	1. Existen diferentes limitaciones en el uso por: 1.1. Tipo de estructura interna. 1.2. Las condiciones de la superficie. 1.3. La geometría 1.4. Naturaleza de material. 2. La formación de la persona tiene que tener un mayor entrenamiento a diferencia de otros ensayos. 3. Alto costo de los equipos. 4. Se requiere de un tipo de patrón específico para la calibración. 5. No se puede realizar la inspección cuando la geometría de la pieza es compleja.
Visualización	
	

Fuente Autor

3.8 ESPECIFICACIONES DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA DE ACUERDO CON LOS CÓDIGOS IMPLEMENTADOS.

Los códigos de soldadura son normas recomendadas de desarrollo tecnológico en la materia, ya que por estas se garantiza la confiabilidad en un producto terminado con óptima calidad, debido a las exigencias para la obtención de soldaduras, regido bajo diferentes especificaciones técnicas.

Los códigos y las especificaciones son la documentación básica que rige y guía la práctica de la soldadura, esto genera los siguientes documentos:

- Fabricación productos soldados con optimas especificaciones de calidad.
- Suministran datos reales y razonables en pro de vida y propiedad.

Las normas incluyen:

- Códigos.
- Especificaciones.
- Recomendaciones prácticas.
- Clasificaciones.
- Métodos.
- Guías.

Estos documentos tienen mucha semejanza entre sí y los términos usados frecuentemente son intercambiados, pero hay que tener en cuenta y mucho cuidado con algunos términos de las normas ya mencionados anteriormente.

Los códigos difieren de las especificaciones y estos se usan generalmente aplicados a un proceso de fabricación, las especificaciones están asociadas generalmente con un producto. Ambos van a ser mandatorios cuando las especificaciones dan una o más reglas o cuando estas están relacionadas con otros documentos de los procedimientos [4].

Hay que tener en cuenta el uso de estos documentos dado que puede cubrir detalles del producto sin considerar condiciones especiales bajo las cuales este va a ser empleado, como ejemplos pueden ser atmosféricos, corrosivos, temperaturas elevadas y cambios de carga dinámica y estáticas.

Las normas varían en el método de alcanzar su objetivo, algunos tienen requerimientos específicos que no permiten otras acciones alternas pero hay otros que permiten acciones o procedimientos alternativos si su resultado no satisface lo especificado.

Dado que todos los procedimientos de soldadura están regidos bajo normas, los cuales están especializados para diferentes circunstancias, como son:

API (American Petroleum Institute): el instituto América de petróleo, publica documentos en todas las áreas relacionadas con la producción, distribución y

almacenamiento de petróleo. Estos documentos incluyen los requerimientos de soldadura a tener en cuenta para tubería y equipo de refinería [24].

AWS (American Welding Society): Este código nos permite establecer requerimientos de soldadura en elementos estructurales [19].

ASME (American Society of Mechanical engineers) este código nos permite establecer las presiones máximas de diseño en consideración con los materiales, los métodos de fabricación y construcción, de inspección y aseguramiento [22].

4 METODOLOGIA, EQUIPOS Y MATERIALES.

La metodología la cual conllevara este trabajo de grado estará desarrollada por medio de un procedimiento para la generación de porosidad en una probeta de tubería ASTM A-36 bajo el proceso de soldeo SMAW.

De acuerdo con el procedimiento utilizado (WPS) para la especificación del desarrollo en cuanto al proceso de soldadura establecido.

4.1 ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES

Tabla 14 Datos técnicos del material

<i>DATOS TECNICOS DEL MATERIAL</i>				
<i>Diámetro Nominal</i>	<i>Schedule</i>	<i>Material</i>	<i>Longitud Total</i>	<i>Cantidad</i>
Ø 10 in	Nº 80	ASTM A-36	L = 150 mm	2 UND

Fuente Autor

Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36.

Propiedades de un material, como la resistencia, que describe que tanto resiste la fuerza aplicada, incluyendo fuerzas de tensión o de compresión, de impacto y de fatiga.

Tabla 15 Propiedades mecánicas

Acero	Límite de fluencia mínimo (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)
ASTM A36	250	400-550

Fuente http://www.tubacero.es/resources/upload/link/tubacero_catalogo_general.pdf

Composición química del acero ASTM A-36

La composición química se refiere a qué sustancias están presentes en los aceros y en qué cantidades.

Tabla 16 Composición química

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars ^B			
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when cop per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].

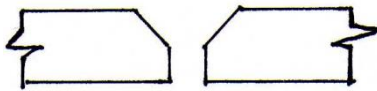
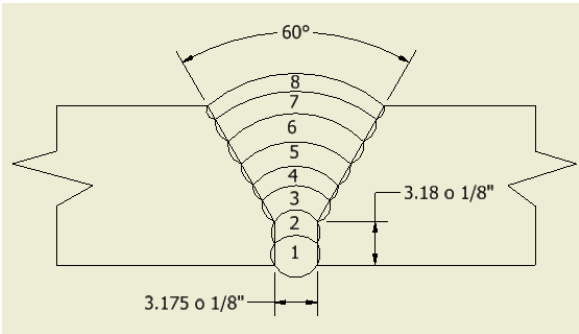
^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

Fuente <http://www.asiamerican.com/es/products/Tuberia-de-Linea-en-Acero-al-Carbono-24.html>

4.2 TIPO DE BISEL

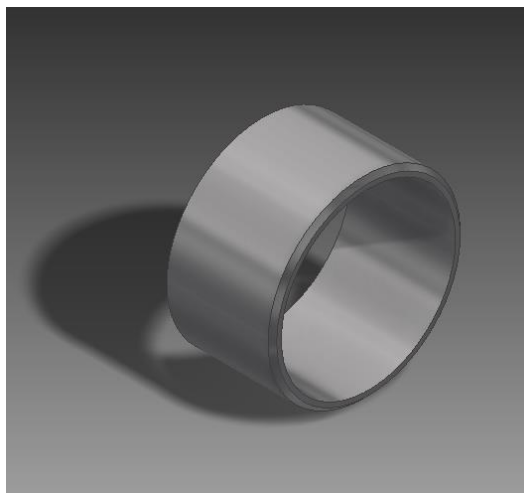
El diseño de la junta identifica la forma, las dimensiones y la configuración de la junta

Tabla 17 diseño de bisel

Selección de Bisel		
Tipo de bisel	Tipo de ranura	Visualización
Sencillo	En V	
Dimensiones		
		

Fuente Autor

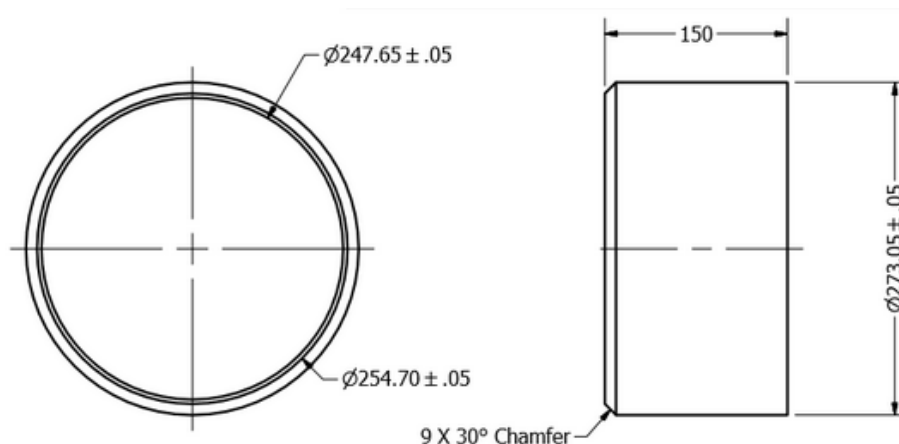
Ilustración 7 Visualización de la probeta



Fuente Autor

Plano el cual se usó para la fabricación de la probeta.

Ilustración 8 Dimensiones de la probeta



Fuente Autor

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE APORTE.

El material de aporte empleado en la probeta fue suministrado por la compañía West Arco, la cual cumple con las siguientes características:

ELECTRODO WEST ARCO E6010

Tabla 18 Datos técnicos del material de aporte para la raíz

<i>DATOS TECNICOS DEL MATERIAL DE APORTE</i>			
<i>Identificación</i>	<i>clasificación</i>	<i>Especificación</i>	<i>Diámetro</i>
WEST ARCO ZIP 10T AWS E 6010	AWS E 6010	AWS A5.1,NTC 2191, ASME SFA 5.1	Ø 1/8 in

Fuente Autor

ELECTRODO WEST ARCO E7018

Tabla 19 Datos técnicos del material de aporte de relleno

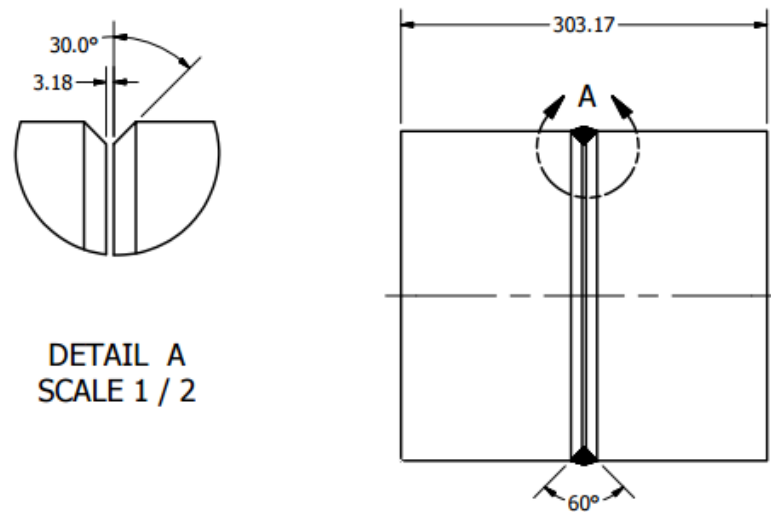
<i>DATOS TECNICOS DEL MATERIAL DE APORTE</i>			
<i>Identificación</i>	<i>clasificación</i>	<i>Especificación</i>	<i>Diámetro</i>
WEST ARCO E7018S	AWS E 7018	AWS A5.1,NTC 2191, ASME SFA 5.1	Ø 1/8 in

Fuente Autor

Con los parámetros ya mencionados anteriormente se genera el WPS el cual se implementa para generación de porosidad en la probeta. En colaboración de la empresa de WEST ARCO ya que la encargada de suministrar los insumos y la mano de obra.

PLANO DE ENSAMBLE.

Ilustración 9 Dimensiones de ensamble de la probeta



Fuente Autor

4.4 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADORA WPS.

Un WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de ingeniería, para dar instrucciones al personal que realiza e inspecciona las soldaduras de producción.

Por ser el WPS un documento de ingeniería es de obligación y cumplimiento, en todos sus ítems, por los diferentes departamentos de la empresa involucrados en la soldadura.

Tabla 20 Variable del proceso de soldadura

CONTENIDO DE UN WPS		
VARIABLES ESENCIALES	VARIABLES ESENCIALES SUPLEMENTARIAS	VARIABLE NO ESENCIALES
Las variables esenciales de un procedimiento de soldadura son aquellas en las que un cambio con respecto a lo mencionado específicamente en el código afecta las propiedades mecánicas de la soldadura	Las variables esenciales suplementarias de un procedimiento de soldadura son las que al cambiar afectan las propiedades de tenacidad de los materiales a bajas temperaturas, esta especificación es afectada el código hace referencia a una prueba de impacto en los materiales	Las variables no esenciales de un procedimiento de soldadura son las que al cambiarse no ocasionen efectos considerables en la soldadura

Fuente Autor

Tabla 21 Contenido un proceso de soldadura (WPS)

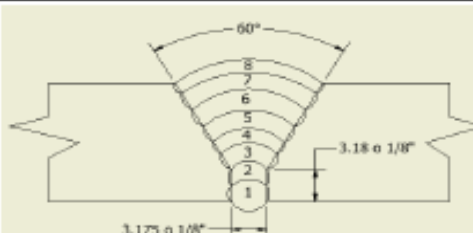
VARIABLES EL CUAL TIENE QUE TENER UN WPS	PROCESO DE SOLDADURA	Es la indicación del proceso o procesos de soldadura utilizados
	DISEÑO DE LA JUNTA	Indica que tipo de junta se utilizará en este proceso, (ranura en U, en V, bisel simple, o bisel doble), además de aclarar si en el proceso que se propone, es necesario un respaldo.
	METAL BASE	Este debe estar establecido dando su composición química o refiriendo a sus especificaciones dado que si requiere un tipo de tratamiento posterior después de su aplicación en soldadura, ya que también se deberá identificar la condición del metal base.
	METAL DE APOORTE	Este debe estar establecido dando su composición química o refiriendo a sus especificaciones dado que si requiere un tipo de tratamiento posterior después de su aplicación en soldadura, ya que también se deberá identificar la condición del metal base
	METAL DE APOORTE	Se debe especificar el metal de aporte dando su clasificación o composición química y diámetro
	POSICIONES DE SOLDADURA	Deberá especificarse el tipo de posición la cual va ser realizada la aplicación de la soldadura
	PRECALENTAMIENTO Y TEMPERATURA ENTRE PASES	Esta especificación genera un valor significativo para la generación de uniones de soldadura sanas (sin ninguna discontinuidad) o influyan en las propiedades de estas, en procedimientos de soldadura se tiene en cuenta este tipo de variable para evitar la degradación del material base en la zona afectada por el calor.
	TRATAMIENTO DE POSCALENTAMIENTO	Esta especificación se da cuando la unión soldada se requiere desarrollar propiedades requeridas
	CARACTERISTICAS ELECTRICAS	Siempre que la soldadura implique el uso de corriente eléctrica, se debe especificar el tipo de corriente, algunos electrodos revestidos para la soldadura por arco sumergido operan con corriente C.D o C.A, si se especifica C.D, se debe indicar la polaridad apropiada, además el rango de corriente para cada tamaño de electrodo.
	TECNICA	El rango de velocidad de avance es obligatorio para los procesos de soldeo ya que el metal base puede ser afectada por el exceso calor de entrada, de tal manera se busca una forma de hallar un límite permisible de velocidad de avance o ancho del cordón
	MARTILLEO	Sin excepción el uso del martilleo no debe ser permitido. De cualquier modo, este es usado algunas veces para para evitar el agrietamiento o corregir una distorsión del metal base soldado
	CALOR DE ENTRADA	El calor de entrada durante la soldadura es generalmente de gran importancia cuando se suele soldar aceros con tratamiento y aleaciones ferrosas y no ferrosas sensibles al agrietamiento, siempre que el calor de pueda influir en las propiedades finales de la junta soldada

Fuente Autor

La especificación detallada de los materiales, posiciones, temperatura y tiempos a seguir se encuentran en el documento WPS, la cual es la guía, con la que el soldador se regirá, durante el proceso de soldeo con proyección, a realizar un trabajo de calidad, que permita a la pieza soldada adelantar ensayos mecánicos en el laboratorio.

Estos ensayos determinan y avalan las propiedades mecánicas como la resistencia en la unión soldada, para el funcionamiento adecuado y permanente del mismo.

Ilustración 10 WPS utilizado para el desarrollo de la junta soldada

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA									
WPS		Especificaciones del Proceso de Soldadura.							
Nombre de la Empresa: <u>USTA</u>				Identificación No: <u>0-0001</u>					
Proceso de Soldadura: <u>SMAW</u>				Revisado por: <u>Ing. Gilberto Quintero</u>					
TIPO DE PROCESO: <u>MANUAL</u>				FECHA: <u>octubre de 2013</u>					
Soldador: <u>Jhon</u>				Autorizado por: <u>Ing. Gilberto Quintero</u>					
FIRMA: _____				FIRMA: _____					
DISEÑO DE UNIÓN					Geometría de Junta				
Estandar según: <u>API 1104</u> Tipo de Unión: <u>A Tope</u> Tipo de Soldadura: <u>Ranura en V (Simple)</u> Alto de Raíz: <u>1/8"</u> Abertura de Raíz: <u>1/8"</u> Ángulo de Ranura: <u>60°</u> Espesor de Tubería: <u>10 mm</u> Soporte: <u>NO</u> Material de Soporte: <u>NO</u> Limpieza en la Raíz: <u>SI</u> Método: _____									
POSICIÓN					TÉCNICA				
Ranura: <u>5G</u> Filete: <u>---</u>					Aportación: <u>Oscilante (Pase Múltiple)</u>				
Placa: <u>---</u> Tubería: <u>SI</u>					Corriente: <u>DC (DCEP)</u>				
					Limpieza entre Pases: <u>SI</u>				
METALES BASE					Método de Limpieza: Grata mecánica				
Metal Base No.1 Grupo: <u>I</u> Especificación del Acero: <u>ASTM A36</u> Grado: <u>B</u> Espesor de Tubería: <u>10 mm</u> Diámetro (Tubería): <u>8"</u>					Metal Base No.2 Grupo: <u>I</u> Especificación del Acero: <u>ASTM A36</u> Grado: <u>B</u> Espesor de Tubería: <u>10 mm</u> Diámetro (Tubería): <u>8"</u>				
					PRECALENTAMIENTO				
					T° de Pre calentamiento: <u>No aplica</u>				
					T° de Interfase: <u>No aplica</u>				
					POST- CALENTAMIENTO				
					Temperatura: <u>No Aplica</u>				
					Tiempo: <u>No Aplica</u>				
METAL DE APORTE					PROTECCIÓN				
Especificación AWS: <u>A 5.1</u>					Fundente: <u>Revestimiento</u>				
Calificación AWS: <u>E 6011 Y E7018</u>					Gas: <u>No Aplica</u>				
Marca: <u>West Arco</u>					Velocidad de Flujo: <u>No Aplica</u>				
Diámetro del Electrodo: <u>1/8"(3.2 mm)</u>					Tamaño de Boquilla: <u>No Aplica</u>				
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
Pase	Proceso	Progresión	Metales de Aporte		Corriente			Velocidad de Avance (mm/min)	Detalles y Secuencia De la junta
			Clase	Diámetro (in)	Tipo y Polari	Amperaje (A)	Voltaje (V)		
1	SMAW	Ascenden.	E 6010	1/8	DCEP	110	17	100	
2	SMAW	Descenden	E 6010	1/8	DCEP	110	17	100	
3	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
4	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
5	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
6	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
7	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
8	SMAW	Ascenden.	E 7018	1/8	DCEP	135	19	80	
ELABORADO POR: <u>Juan David Segura Triana</u>									

Fuente Autor

De acuerdo al proceso de soldadura ya establecido, procedemos a soldar la pieza induciendo el defecto el cual queremos estudiar por medio de los ensayos no destructivos.

4.5 POROSIDAD

Depósito de soldadura que se encuentra alojado en la parte interna y/o externa del depósito de la soldadura cuya presentación se generan por burbujas de gas o cavidades libres de cualquier sólido, lo que se conoce con el término de “porosidad”, la indicación anterior se puede encontrar uniformemente dispersa, agrupada, vermicular o tipo gusano y alineada.

4.6 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CREACIÓN DE POROS EN LA JUNTA SOLDADA

4.6.1 El fundente y la porosidad

A veces el metal fundido se cubre con fundente y burbujas que emergen del charco atrapados bajo esa capa, cuando se desprende la soldadura da la apariencia de un panal de abejas. En la mayoría de casos el fundente contribuye a prevenir la porosidad al mantener el charco en estado líquido con lo que hay mayor tiempo para que las burbujas escapen. El fundente también reacciona químicamente con ciertas sustancias del charco y evita de esta manera la producción de otras reacciones que puedan ser el origen de la porosidad.

4.6.2 Humedad

La humedad es una variable importante, la cual, un electrodo revestido se puede transformar en vapor dejándolo atrapado debajo de la capa de fundente y puede provocar que el fundente explote o rompa generando geometrías redondeadas.

Ciertos materiales calientes tienen tal afinidad por el hidrogeno que incluso llegan a desprenderlo de la molécula de agua, el hidrogeno se disuelve dentro del material donde permanece un tiempo, la presencia de este gas puede generar este tipo de indicaciones redondeadas. El oxígeno que permanece en la molécula de agua reacciona con el metal y material del charco lo cual genera la formación de óxidos metálicos en forma de escoria o inclusiones de óxido.

4.6.3 Velocidad de solidificación

La mayor parte de la veces la porosidad asciende a la superficie del charco como lo hacen las burbujas en un refresco y llega a emerger totalmente en caso de que el metal se mantenga en estado fluido durante el tiempo necesario, si las burbujas del charco solidificado quedan atrapadas de esta manera es qué se procede a que los charcos dejen enfriar de cierto modo de maneras controladas, evitando así la menor indicación de porosidad.

4.7 PROCEDIMIENTOS Y DESARROLLO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En los siguientes ítems, se describirá el procedimiento de cada ensayo no destructivo que se realizó en el trabajo de grado, para determinar el comportamiento que tiene el defecto de porosidad en cada uno de estos ensayos no destructivos.

4.7.1 Ensayos superficiales

4.7.1.1 Líquidos penetrantes

- Objetivo

Este procedimiento tiene como objetivo, la detección y análisis de defectos superficiales (Porosidad) en las soldaduras de accesorios y tubería que se pueden presentar como resultado del proceso de soldadura y para materiales de aceros al carbono.

- Materiales a emplear

Tabla 22 Materiales de los líquidos penetrantes

MATERIALES DE LOS LIQUIDOS PENETRANTES			
Limpiador	Penetrante	Revelador	Elementos de limpieza
			

Fuente Autor

Metodología.

- Preparación de la superficie.

Esta debe estar libre de impurezas, tales como: aceites, grasas, óxidos o materiales extraños que enmascaren alguna indicación, o interfieran en la calificación e interpretación de cualquier tipo de defecto. Para este fin el contratista constructor deberá limpiar la superficie de la soldadura y el metal base afectado por el calor a lado y lado de la soldadura (Aproximadamente 1 ½ pulgadas) con grata eléctrica.

Ilustración 11 Limpieza de pieza



Fuente Autor

- Aplicación del limpiador o cleaner

Este es un disolvente volátil que se aplicará a la superficie para remover óxidos, residuos de materiales extraños tales como grasas, aceites, entre otros, dejando el material con un grado de limpieza adecuado para la inspección.

Ilustración 12 Limpieza por medio del Cleaner



Fuente Autor

- Aplicación del líquido penetrante

Después de realizada la limpieza del área de inspección, se aplicará una película de tinta roja o penetrante a una distancia de 25 a 30 cm del objeto o material de inspección, con dirección horizontal uniforme. De ésta manera se observará el cubrimiento total del área de interés.

Ilustración 13 Aplicación del penetrante



Fuente Autor

El tiempo de penetración oscilará entre 10 y 15 minutos.

Ilustración 14 Tiempo de espera del penetrante



Fuente Autor

Para su aplicación se tendrá en cuenta que la temperatura del material no sea mayor de 50 grados centígrados o la que especifique el fabricante del penetrante.

- Remoción del exceso de penetrante

Una vez terminado el tiempo de penetración de la tinta roja, se removerá la tinta sobrante con trapo o estopa hasta observar el material con apariencia de grado gris; de tal manera que quede solamente la tinta que penetró dentro de las posibles discontinuidades.

Ilustración 15 Remoción del penetrante



Fuente Autor

Una vez concluido el tiempo de penetración, el exceso de penetrante debe removerse de las superficies utilizando el limpiador; un trapo libre de hilachas debe humedecerse sin saturarlo con el solvente removedor apropiado. Una vez removido el exceso de penetrante de la superficie, esta deberá secarse antes de la aplicación del revelador. El tiempo mínimo de secado es de tres a cinco minutos.

Ilustración 16 Remoción de penetrante completo



Fuente Autor

- Aplicación del developer o revelador

Terminada la remoción de la tinta roja sobrante, se aplicará una película fina de polvo blanco o Developer, siguiendo el procedimiento de aplicación del penetrante. Se dejará un tiempo de duración de 5 minutos y luego se efectuará la evaluación del área inspeccionada. El revelador al igual que la tinta penetrante debe aplicarse por rocío a presión tan pronto como sea posible sin sobrepasar un tiempo mayor a 10 min. La superficie podrá examinarse en los siguientes siete a treinta minutos a la aplicación del revelador.

Ilustración 17 Aplicación de revelador



Fuente Autor

- Criterios a evaluar

Las discontinuidades ocurridas son mostradas por el sangrado de la tinta penetrante en el lugar, sin embargo marcas de maquinados en la superficie pueden presentar indicaciones similares. Cualquier indicación es evidencia de una imperfección mecánica por lo cual se evalúa si es considerada relevante o no.

Ilustración 18 Líquidos Penetrantes toma 1



Fuente Autor

Poros superficiales distribuidos uniformemente (LP toma 2)

Ilustración 19 Líquidos Penetrantes toma 2



Fuente Autor

Poros superficiales alargados (Líquidos Penetrantes toma 3)

Ilustración 20 Líquidos Penetrantes toma 3



Fuente Autor

Poros superficiales alineados (Líquidos Penetrantes toma 4)

Ilustración 21 LP toma 4



Fuente Autor

Poros superficiales agrupados (Líquidos Penetrantes toma 5)

Ilustración 22 Líquidos Penetrantes toma 5



Fuente Autor

Poros superficial aislado (Líquidos Penetrantes toma 6)

Ilustración 23 Líquidos Penetrantes toma 6



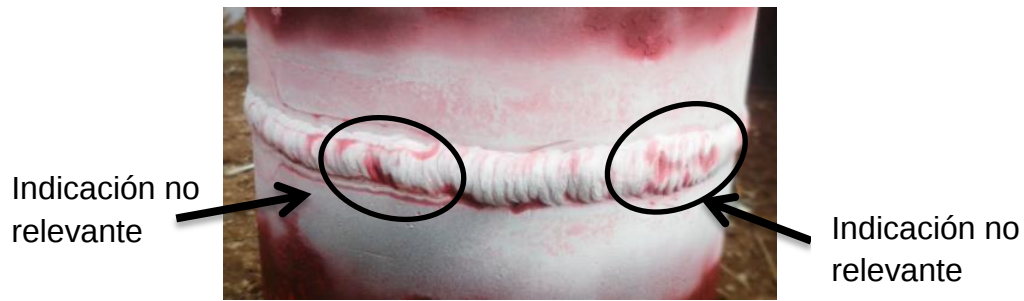
Fuente Autor

El comportamiento de los líquidos penetrantes con respecto a la identificación de la discontinuidad de la porosidad es un patrón similar y/o semejante, de geometría simple el cual es de forma circular, por efecto del sangrado.

- Indicaciones no relevantes

Estas indicaciones no relevantes presentadas en las siguientes imágenes se generan por falta de limpieza inicialmente como lo es la ilustración 24 y la ilustración 25 presenta indicación lo cual pueden generar confusión, pero es generada por la geometría de pieza.

Ilustración 24 Indicación no relevante



Fuente Autor

Ilustración 25 Indicación no relevante



Fuente Autor

- Limpieza posterior al ensayo.

4.7.1.2 Partículas magnéticas

- Objetivo

Mediante el ensayo no destructivo de partículas magnéticas secas y partículas magnéticas húmedas visibles, detectar posibles defectos (poros) superficiales y sub-superficiales en el cordón de soldadura de la probeta

- Materiales a emplear

Tabla 23 Materiales de Partículas magnéticas

<i>Materiales para el uso de partículas magnéticas</i>					
Laca de color blanco	Partículas húmedas color negro	Yugo	Partículas secas de color rojo	Bulbo	Elementos de limpieza
					

Fuente Autor

Metodología.

- Limpieza.

Consiste en la remoción de los contaminantes del área a ser ensayada en este caso el cordón de soldadura de la probeta, los métodos de limpieza puede de tipo químico, mecánico, utilizando solventes o una combinación de ellos.

Ilustración 26 Limpieza por medio de solvente



Fuente Autor

Ilustración 27 Limpieza por medio mecánico



Fuente Autor

- Selección de la técnica

La técnica que se va emplear es de modo continuo con partículas magnéticas secas y partículas magnéticas húmedas visibles, mejor dicho es cuando la pieza se magnetiza usando el Yugo.

- Procedimiento con partículas magnéticas secas:
 - Aplicación de corriente magnética

Ilustración 28 Aplicación de corriente



Fuente Autor

- Soplar las partículas magnéticas al área magnetizada.

Ilustración 29 Retirar el exceso de partículas



Fuente Autor

- Soplar el exceso de polvo de partículas.

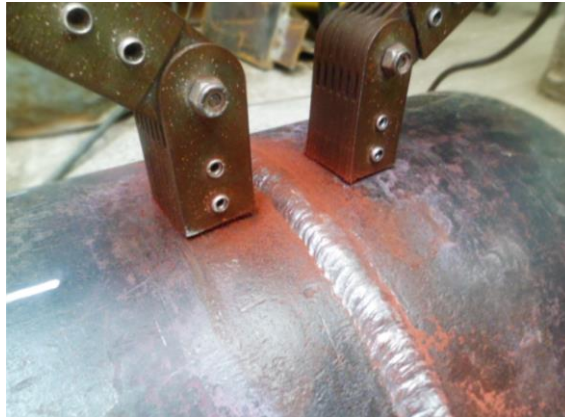
Ilustración 30 Retirar el exceso de partículas



Fuente Autor

- Se retira la corriente de magnetización.

Ilustración 31



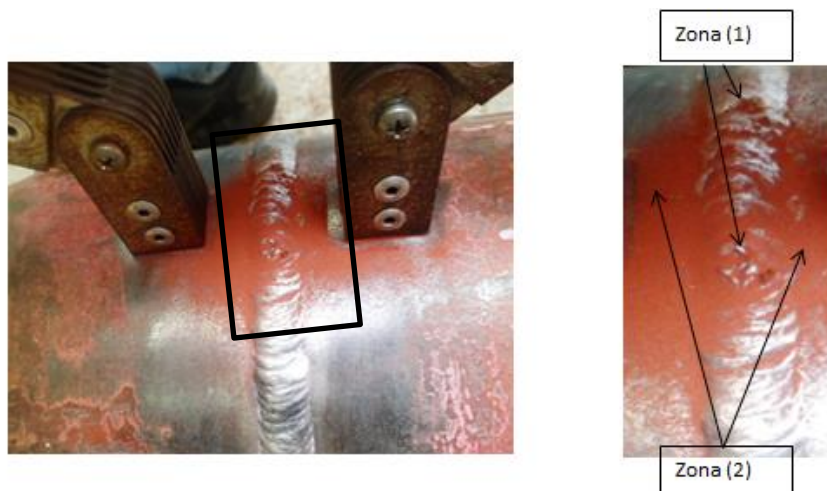
Fuente Autor

- Interpretación y evaluación.

En la ilustración 32 podemos resaltar la acumulación de partículas en la zona (1) la cual es la representación geométrica en forma circular en la parte superficial, característica principal el cual define la porosidad.

La acumulación de partículas de la zona (2) no son discontinuidades si no indicaciones falsas las cuales pueden ser generadas por cambios abruptos en la geometría debido a esto se presenta un campo de fuga, del cordón el cual se está inspeccionando.

Ilustración 32 Partículas magnéticas toma 1



Fuente Autor

En la ilustración 33 podemos observar nuevamente la acumulacion de particulas generada por una discontinuidades. La zona (1) se puede evidenciar el defecto de porosidad de forma sud-superficial, en la zona(2) el defecto de porosidad se evidencia que es superficial.

La zona (3) se evidencia indicaciones no relevantes generado por geometrias conformada por el traslape del cordon de soldadura.

Ilustración 33 Partículas magnéticas toma 2



Fuente Autor

- Des-magnetización

Para eliminar el magnetismo remanente en la pieza, se magnetiza realiza en sentido contrario (180°) al cual se magnetizo inicialmente.

Ilustración 34 Des-magnetización



Fuente Autor

- Limpieza final.

Para realizar la limpieza final se puede aplicar las mismas condiciones que se optaron en la limpieza inicial.

Ilustración 35 Limpieza de la pieza



Fuente Autor

- Procedimiento con partículas magnéticas húmedas visibles
 - Contraste

Por medio de un Spray de pintura (laca) de color blanco es aplicado en todo el cordón de soldadura para generar un contraste para las partículas magnéticas húmedas las cuales son de color negro.

Ilustración 36 Contraste



Fuente Autor

- Aplicación de corriente magnética

Ilustración 37 Aplicación de corriente



Fuente Autor

- Aplicación de partículas húmedas

Ilustración 38 Aplicación de partículas



Fuente Autor

- Se retira la corriente de magnetización.

Ilustración 39



Fuente Autor

- Interpretación y evaluación

Ilustración 40 Partículas magnéticas Húmedas Toma 1



Fuente Autor

En la ilustración 41 se puede visualizar en efecto que se genera por medio de las partículas magnéticas húmedas, el fenómeno de fuga de campo el cual provoca la acumulación de partículas entorno a las discontinuidades. En este la caso la discontinuidad presenta una forma geometría redondeada lo cual el defecto presentado es asemejado a un poro.

Ilustración 41 Partículas magnéticas Húmedas 2



Fuente Autor

La principal característica de este método es que las partículas magnéticas por vía húmeda son provistas de formas más uniformes y de menor tamaño que las utilizadas por vía seca.

- Des-magnetización

Para eliminar el magnetismo remanente en la pieza.

- Limpieza final.

Para realizar la limpieza final se puede aplicar las mismas condiciones que se optaron en la limpieza inicial.

4.7.2 ENSAYOS VOLUMÉTRICOS

4.7.2.1 Radiografía industrial

- Objetivo

Obtener información sobre la macro-estructura interna de la pieza soldada.

- Materiales
 - Caja de control
 - Contenedor
 - Manguera
 - Fuente de Rayos gamma
 - Película

Tabla 24 Materiales del equipo de Radiografía industrial

<i>Materiales para la realización el ensayo no destructivo de Radiografía</i>		
Fuente de Radiación	Controles de la fuente	Película radiográfica
		

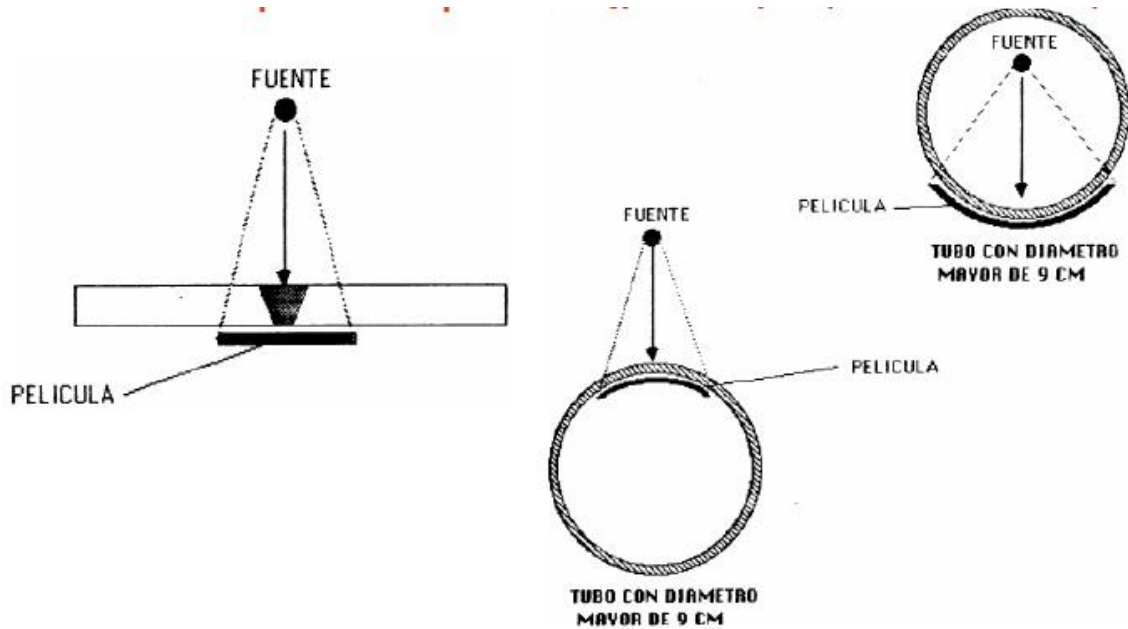
Fuente Autor

- Procedimiento

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética siendo esta última de una longitud de onda muy corta y alta energía.

Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos gamma es atraída o atenuada al atravesar un material, esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material el cual se está inspeccionando.

Ilustración 42 Procedimiento de posicion placas de radiografia



Fuente Manual "Tecnología de la inspección de la soldadura" módulo 10

Lo que se busca mostrar en la ilustración 42 es la representación de posición y ubicación de los elementos empleados para su inspección.

- Revelado

Cuando los isótopos radiactivos han sido irradiados sufren una transformación invisible por eso deben ser sometidos a una acción química con una sustancia llamada revelador que la transforma en plata metálica de color negro la formar la imagen.

Si se determina que la ilustración es satisfactoria entonces se interpreta para conocer qué tipo de indicaciones están presentes, las cuales posteriormente serán evaluadas para conocer su nivel de severidad y su posible efecto en el material que se inspecciona.

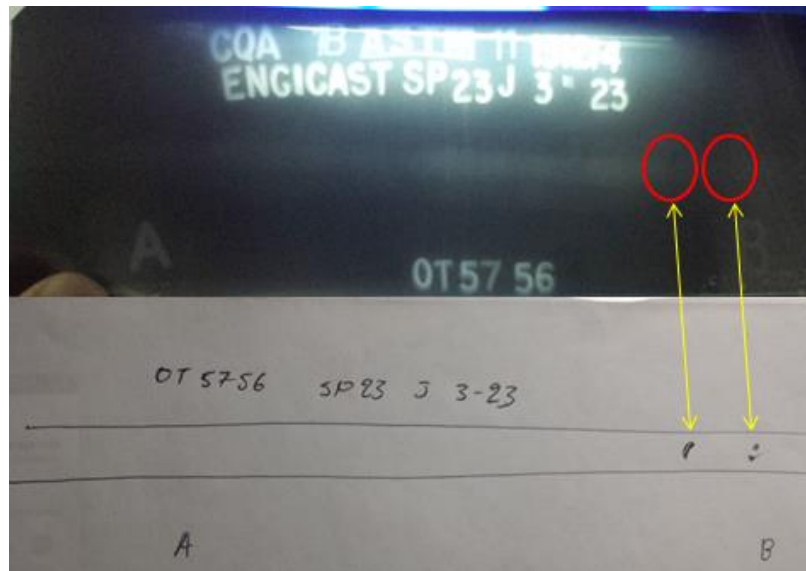
Revelado de placas, se necesitaron 3 placas para encontrar las discontinuidades asociadas con poros en la soldadura. Ya que los poros están formados por

espacios vacíos en el interior de la soldadura, que una vez que se enfrían se mantienen algunos gases atrapados.

Como se puede observar en las siguientes imágenes, los poros tienen como características una forma geométrica esferoidal, con forma de agujeros de lombrices o pequeños ductos.

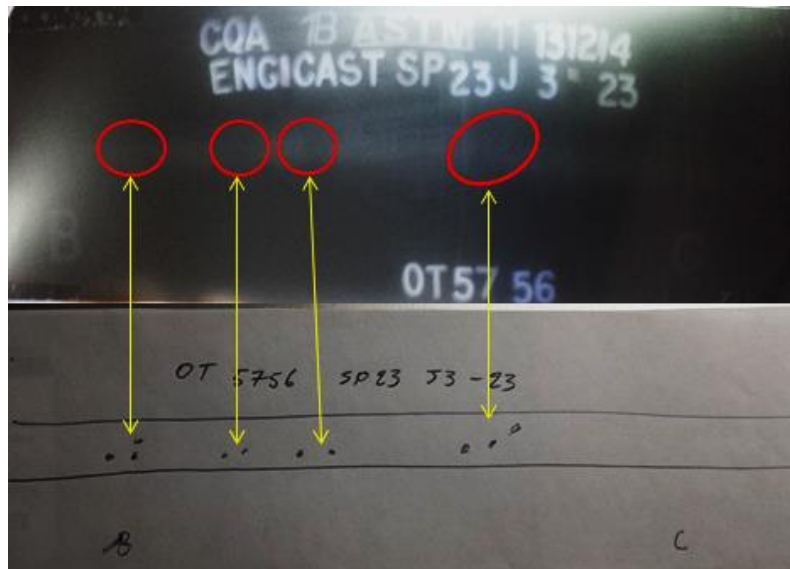
En este tipo de ensayo no destructivo (Radiografía) es bueno tener un apoyo alterno como lo es, calcar en hoja legible la forma del cordón de soldadura, y situar las discontinuidades que se presentan como se ve en las placas reveladas con su respectivo apoyo.

Ilustración 43 RT toma 1 Revelado



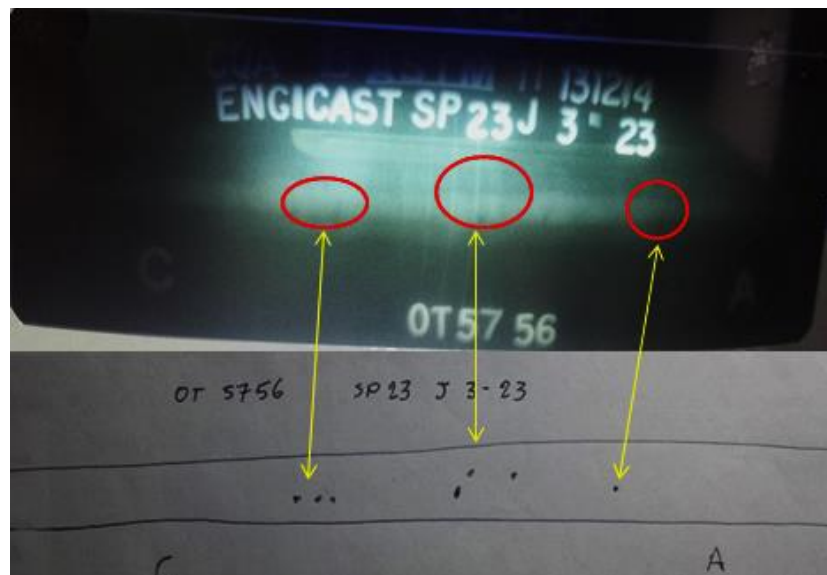
Fuente Autor

Ilustración 44 RT Toma 2 Revelado



Fuente Autor

Ilustración 45 RT Toma 3 Revelado



Fuente Autor

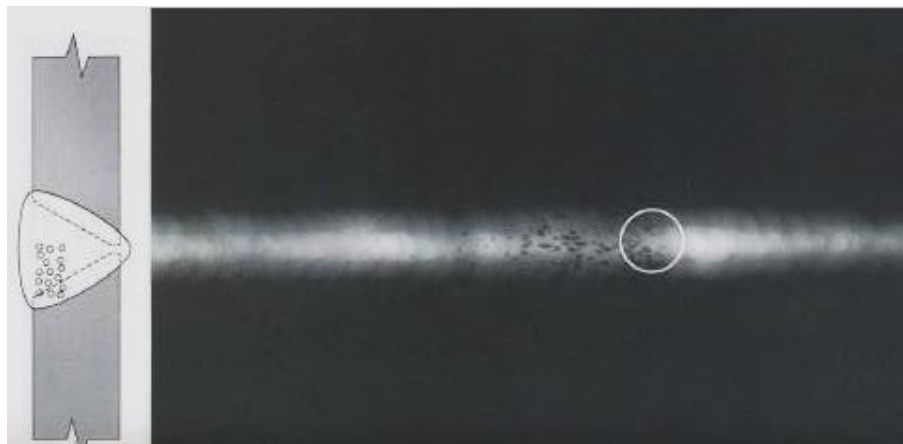
El ensayo de radiografía, es un ensayo volumétrico que permite determinar la integridad interna de un elemento. Para el presente proyecto dado los inconvenientes que conllevan realizar radiografía sobre todo por temas de

seguridad se subcontrató CQA. Las placas se anexan el los entregables del documento.

Al fotografiar las placas para colocar las imágenes no se observa bien el contraste por ende la empresa GQM Ingeniería S.A.S nos ha proporcionado las siguientes imágenes.

En la ilustración 46 se evidencia una acumulación de poros a lo largo del cordón de soldadura, posiblemente causado por el fundente húmedo o la superficie contaminada.

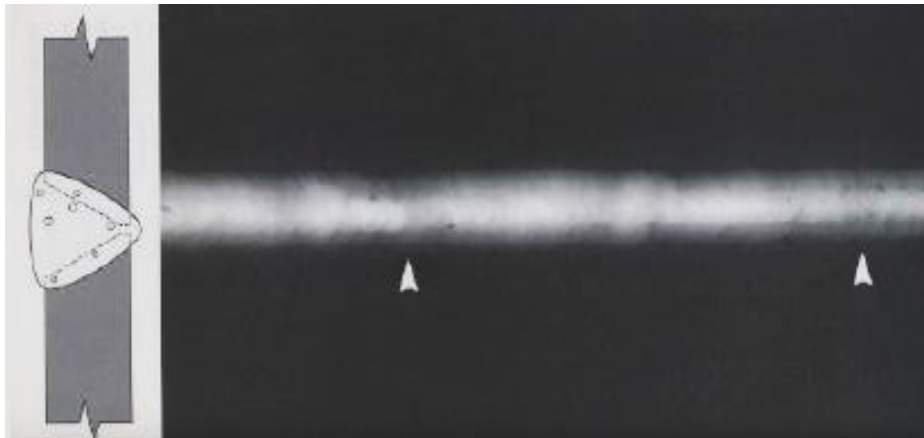
Ilustración 46 Toma 1 de radiografía suministrada



Fuente GQM Ingeniería S.A.S

En la ilustración 47 se evidencia pequeños poros distribuidos a lo largo del cordón de soldadura, posiblemente causado por un avance de fusión alta en la zona afectada.

Ilustración 47 Toma 2 de radiografía suministrada



Fuente GQM Ingeniería S.A.S

4.7.2.2 Ultrasonido phased array

- Objetivo

Inspeccionar soldaduras circunferenciales en líneas mediante ensayo no destructivo de ultrasonido con la técnica de phased array de acuerdo al código ASME B31.3.

- Equipo

- Equipo ultrasonido OLYMPUS OMNI SCAN MX
- Módulo Phased Array.
- Transductor Phased Array
- Zapatas planas
- Computador / cable interfaz
- Flash Memory
- Cinta métrica
- Bloque en acero para calibración V1

- Material

- Acoplante (metilcelulosa, gel ultrasónico, glicerina, agua, etc.)
- Consumibles para limpieza
- Cinta adhesiva de papel o esparadrapo

- Marcador de pintura.

Tabla 25 Materiales para ultrasonido

<i>Materiales para la realización el ensayo no destructivo de ultrasonido</i>			
Equipo de ultrasonido	Transductor	Zapata	
			
Bloque de calibración		Acoplante	
		 	

Fuente Autor

Procedimiento de inspección.

- Identificación de la junta soldada:

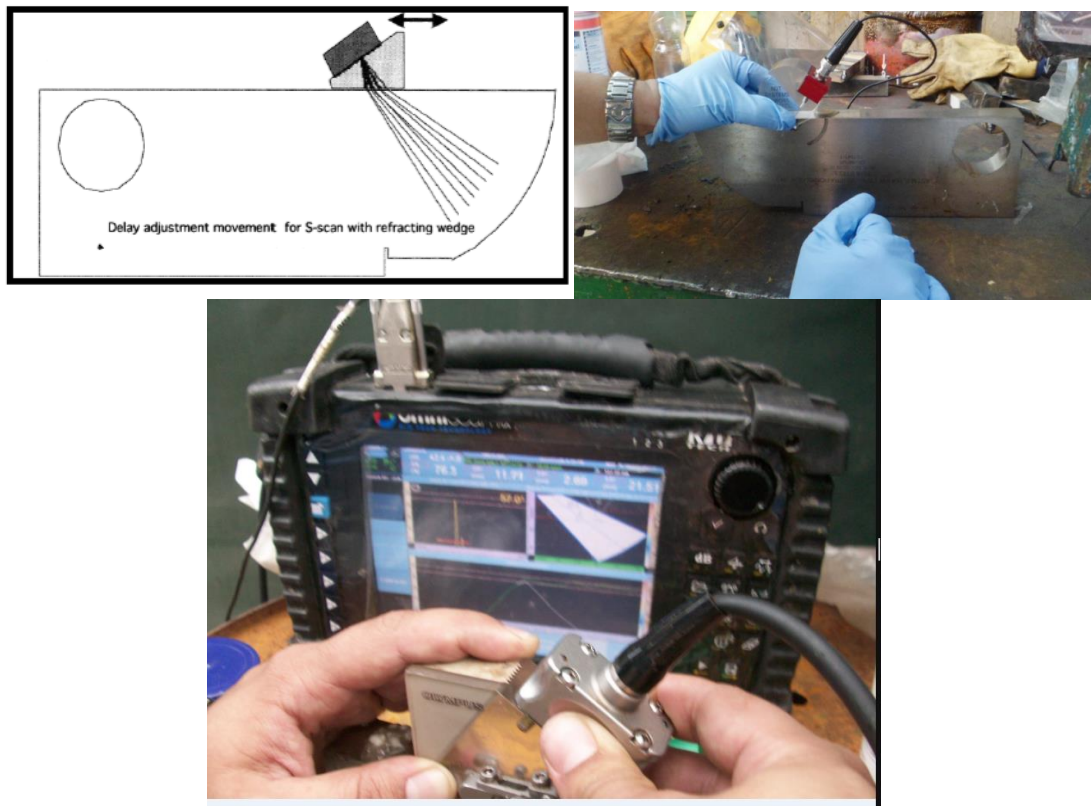
Se debe tener la siguiente información antes de realizar la inspección, con el fin de configurar y calibrar el equipo y tener una mejor planeación de la actividad.

- Material
- Espesor nominal
- Diámetro
- Diseño de la junta

- Preparación de la Superficie: Previamente debe evaluarse la condición de la superficie. La superficie del equipo o material a inspeccionar debe ser lisa libre de pintura, de modo que se permita un excelente acople del transductor / zapata con la superficie. Para comenzar la inspección, se debe eliminar la suciedad del área.
- Alistamiento del equipo –calibración.

Para la calibración en distancia se realiza mediante los bloques V1 tipo WII (Fig1) y DAC (Tabla No 1). Mediante los comandos registrados en la tabla 2 se define el tipo de sensor, Números de elementos, Pitch, Tipo de Zapata, tipo de barrido Sectorial, ángulos del barrido (ángulo de inicio y final), frecuencia del sensor.

Ilustración 48 Alistamiento de calibración



Fuente Autor

Tabla 26 Dimensiones de Bloque de calibración Patrón

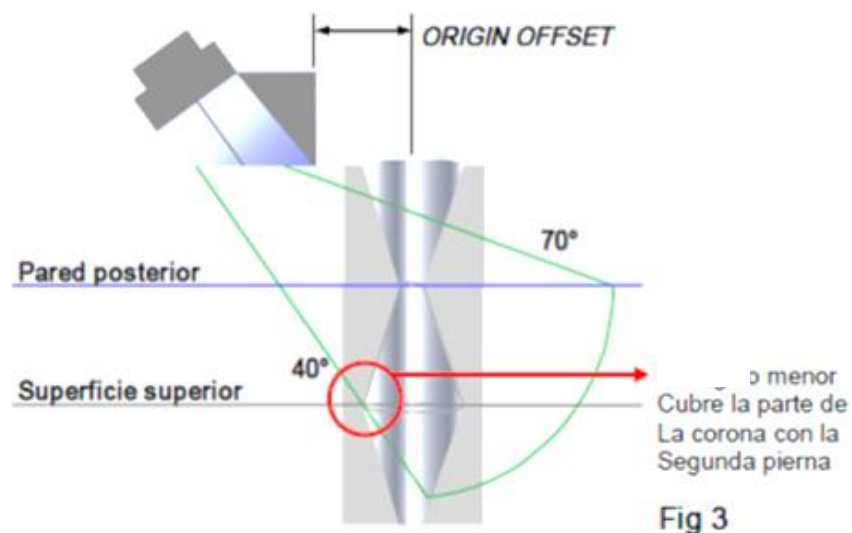
Weld Thickness t , in. (mm)	Basic Calibration Block Thickness T , in. (mm)	Side-Drilled Hole Diameter, in. (mm) [Note (3)]	Round Bottom Hole Diameter, in. (mm) [Notes (3) and (6)]
Over 2 through 4 (50 through 100)	3 or t (75 or t)	$\frac{3}{16}$ (5)	$\frac{3}{8}$ (10)
Over 4 through 6 (100 through 150)	5 or t (125 or t)	$\frac{1}{4}$ (6)	$\frac{7}{16}$ (11)
Over 6 through 8 (150 through 200)	7 or t (175 or t)	$\frac{5}{16}$ (8)	$\frac{1}{2}$ (13)
Over 8 through 10 (200 through 250)	9 or t (225 or t)	$\frac{3}{8}$ (10)	$\frac{9}{16}$ (14)
Over 10 through 12 (250 through 300)	11 or t (275 or t)	$\frac{7}{16}$ (11)	$\frac{5}{8}$ (16)
Over 12 through 14 (300 through 350)	13 or t (325 or t)	$\frac{1}{2}$ (13)	$\frac{11}{16}$ (17)
Over 14 (350)	$t \pm 1$ ($t \pm 25$)	[Note (2)]	[Note (2)]

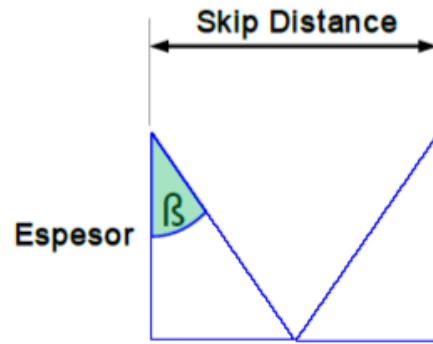
Fuente ASME Secc. v artículo 4 fig. J-431

- Determinación del área de barrido

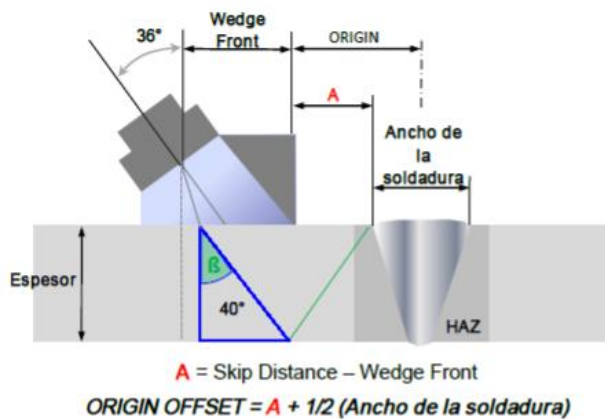
Para que durante el examen sea cubierta completamente la soldadura (material de aporte), se debe calcular la distancia "ORIGIN OFFSET", que corresponde a la distancia a la que debe colocarse el palpador desde el centro de la soldadura y sobre la cual debe desplazarse el palpador a lo largo de la soldadura; además, es el valor que debe alimentarse al instrumento ultrasónico para que las discontinuidades detectadas puedan ser localizadas y ubicadas en la soldadura. Para el cálculo del "ORIGIN OFFSET" se debe proceder como se describe a continuación:

Ilustración 49 Determinación del área de barrido





$$\text{Skip Distance} = (2 \text{ Espesor}) \times (\tan \beta)$$



- Interpretación y reporte

El ultrasonido Phased Array es una técnica que permite manipular digitalmente las propiedades acústicas del palpador para producir un grupo de haces, que a su vez genera una vista tomográfica (S- Scan, C-Scan, B-Scan y el tradicional A-Scan), esto cada milímetro del cordón de soldadura en su sección transversal lo cual permite estas diferentes vistas.

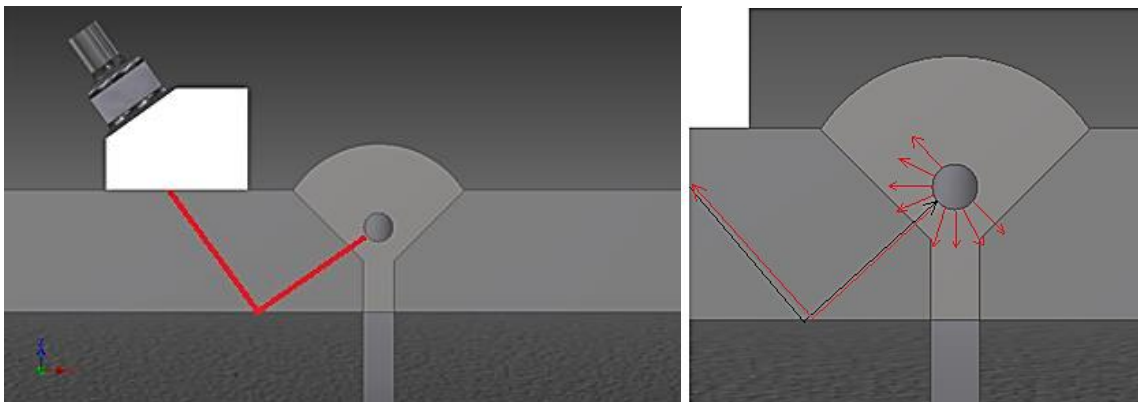
Ilustración 50 ultrasonido Phased Array Toma



Fuente Autor

La morfología el cual se genera por la formación de la indicación proporciona información característica de la discontinuidad según la geometría encontrada. Dado el caso hay que tener cuidado con el análisis ya que toca deducir características como morfología (Plana, Cilíndrica, Esférica, Rugosa, Irregular), orientación (respecto al haz ultrasónico), posición, tamaño y discontinuidad (Poro, Grieta, Socavado, entre otros).

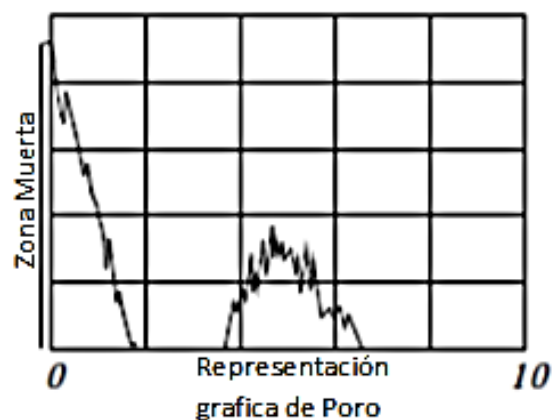
Ilustración 51 Demostración de la dispersión del Haz ultrasónico.



Fuente Autor

Por medio de esta ilustración 51 se busca explicar la forma de la curva envolvente de los picos que se genera por medio de la discontinuidad. Los poros se caracterizan por tener un despliegue de picos como lo muestra la ilustración 52, ya que la pérdida de energía es generada por la dispersión de su forma esférica como se muestra en la ilustración 51, los haces ultrasónicos no regresan a la zapata con la misma intensidad que han salido por este detalle geométrico que tiene el poro.

Ilustración 52 Morfología de la discontinuidad en forma de Eco



Fuente Autor

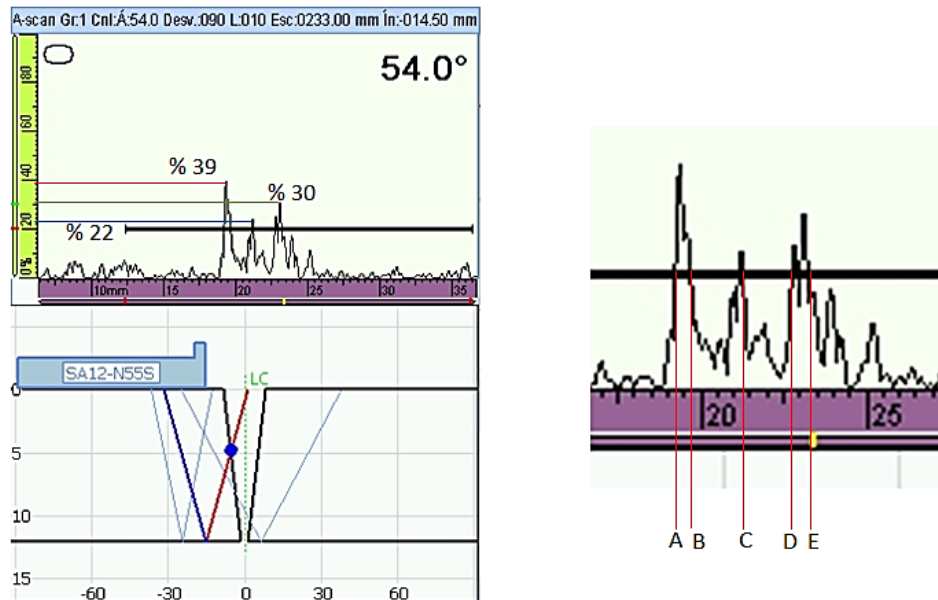
- Ultrasonido Phased Array Toma 1 A-Scan

El A-Scan como se ve en la ilustración es la presentación de las alturas de los ecos, representa la intensidad del haz ultrasónico reflejado, es decir la amplitud de la señal y la línea base horizontal indica el tiempo o la distancia de recorrido. Por tal motivo podemos determinar la dimensión de la discontinuidad y la profundidad que se encuentre de la superficie.

La morfología de la discontinuidad presentada en la ilustración es de forma esférica dado que el eco es generado por pequeñas heterogeneidades aisladas muy aproximadas. Las características primordiales de las cuales podemos sacar de estas pulsaciones son:

- Se encuentran sobre el has (54°) son 3 discontinuidades (poros) con diferente dimensiones dado que la variación de energía reflejada de la onda ultrasónica sobrepasan la curva DAC (Distancia corrección de amplitud).
- DAC permite realizar la evaluación del tamaño del defecto independientemente de la profundidad del mismo, ya que el A-Scan el eje de la abscisa determina el recorrido en el que se encuentran las discontinuidades así mismo este recorrido nos permite evaluar el tamaño de la discontinuidad, dado que es una indicación de porosidad, los tamaños de esta, se calculan de acuerdo a los intervalos mostrados en la imagen 2, la primera indicación se mide en el intervalo del punto A al punto B, presenta una longitud de 1.5 mm, con una amplitud del 19%, superando el establecido para su aceptación, la segunda indicación se encuentra en el punto C, la cual su longitud es menor de 1 mm, en esta el punto de energía reflejada, es muy débil en su pico más alto, se tiene en cuenta que ha sobrepasado la DAC, aunque la amplitud se dé, en un 5%, superando lo establecido para el criterio de aceptación, la tercera indicación se mide en el intervalo del punto D al punto E, presenta una longitud de 2 mm, con una amplitud del 10%, y así superando lo establecido para el criterio de aceptación.

Ilustración 53 Ultrasonido Phased Array Toma 1 A-Scan



Fuente Autor

- Ultrasonido Phased Array Toma 1 S-Scan

El método en el S-scan busca encontrar las diferentes discontinuidades en la sección transversal de la junta el cual se está inspeccionando generando una mayor visualización de las discontinuidades volumétricas.

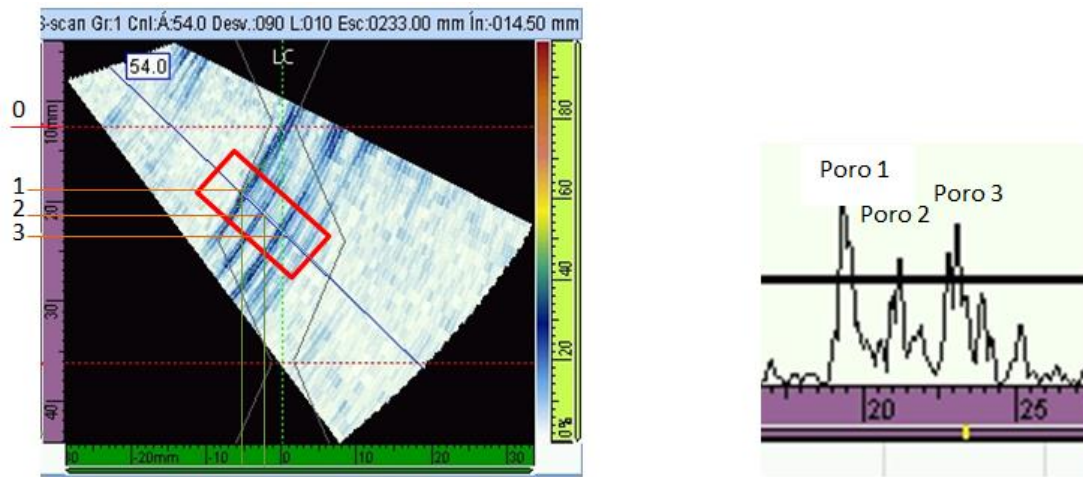
Lo que logramos mostrar en la ilustración del S-Scan es la presencia de las discontinuidades referenciadas anteriormente (3 poros) por el A-scan, con la diferencia que en esta vista del ultrasonido se puede obtener características más claras tales como:

- La visualización de los 3 poros que se presentan por el Haz ultrasónico, nos generan una representación de la ubicación y/o posición en la junta con una mayor precisión.
- La intensidad del color es una característica principal, lo cual es el factor que identifica las discontinuidades que presenta la junta. Tal como se ve en la ilustración son 3 las zonas que se resaltan en la sección transversal que se está inspeccionando, se realiza una evaluación comparativa entre el S-

scan y A-scan el cual busca complementar el análisis sectorial las discontinuidades presentes en la junta.

- La forma de interpretar cual se debe interpretar este tipo de análisis de S-scan para la determinación de poros el cual se presenta en la ilustración, está dado por la intensidad va estar determinado entre un porcentaje de tonalidad dado que las características por el comportamiento de los poros no permite que la tonalidad aumente más de un %40 ya que por su forma volumétrica esferoidal permite que haz ultrasónico genere una pérdida distribuida mente en su amplitud, de esta manera el comportamiento de los poros como se ve reflejado en la ilustración su intensidad en cada uno de los poros siempre están entre un rango del %25 y %35.
- Por tener una vista de la sección transversal de la junta donde se ha encontrado 3 discontinuidades (Poros), podemos determinar las coordenadas en donde se han encontrado las discontinuidades, por medio del eje lateral izquierdo nos indica las profundidades y en el eje inferior la posición longitudinal. Básicamente se comporta como un plano cartesiano, en este caso el primer poro se encuentra a 7 mm de profundidad con respecto a la raíz y -5 mm con respecto al eje de simetría de la junta, el segundo poro se encuentra 9 mm de profundidad con respecto a la raíz y -2.5 mm con respecto al eje de simetría de la junta, el tercer poro se encuentra a 10.5 mm de profundidad con respecto a la raíz y -5 mm con respecto al eje de simetría de la junta.

Ilustración 54 Ultrasonido Phased Array toma 1 S-Scan



Fuente Autor

- Ultrasonido Phased Array Toma 2 A-Scan

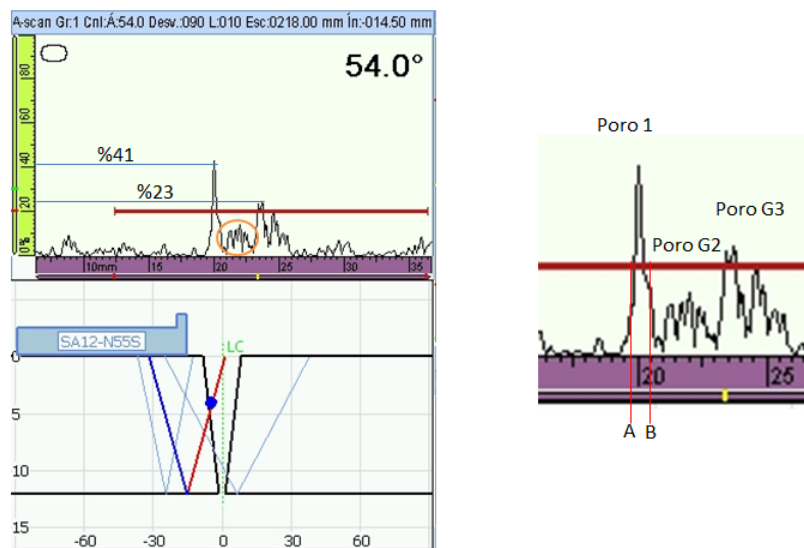
En la toma dos del A-Scan encontramos patrones similares el cual presenta la toma uno del A-Scan. Lo que hay que tener en cuenta es que las porosidades generadas no siempre van a ser las mismas.

Las características que presenta esta imagen son las siguientes:

- Se encuentran sobre el haz (54°) son 3 discontinuidades (poros), 2 de defectos con diferentes dimensiones dado que la variación de energía reflejada de la onda ultrasónica sobrepasan la curva DAC (Distancia corrección de amplitud) y una de las discontinuidades no alcanza a sobrepasar la Distancia corrección de amplitud por lo cual se comporta como una discontinuidad.
- El primer poro se mide en el intervalo del punto A al punto B, presenta una longitud 1 mm, con una Amplitud del 21% superando el establecido para su aceptación. Las indicaciones que se presentan en el poro 2 y 3, son porosidades agrupadas, a diferencia del primero que es un poro aislado por el cual pasa el Haz n° 54.

- El eco de este defecto como lo se resalta en la toma 2 (poro G2 y poro G3), es muy característico y en muchas ocasiones tienen forma de abeto, aunque muchas veces pueden aparecer si la porosidad son muy finas (poro G2) con un eco de máximas y mínimas antes de llegar a desaparecer y muy similar cuando la porosidad es de mayor volumen (poro G3) solo que sobrepasa la curva DAC (Distancia corrección de amplitud).

Ilustración 55 Ultrasonido Phased Array toma 2 A-Scan



Fuente Autor

- Ultrasonido Phased Array Toma 2 S-Scan

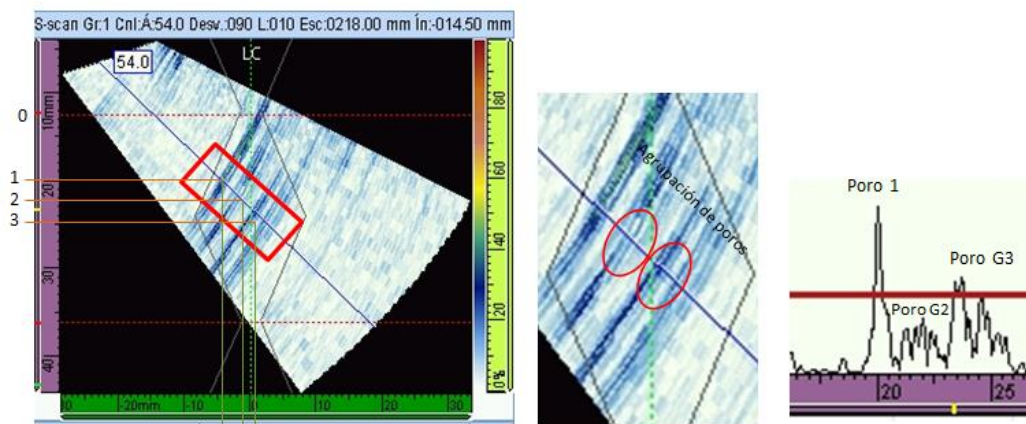
Las principales características del S-Scan en la toma 2:

- Podemos observar que el primer poro que presenta la imagen de la toma 2 S-scan tiene características muy similares a la anterior toma pero como no hay poros iguales, este tiene características diferentes pero muy similares como la intensidad del color esta entre un %35 y %40. Coó el S-scan es una vista de la sección transversal de la junta que se está inspeccionando nos da la posición y/o posición el cual se encuentra a 8 mm de profundidad con respecto a la raíz y -4,5 mm con respecto al eje de simetría de la junta.
- En la segunda indicación que se presenta el S-scan es una pequeña agupación de poros lo cual no tiene ninguna incidencia ya que no

sobrepasa la curva CAD, pero pero no se descarta que no sea discontinuidad dado que su comportamiento es característico de agrupacion de poros, lo que se puede resaltar según los parametros mostrados por el S-Scan es la intensidad de color el cual no supera el %20, su posicion se encuentra a 10 mm de profundidad con respecto a la raíz y -1,5 mm con respecto al eje de simetría de la junta.

- La tercera indicación que se presenta en S-scan es una agrupación de poros la cual tiene una consideración dado que pasa la curva CAD, por lo cual el la intensidad de color está en un rango de %20 y %25, su posicion se encuentra a 12 mm de profundidad con respecto a la raíz y 1 mm con respecto al eje de simetría de la junta.
- Para complementar la caracterización que se encuentra en esta imagen, hay una diferencia entre poro aislado y poros agrupados, como se pueden dar cuenta en la imagen tanto en el A-scan y en S-scan hay unas variaciones muy resaltadas que se generan entre el eco e intensidad de color dado estas características es que se puede lograr definir las discontinuidades.

Ilustración 56 Ultrasonido Phased Array toma 2 S-Scan



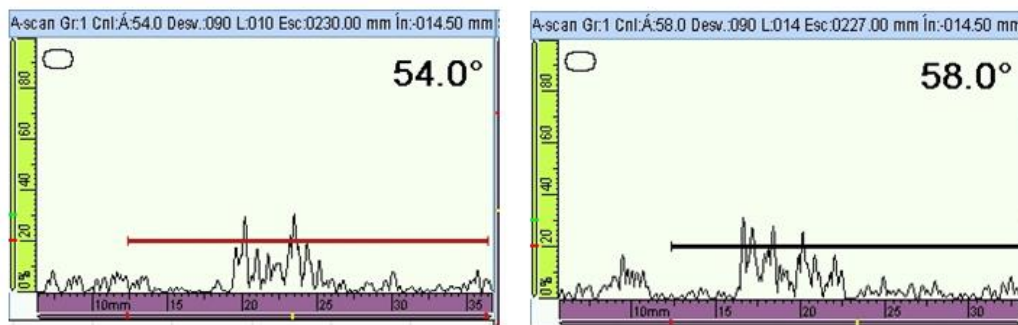
Fuente Autor

- Ultrasonido Phased Array Toma 3 A-Scan

En este caso encontramos dos gráficas de A-scan la cual fue tomada en el mismo punto pero con un Haz ultrasónico diferente, un Haz n°54 en la imagen a y Haz n°58 en la imagen b, lo cual busca mostrar una agrupación de poros situados en la zona.

En conclusión, debido al haz ultrasónico que golpea de forma irregular a las variaciones de poros que se encuentran en la trayectoria del haz, la señal tendrá a mostrar una presentación con múltiples picos. A medida que el transductor se mueve hacia adelante, la línea central del haz golpea los diversos contornos con más fuerza, causando la amplitud de cada señal, y esta aumenta para luego disminuir a medida que el haz ultrasónico atraviesa cada punto de reflexión.

Ilustración 57 Ultrasonido Phased Array toma 3 A-Scan

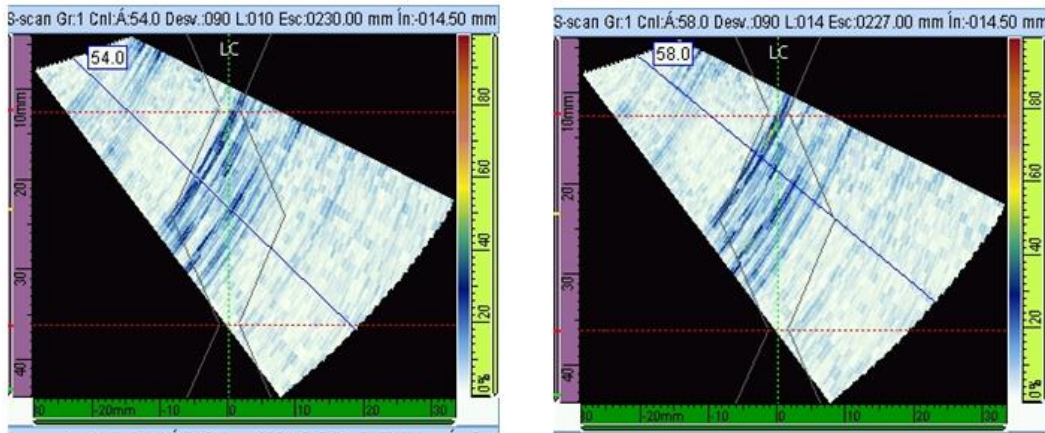


Fuente Autor

- Ultrasonido Phased Array Toma S-scan

En esta imagen podemos encontrar los ecos generados por el A-scan con su respectiva amplitud y codificación de colores según el porcentaje en alturas, dicha codificación es transferida hacia la vista que encontramos en la imagen C e imagen D en representación de colores (amplitud).

Ilustración 58 Ultrasonido Phased Array toma 3 S-Scan



Fuente Autor

- Ultrasonido Phased Array Toma C- Scan

Un C-scan es un sistema de agrupación, es una interface muy similar a la de la sonda convencional del S-Scan, con fases sistemas de matriz, sin embargo la sonda está típicamente movida físicamente a lo largo de un eje mientras que el haz explora electrónicamente a lo largo de la otra de acuerdo con la secuencia de ley focal. Amplitud o profundidad de la señal de datos se recogen dentro de la región cerrada de interés al igual que en C-scan convencionales. En el caso de redes en fase, los datos se representan con cada progresión ley focal, usando la abertura de haz programada.

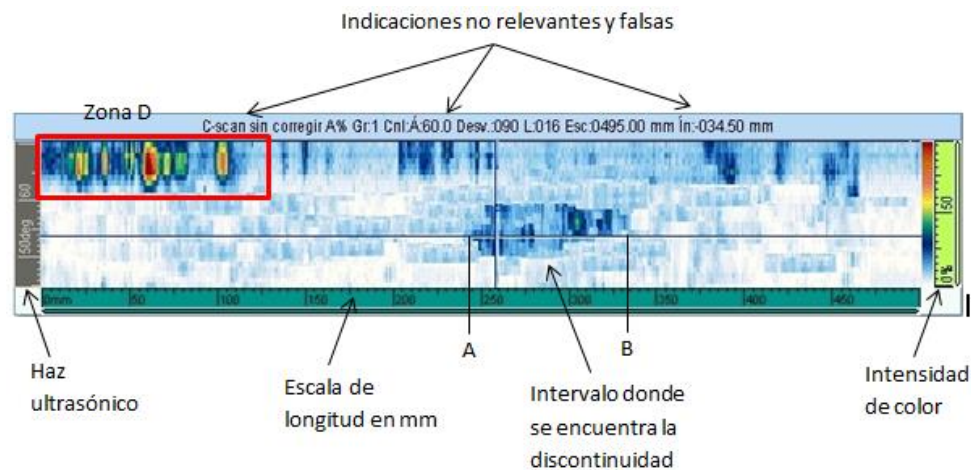
A continuación se muestra una exploración real, a una probeta, a la cual se indujeron las discontinuidades a lo largo de la junta soldada, utilizando una zapata de 5 MHz, 64 haces ultrasónicos de matriz lineal con una cuña recta. Cada ley focal utiliza 16 elementos para formar la abertura, y en cada pulsante los incrementos a partir de elementos por uno.

A medida que el transductor se mueve en línea recta hacia adelante, una vista plana C-scan emerge y precisa de la imagen de la exploración a la parte inspeccionada.

Las principales características que podemos encontrar en la imagen que se está mostrando:

- Longitud de porosidad el cual muestra en la imagen es de 85 mm de longitud el cual está determinado de entre el intervalo del punto A al Punto B.
- Intensidad de Colores: La agrupación de poros tiene un color azul el cual no supera el 25%. Estos colores significan que la intensidad de color de la discontinuidad no es tan alta en comparación a la intensidad de colores que presentan las grietas, socavados y faltas de fusión.
- En la parte superior del Scan C en la zona D, se identifica una intensidad de color en niveles altos de concentración, esta se presente en la raíz, se visualizan estos colores debido a que la longitud del cordón de la raíz posee geometría No uniforme.

Ilustración 59 UT C-Scan



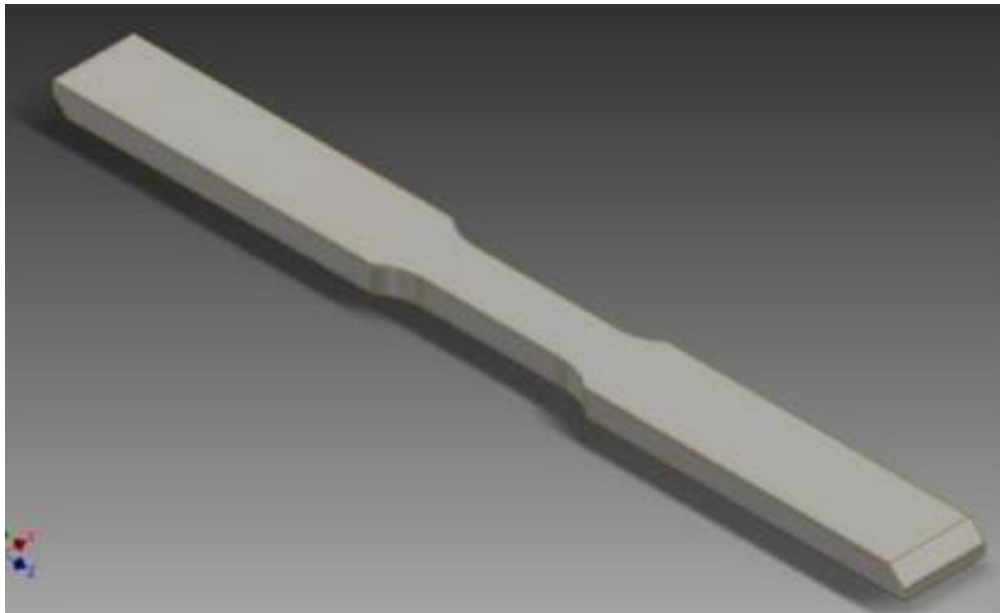
Fuente Autor

4.8 PRUEBA DE TENSIÓN

Se realizó este tipo de ensayo destructivo con el fin de identificar las propiedades mecánicas en la soldadura aplicada, mostrando si la zona soldada se va desempeñar de la misma manera, que el metal base. Dado que a estas probetas se le indujo defectos como poros, los cuales conllevan a comparar que propiedades se alteran entre una probeta sin defectos y otra con defectos.

Fabricación de probeta se tiene en cuenta las especificaciones del código AWS D 1.1, con lo que respeta a medias básicas.

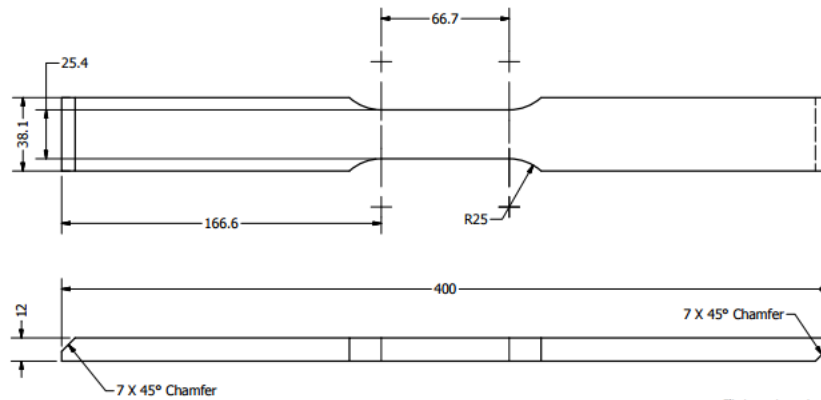
Ilustración 60 Visualización de probeta para ensayos a tensión



Fuente Autor

- Plano de mecanizado

Ilustración 61 Plano de probeta para ensayo a tensión



Fuente Autor

- Probeta sin defectos (P1)

Ilustración 62 Probeta sin defectos



Fuente Autor

- Probetas con defecto de porosidad sobre el cordón e interior del cordón (P2 y P3)

Ilustración 63 Probetas con defectos



Fuente Autor

4.8.1 Procedimiento

El ensayo destructivo se realiza en la Máquina Universal de pruebas destructivas que se encuentra en los laboratorios de ingeniería mecánica en la Universidad Santo Tomas.

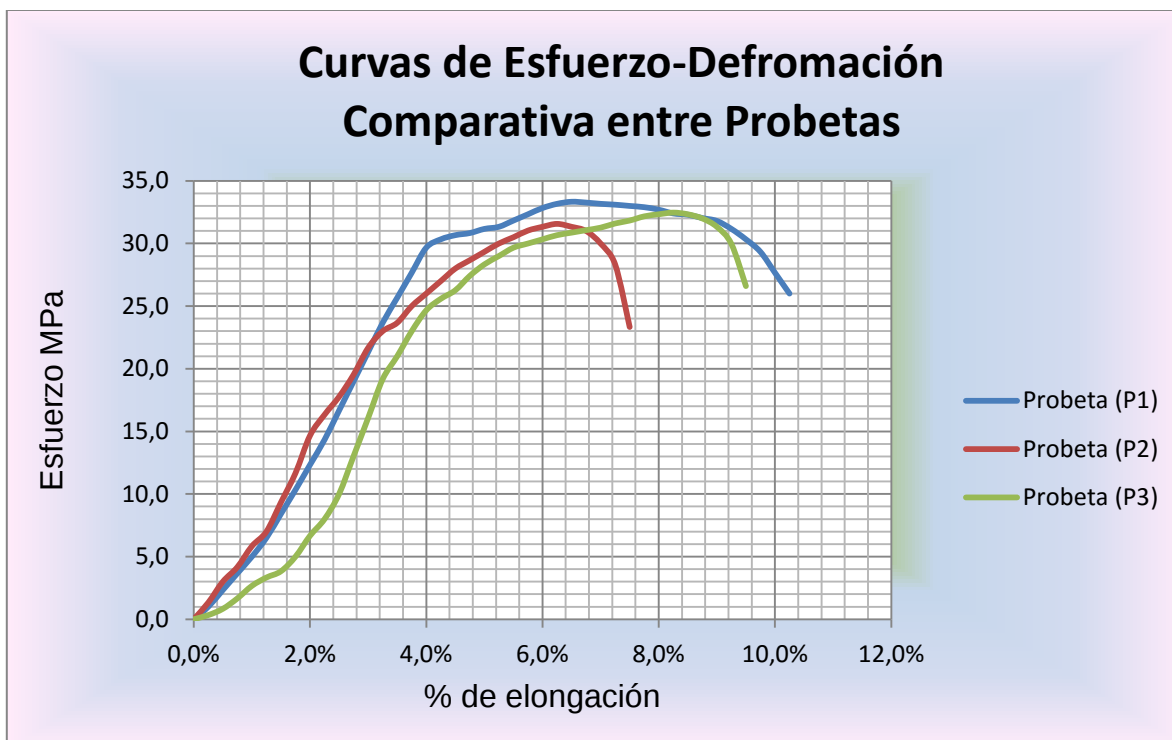
Ilustración 64 Máquina universal de ensayos



Fuente Autor

De tal manera se obtuvieron los siguientes resultados:

Grafica 1 Curva comparativas Probeta sin defecto (1), Probeta con defecto superficial (2), Probeta con defecto interno (3).



Fuente Autor

Tabla 27 Resultados de la gráfica de Esfuerzo-Deformación

	Resistencia en el punto de fluencia	Resistencia en el punto de esfuerzo último	Resistencia a la rotura
Probeta sin defecto (P1)	29,7 MPa	33,3 MPa	26 MPa
Probeta con defecto externo (P2)	23 MPa	31,6 MPa	23,3 Mpa
Probeta con defecto interno (P3)	25,6 MPa	32,5 MPa	26,6 Mpa

Fuente Autor

Tabla 28 Resultados

	A (mm)	B (mm)	Área (m ²)	Límite de fluencia (kgf)	Carga Máxima (kgf)	Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Porcentaje de pérdida esfuerzo de fluencia	Porcentaje de pérdida esfuerzo máximo
Probeta sin defecto (P1)	25,4	12	0,0003	8915	10123	29	33	-	-
Probeta con defecto externo (P2)	25,4	12	0,0003	6987	9443	23	31	21,6%	6,7%
Probeta con defecto interno (P3)	25,4	12	0,0003	7675	9747	25	32	13,9%	3,7%

Fuente Autor

De esta manera se determinó, las propiedades de ruptura y deformación por la carga aplicada con la finalidad de comparar la deficiencia que se genera por contener defectos (en este caso poros), la cual se puede evidenciar en las gráficas y en la tabla con los resultados obtenidos.

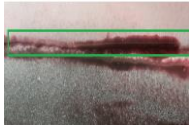
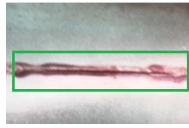
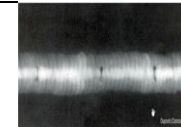
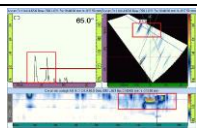
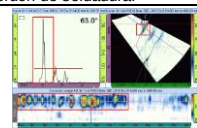
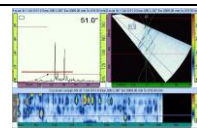
Estos resultados nos demuestran porcentualmente la implicación de tener defectos superficiales e internos en la soldadura, lo cual nos muestra su degradación y afectación de sus propiedades tales como resistencia, elasticidad y entre otras (ver tabla 27 de ensayos destructivos).

Por lo cual se puede concluir que el defecto de porosidad presente en la soldadura, afecta sus propiedades independientemente de su ubicación.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS COMPARATIVOS.

A partir de los datos obtenidos mediante los ensayos no destructivos sobre el defecto (Porosidad), realizaremos por medio de tablas las diferentes formas comparativas en cuanto a características y visualización, que se presentan con otros tipos de defectos e inspeccionados por los mismos ensayos no destructivos.

Tabla 29 Resultados comparativos mediante ensayos no destructivos

Método	Análisis de resultados comparativos			
	Discontinuidad			
	Porosidad	Socavado *	Falta de penetración *	Inclusión de escoria **
Líquidos penetrantes				
Descripción	El comportamiento de los líquidos penetrantes con respecto a la identificación de la discontinuidad de la porosidad es un patrón similar y/o semejante, de geometría simple el cual es de forma circular, por efecto del sangrado	muestra una indicación, es la discontinuidad de socavado interno y se identifica fácilmente porque el líquido penetrante se quedó en el metal base afectado por el proceso de soldadura. Se encuentra adyacente a la raíz y se generó probablemente la mala creación del arco eléctrico o una velocidad de avance alta, haciendo una solidificación del metal de aporte con el metal base rápida.	muestra una discontinuidad tipo "Falta De Penetración". La cual se originó por el deficiente depósito de metal de aporte en el bisel. Se observa el contraste mostrado entre revelador y penetrante, lo cual hace la fácil identificación de la discontinuidad para el inspector	En el caso de inclusión de escoria no están evidente la discontinuidad, ya que el comportamiento de los líquidos penetrantes tiende a comportarse más como indicación relevante o no relevante por falta de limpieza sobre la superficie.
Partículas magnéticas				
Descripción	En esta imagen podemos observar nuevamente la acumulación de partículas generada por una discontinuidad. La zona (1) se puede evidenciar el defecto de porosidad de forma sub-superficial, en la zona(2) el defecto de porosidad se evidencia que es superficial. La zona (3) se evidencia indicaciones no relevantes generadas por geometrías conformadas por el traslape del cordón de soldadura.	la discontinuidad de socavado interno esta resaltada con el ovalo número 2, la indicación que aparece se identifica porque las partículas magnéticas se agruparon. Al igual que con el defecto de falta de penetración, se logra estimar que hay una irregularidad en el material, en este caso, el cordón de soldadura, pero no es muy claro el tamaño total de la discontinuidad.	se observa la raíz del cordón de soldadura, allí se evidencian la discontinuidad de falta de penetración identificado con el ovalo número 1. Debido a la poca claridad de la imagen, no se puede establecer muy bien la ubicación de los defectos	Como podemos evidenciar en la toma fotográfica, se puede llegar a concluir que este tipo de Ensayo NO evidencia y adicionalmente no es óptimo para la identificación de Escoria superficial ni sub-superficial, solo identifica suciedad fácilmente removible que se depositó en el proceso de soldadura realizado.
Radiografía industrial				
Descripción	Como se puede observar en la siguiente imagen los poros tienen como características una forma geométrica esferoidal, con forma de agujeros, de lombrices o pequeños ductos.	La imagen revela el defecto (socavado) con forma lineal e interrumpido a lo largo del cordón de soldadura.	La imagen revela el defecto (Falta de penetración) con características en forma lineal y pronunciada, el cual siempre se van a encontrar en el centro del cordón de soldadura.	La imagen revela inclusiones de escoria en el traslape entre los cordones de soldadura en forma intermitente e irregular generada por falta de limpieza.
Ultrasonido				
Descripción	Son reflectores esféricos o cilíndricos (poros vermiculares). Aisladas, son malos reflectores. Los ecos de estos defectos suelen ser pequeños. Pueden localizarse desde ambos lados del cordón. Los poros agrupados, a veces, dan ecos similares a los de las escorias pero de menos amplitud.	El eco del defecto suele presentarse muy similar al defecto de falta de penetración. Las indicaciones de los ecos sucesivos crecen rápidamente hasta un máximo. La distancia entre B y C depende de la longitud de la discontinuidad. En general esta distancia aumenta con el nivel de sensibilidad.	Defectos de pared lisa asociados en ocasiones con escorias, suelen ser buenos reflectores. Su orientación es siempre casi paralela al cordón y están situados en el centro del cordón aproximadamente.	El eco de este defecto es muy característico y en muchas ocasiones tiene forma de abeto, aunque a veces puede aparecer, si las escorias son finas y alineadas, ecos similares a los de falta de penetración. Su localización desde ambos lados del cordón es posible en la mayoría de los casos

** Monsalve, O. (2014), Caracterización morfológica de inclusión de escoria en juntas soldadas de tubería de acero ASTM A36 realizados por proceso SMAW,

mediante ensayos no destructivos especificados. Trabajo de grado, universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia [32].

* Hurtado, A. (2015), Análisis morfológico en uniones soldadas mediante el uso de ensayos no destructivos específicos para la identificación de socavado interno y falta de penetración en juntas de tuberías de acero ASTM A36. Trabajo de grado, universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia [33].

6 CONCLUSIONES

- La estrategia seleccionada para garantizar la presencia de la discontinuidad de porosidad fue apropiada por medio de los procedimientos establecidos por normas y códigos estandarizados, dado que fue de mucha ayuda para lograr el objetivo, induciendo la discontinuidad.
- A partir de los resultados, el análisis de porosidad se observa, el primer método a seleccionar para inspeccionar una junta soldada son líquidos penetrantes por su facilidad y practicidad, también en cuando materiales y método, solo sirve para la superficie, determinando las discontinuidades internas se requiere un método más sofisticado el cual se recomienda, el de ultrasonido Phase array dado que tiene una mayor precisión y sensibilidad a la detección de discontinuidades.
- Ultrasonido Phase Array es un método volumétrico que produce imágenes transversales del cordón de soldadura con precisión, detallando la estructura, además se puede observar que este ensayo tiene mayor sensibilidad, siendo efectivo y confiable para la caracterización del proceso morfológico de porosidad, ya que por medio de los ases ultrasónicos permite determinar el tamaño, orientación y ubicación del defecto, aunque este método es el mejor para la determinación de las discontinuidades tiene una limitante muy importante, el inspector debe tener un alto grado de conocimiento y entrenamiento de este método.
- Por medio del ensayo de tensión, se puede analizar que hay una disminución del 25% de fractura en una probeta que contiene poros en la superficie del cordón de soldadura y la probabilidad del 5% de fractura en la probeta que contiene poros internamente en el cordón de soldadura. Además hay que tener en cuenta que las variaciones en cuanto a pérdida en la resistencia del material dependen del tamaño y ubicación en que se encuentre la discontinuidad.
- Los ensayos no destructivos son un método importante para los procesos de verificación en calidad, los cuales estas regidos por normas, códigos y

sus especificaciones, los cuales constituyen la determinación de posibles fallas o desgastes de materiales y poder evitar una fatalidad, de esta manera las técnicas como Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas, Radiografía industrial y Ultrasonido Phase Array dan un gran porcentaje de confiabilidad en el control de calidad.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Koell Hoffer, August Manz, Eugene Hornberger. (1998). *MANUAL DE SOLDADURA*. Editorial Limusa S.A. ISBN 968-18-4926-4.
- [2] Manual “Tecnología de la inspección de la soldadura” Modulo 3 Procesos de union y corte. Página 4.
- [3] Manual “Tecnología de la inspección de la soldadura” Modulo 9 Discontinuidades del metal base y soldadura. Página 11.
- [4] CARPINTERO JOSE, María, Soldadura básica Guía práctica, ediciones de la U, 2013. ISBN 978-958-762-084-9.
- [5] NIDIA JIRADO. Curso de partículas magnéticas nivel 1 y 2. Julio 2014. Technical partner group.
- [6] Manual “Tecnología de la inspección de la soldadura” módulo 10 inspeccion visual y otros metodos de NDT y simbolos.
- [7] MARCO ANTONIO, Pardo. Manual de ultrasonido. Introducción a los ensayos no destructivos. 2013. ASTM NDT NIVEL III.
- [8] ISRAEL CASASOLA, Líquidos Penetrantes, un método no destructivo. México, 2008. Trabajo de grado (ingeniero mecánico), Instituto Politécnico Nacional. Faculta de mecánica.
- [9] GALVERY, WILLIAM L. (2006). *Guía de soldadura para el técnico profesional*. Editorial Limusa S.A. ISBN 9789681863876.
- [10] COLCIENCIAS. (2007). *Guía para la formulación de programas estratégicos y/o proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Modalidad: Cofinanciación y/o crédito.* www.colciencias.gov.co

- [11] CALLEJAS MANCIPE, JORGE ENRIQUE. (2008). *Validación del funcionamiento de un sistema de ultrasonido para la detección de defectos en soldaduras*. T.I.M C14VAL
- [12] ANGULO RODRÍGUEZ, NELSON XAVIER. (2006). *Aplicación e investigación de la soldabilidad de aceros de alta resistencia con cálculo, selección y disposición de los componentes de laboratorio de soldadura en la universidad Santo Tomás*. T.I.M A53AP
- [13] ÁVILA HÉCTOR. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación*. Edición electrónica. ISBN-10: 84-690-1999-6
- [14] SAMPIERI ROBERTO, COLLADO CARLOS, LUCIO PILAR. (1998). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill. ISBN 970-10-1899-0.
- [15] REVISTA METALURGIA. (1998). Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (Madrid). R-377 1998 V.34 NO.1-6 ENE-DIC.
- [16] INSTITUTO URUGUAYO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE MATERIALES. (2012) Ingeniero Carlos Alberto Buitrago. *Defectología en soldadura*. Facultad de Ingeniería de la Asociación Uruguaya de Ensayos de Materiales.
- [17] INSTITUTO PANAMERICANO DE INGENIERÍA NAVAL. (2009). Ingeniero Adán Vega. *Defectología en la Soldadura*.
- [18] ORGANIZACIÓN ARGENTINA DE LA SOLDADURA. (2009). Ingeniero Samuel Rosario Francia. *Imperfecciones en soldadura y tipos de discontinuidades*.
- [19] Normative AWS D1.1 Welding Society.
- [20] Normative ASTM (American Society of testing Materials).
- [21] Normative ASNT (American Society of Nondestructive Testing).
- [22] Normative ASME (American Society of Mechanical Engineers) SECCION V

- [23] Normative ASME (American Society of Mechanical Engineers) SECCION V A-1 *pág.6.*
- [24] Normative API (American Petroleum Institute) API 1104.
- [25] Normativa Colombiana (ICONTEC).
- [26] Manual de Soldadura West Arco – Primera Edición – 2012.
- [27] http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf
- [28]<http://www.westarco.com/westarco/sp/productos/consumibles/electrodos/upload/1-Electrodos-para-soldar-Aceros-al-Carbono.pdf>
- [29] http://www.ndt.net/myndt/openfile.php?file=4982_1.pdf&id=4982
- [30] *AWS A 3.0 (Definiciones y términos en soldadura)*
- [31] Fuerza Aeria, Servicio de mantenimiento – Dpto. de Ingenieria, Laboratorio de de Ensayos No Destructivos.PDF.
- [32] MONSALVE, O. (2014), Caracterización morfológica de inclusión de escoria en juntas soldadas de tubería de acero ASTM A36 realizados por proceso SMAW, mediante ensayos no destructivos especificados. Trabajo de grado, universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.
- [33] HURTADO, A. (2015), Análisis morfológico en uniones soldadas mediante el uso de ensayos no destructivos específicos para la identificación de socavado interno y falta de penetración en juntas de tuberías de acero ASTM A36. Trabajo de grado, universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.