

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE
SOLDADURA EN LA EMPRESA INDIMA S.A.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

ELIZABETH ALEXANDRA ENCARNACIÓN FRANCO

elyaef48@hotmail.com

DIRECTOR: ING. MIGUEL VILLACRÉS

miguel.villacres@epn.edu.ec

Quito, NOVIEMBRE 2010

DECLARACIÓN

Yo, Elizabeth Alexandra Encarnación Franco, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa institucional vigente.

Elizabeth Alexandra Encarnación Franco

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita ELIZABETH ALEXANDRA ENCARNACIÓN FRANCO bajo mi supervisión.

Ing. MIGUEL VILLACRÉS

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, en primer lugar, por brindarme el regalo de la vida, por ser mi apoyo, mi fuerza y por cubrirme con sus infinitas bendiciones.

A mis padres Anita y Vicente, por su infinito e incondicional amor, por las enseñanzas impartidas y por ser el pilar que me ha permitido cosechar triunfos en el transcurso de la vida.

A mi hermano Mauricio, por su amor, comprensión, enseñanzas y por su presencia en todo momento, sin él nada sería igual...

A mi familia por todo su apoyo, en especial a mi tía Marlene y a mi prima Susy quienes en momentos difíciles me han sabido socorrer, aconsejar y hacer notar las cosas hermosas que tiene la vida.

A mi querida amiga Gladys, por su compañía, comprensión, cariño y por todos los buenos momentos compartidos, es una bendición contar con su amistad.

A los ingenieros Luis Costta, Juan Vasco y Juan Bermeo, por su acertada colaboración y ayuda prestada en la realización de este trabajo y a toda la familia de INDIMA S.A. con quienes es un gusto compartir el día a día de las jornadas laborales.

Al ingeniero Miguel Villacrés por la dirección de esta tesis y por las enseñanzas impartidas en el transcurso de la carrera.

Elizabeth Encarnación Franco

DEDICATORIA

A Dios,

*A mis padres y a mi hermano, por
ser lo que más amo.*

Ely

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	1
SITUACIÓN INICIAL Y ENTORNO	1
1.1 EMPRESA INDIMA S.A.....	1
1.1.1 PRODUCTOS.....	1
1.1.2 MATERIALES EMPLEADOS.....	2
1.1.2.1 ACERO INOXIDABLE AISI 409.....	2
1.1.2.2 ACERO ALUMINIZADO ASTM A-463 DDS T1-40.....	3
1.1.2.3 ACERO AL CARBONO A-36.....	4
1.1.3 ELABORACIÓN DE SISTEMAS DE ESCAPE.....	5
1.1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN	6
1.1.3.1.1 BODEGA DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA.....	6
1.1.3.1.2 ÁREA INSPECCIÓN Y RECEPCIÓN DE MATERIALES	7
1.1.3.1.3 ÁREA DE TUBOS.....	7
1.1.3.1.4 ÁREA DE SILENCIADORES	7
1.1.3.1.5 ÁREA DE SOLDADURA.....	8
1.1.3.1.6 ÁREA DE INSPECCIÓN FINAL, ESTACIÓN CARE	8
1.1.3.1.7 ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO TERMINADO.....	8
1.1.4 ESQUEMA DE LA PLANTA.....	9
1.2 SOLDADURA ELÉCTRICA POR ARCO BAJO PROTECCIÓN DE GAS CON ALIMENTACIÓN CONTINUA DE ELECTRODO SÓLIDO (GMAW)	10
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	10
1.2.2 EQUIPO DE SOLDADURA EMPLEADO	12
1.2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DEL ARCO.....	13
1.2.4 TRANSFERENCIAS DEL METAL DE APORTE	14
1.2.4.1 TRANSFERENCIA CON ARCO CORTOCIRCUITO.....	15
1.2.4.2 TRANSFERENCIA SPRAY	17
1.2.4.3 TRANSFERENCIA GLOBULAR	17

1.2.4.4 TRANSFERENCIA ARCO POR PULSOS	18
1.2.4.5 TRANSFERENCIA POR TENSIÓN SUPERFICIAL	19
1.2.5 VARIABLES DE SOLDADURA.....	20
1.2.5.1 VARIABLES PRESELECCIONADAS	20
1.2.5.2 VARIABLES PRIMARIAS	21
1.2.5.2.1 VOLTAJE DE ARCO.....	21
1.2.5.2.2 CORRIENTE DE SOLDADURA	22
1.2.5.2.3 POLARIDAD	22
1.2.5.2.4 VELOCIDAD DE SOLDADURA	23
1.2.5.3 VARIABLES SECUNDARIAS	24
1.2.5.3.1 VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DEL ELECTRODO.....	24
1.2.5.3.2 EXTENSIÓN LIBRE DEL ELECTRODO (STICK OUT).....	25
1.2.5.3.3 ORIENTACIÓN DEL ELECTRODO	25
1.2.5.3.4 DISTANCIA ENTRE LA BOQUILLA Y LA PIEZA A SOLDAR.....	26
1.2.6 GASES DE PROTECCIÓN.....	27
1.2.6.1 DEFECTOS DEBIDO AL CUBRIMIENTO INCORRECTO DEL GAS DE PROTECCIÓN.....	29
1.2.7 SISTEMA DE CLASIFICACION DEL ALAMBRE ELECTRODO PARA PROCESO MIG	31
1.3 DEFECTOLOGÍA DE LAS UNIONES SOLDADAS.....	32
1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES.....	32
1.3.2 ESTUDIO DE LAS DISCONTINUIDADES Y DEFECTOS EN EL PROCESO DE SOLDADURA.....	33
1.3.2.1 POROSIDADES	33
1.3.2.2 FISURAS.....	35
1.3.2.3 FALTA DE FUSIÓN.....	36
1.3.2.4 FALTA DE PENETRACIÓN.....	37
1.3.2.5 EXCESO DE PENETRACIÓN	37
1.3.2.6 CONCAVIDADES.....	38

1.3.2.6.1	CONCAVIDAD EXTERNA (FALTA DE RELLENO)	38
1.3.2.6.2	CONCAVIDAD INTERNA	38
1.3.2.7	MORDEDURAS	39
1.3.2.8	QUEMADO	39
1.3.2.9	SALPICADURAS	40
1.3.2.10	INCLUSIONES DE ESCORIA	40
1.4	INSPECCIÓN DE SOLDADURA	42
1.4.1	MÉTODOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVOS	42
1.4.1.1	INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	43
1.4.1.1.1	TÉCNICAS DE MAGNETIZACIÓN	44
1.4.1.2	LOS ULTRASONIDOS	46
1.4.1.3	RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	48
1.4.1.3.1	RELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD DE RADIACIÓN Y LA DISTANCIA AL FOCO EMISOR	49
1.4.1.3.2	DEFECTOS DETECTABLES	50
1.4.1.4	INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES	51
1.4.1.4.1	FUNDAMENTOS DEL MÉTODO	51
1.4.1.4.2	CLASIFICACIÓN DE LOS LÍQUIDOS PENETRANTES	53
1.4.1.4.3	TINTES PENETRANTES	55
1.4.1.4.4	MÉTODOS DE APLICACIÓN DEL LÍQUIDO PENETRANTE	58
1.4.1.4.5	TIPOS DE REVELADORES	59
1.4.1.4.6	PENETRANTES FLUORESCENTES	59
1.4.1.4.7	ENSAYO DE FUGAS	60
1.4.1.5	INSPECCIÓN VISUAL	61
	CAPITULO 2	62
	JUNTAS DE SOLDADURA EMPLEADAS EN	62
	INDIMA S.A.	62
2.1	ESTUDIO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE JUNTAS EMPLEADAS	62

2.1.1	JUNTAS DE SOLDADURA EMPLEADAS PARA EL MODELO I-190 HEC (GASOLINA).....	63
2.1.2	JUNTAS DE SOLDADURA PARA EL MODELO I-190 DIESEL.....	69
2.2	ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE SOLDADURA.....	73
2.2.1	MATERIAL BASE	73
2.2.2	MATERIAL DE APORTE	74
2.2.3	GASES DE PROTECCIÓN.....	74
2.2.4	VOLTAJE Y CORRIENTE DE SOLDADURA.....	74
	 CAPITULO 3.....	 75
	DETERMINACIÓN DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO A IMPLEMENTAR	75
3.1	ESTUDIO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE CADA UNO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCIÓN EN INDIMA S.A.....	75
3.1.1	ANÁLISIS DEL END POR TINTAS PENETRANTES.....	76
3.1.2	ANÁLISIS DEL END POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.....	78
3.1.3	ANÁLISIS DEL END POR ULTRASONIDO.....	80
3.1.4	ANÁLISIS DEL END POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.....	81
3.2	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DISTINTOS ENSAYOS DE INSPECCIÓN.....	83
3.2.1	EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO.....	84
3.2.2	EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “COSTO”.....	85
3.2.3	EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “ADECUACIÓN”.....	86
3.2.4	EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “REALIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO”.....	86
3.2.5	EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “SEGURIDAD”.....	87

3.2.6	EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “MANTENIMIENTO”	87
3.2.7	CÁLCULO DE LA TABLA DE CONCLUSIONES	88
3.3	SELECCIÓN DEL ENSAYO DE INSPECCIÓN ÓPTIMO	88
CAPITULO 4.....		90
ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.....		90
4.1	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO	90
4.1.1	MATERIALES A EMPLEAR.....	90
4.1.2	FRECUENCIA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO	91
4.1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	93
4.1.3.1	SELECCIÓN DE LA MUESTRA A ENSAYAR	93
4.1.3.2	LIMPIEZA DE LOS COMPONENTES A ENSAYAR	93
4.1.3.3	APLICACIÓN DEL TINTE PENETRANTE	93
4.1.3.4	REMOCIÓN DEL EXCESO DE PENETRANTE.....	94
4.1.3.5	APLICACIÓN DEL REVELADOR	94
4.1.3.6	MEDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	95
4.1.3.7	LIMPIEZA FINAL DEL COMPONENTE ENSAYADO	96
4.1.3.8	ELABORACIÓN DEL REPORTE DE INSPECCIÓN IT-10-04-06-RE02....	97
4.1.4	CONSUMO DE LÍQUIDO PENETRANTE POR ENSAYO	99
4.2	ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DE LOS CORDONES DE SOLDADURA ENSAYADOS.....	99
4.3	DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE ENSAYO.....	103
4.3.1	DETERMINACIÓN DEL LUGAR APROPIADO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO	103
4.3.1.1	REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD PARA EL PERSONAL	103
4.3.1.2	DISPONIBILIDAD EN LA PLANTA DE INDIMA.....	103
4.4	CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE INDIMA S.A.	105
4.5	EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN LA PLANTA .	106

CAPITULO 5.....	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
5.1 CONCLUSIONES.....	107
5.2 RECOMENDACIONES	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Materiales empleados en la elaboración de los distintos sistemas de escape.....	5
Tabla 1.2	Mezclas comunes empleadas en la soldadura MIG.....	28
Tabla 1.3	Causas que provocan que el gas no proteja adecuadamente.....	30
Tabla 1.4	Tipos de porosidades que se pueden presentar en soldaduras.....	34
Tabla 1.5	Fisuras que se pueden presentar en las soldaduras.....	35
Tabla 1.6	Clasificación de los líquidos penetrantes según la norma ASTM E-165...	53
Tabla 2.1	Juntas de soldadura empleadas en el primer tramo I-190 HEC.....	63
Tabla 2.2	Juntas de soldadura empleadas en el segundo tramo I-190 HEC.....	65
Tabla 2.3	Juntas de soldadura empleadas en el tercer tramo I-190 HEC.....	67
Tabla 2.4	Juntas de soldadura empleadas en el primer tramo I-190 DCD.....	69
Tabla 2.5	Juntas de soldadura empleadas en el segundo tramo I-190 DCD.....	70
Tabla 2.6	Juntas de soldadura empleadas en el tercer tramo I-190 DCD.....	71
Tabla 2.7	Especificaciones del material base.....	73
Tabla 3.1	Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por tintas penetrantes.....	76
Tabla 3.2	Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por partículas magnéticas.....	78
Tabla 3.3	Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por ultrasonido.....	80
Tabla 3.4	Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por radiografía industrial.....	81
Tabla 3.5	Ponderación de cada criterio de evaluación.....	85
Tabla 3.6	Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Costo”.....	85
Tabla 3.7	Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Adecuación”.....	86

Tabla 3.8 Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Realización e interpretación del ensayo”	86
Tabla 3.9 Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Seguridad”	87
Tabla 3.10 Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Mantenimiento”	87
Tabla 3.11 Tabla de priorización de las alternativas de END a implementar	88
Tabla 4.1 Listado de materiales necesarios para la realización del ensayo por tintas penetrantes.....	91
Tabla 4.2 Tamaño de la muestra para Military Standard 105 D <small>(ANSI/ASQC Z1.4)</small>	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema de la distribución de planta en INDIMA S.A.	9
Figura 1.2	Esquema del proceso de soldadura GMAW	11
Figura 1.3	Esquema del equipo de soldadura GMAW	12
Figura 1.4	Casos de A, B y C de tamaño de gotas de electrodo.....	14
Figura 1.5	Relación de las variables de soldadura con la transferencia del electrodo.....	15
Figura 1.6	Transferencia Corto-circuito.....	16
Figura 1.7	Voltaje y corriente de soldadura para un ciclo por corto circuito	16
Figura 1.8	Transferencia Spray	17
Figura 1.9	Transferencia Globular	18
Figura 1.10	Transferencia por pulsos	19
Figura 1.11	Transferencia por tensión superficial	20
Figura 1.12	Efecto de la polaridad en el cordón de soldadura	23
Figura 1.13	Influencia de la velocidad de soldadura, a) Lenta, b) Media, c) Rápida....	24
Figura 1.14	Influencia de la orientación del electrodo, a) Técnica de empuje, b) Electrodo perpendicular, c) Técnica de arrastre.....	26
Figura 1.15	Influencia de la distancia de la boquilla sobre la forma del cordón.....	27
Figura 1.16	Falta de fusión causada por: (a) Junta mal alineada, (b) Abertura de raíz muy pequeña, (c) Ángulo de la junta muy pequeño, (d) Ángulo de la junta muy abierto, (e) Falta de fusión en el traslape del cordón, (f) Antorcha muy inclinada, (g) Velocidad de avance y tasa de deposición altas.....	36
Figura 1.17	Falta de penetración en una ranura “V”	37
Figura 1.18	Exceso de penetración	37
Figura 1.19	Concavidad externa.....	38
Figura 1.20	Refuerzo interno	38
Figura 1.21	Mordeduras en la soldadura	39
Figura 1.22	Quemado de soldadura	39
Figura 1.23	Escorias en el cordón de soldadura.....	41
Figura 1.24	Variación del campo magnético en grietas superficiales	43

Figura 1.25	Variación del campo magnético en grietas superficiales	44
Figura 1.26	Magnetización circular mediante puntas de contacto con manerales separados.....	44
Figura 1.27	Magnetización circular mediante puntas de contacto con manerales duales.....	45
Figura 1.28	Magnetización longitudinal con yugo magnético	45
Figura 1.29	Tipos de ondas sonoras para ensayos por ultrasonidos: a) onda longitudinal con reflexión; b) transmisión completa; c) onda transversal; d) onda superficial.....	48
Figura 1.30	Ángulo de contacto entre la superficie y el líquido	52
Figura 1.31	Procedimiento de inspección por tintes penetrantes	55
Figura 1.32	Limpieza mediante aplicación de líquido removedor.....	56
Figura 1.33	Aplicación de líquido penetrante en la zona a inspeccionar	57
Figura 1.34	Aplicación del revelador.....	57
Figura 1.35	Interpretación de resultados	58
Figura 4.1	Aplicación homogénea del tinte penetrante	94
Figura 4.2	(a) La distancia de aplicación debe estar comprendida entre 20 y 30cm; (b) El revelador debe ser aplicado homogéneamente	95
Figura 4.3	Fusión incompleta entre el metal base y el metal de aporte.....	100
Figura 4.4	Fusión incompleta entre cordones de soldadura.....	101
Figura 4.5	Cordón de soldadura ligeramente convexo.....	101
Figura 4.6	Defectos por socavado	102
Figura 4.7	La longitud acumulada de socavados debe ser menor a L/8	102
Figura 4.8	A) Área de trabajo del departamento de desarrollo; B) Área de inspección final	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1	Porcentaje de Ventas proyectadas por INDIMA S.A. para el año 2010.....	2
Gráfico 1.2	Curva característica del arco	13

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.1	Método de aplicación de los procesos A1-B1.....	54
Diagrama 1.2	Método de aplicación de los procesos A2-B2.....	54
Diagrama 1.3	Método de aplicación de los procesos A3-B3.....	55

RESUMEN

El desarrollo industrial, la reactivación económica del mercado ecuatoriano y la aparición de numerosas empresas productivas tanto a nivel nacional como internacional, han provocado un incremento en los niveles de competitividad empresarial, exigiendo el desarrollo de procesos cada vez más efectivos, eficaces y de mayor calidad.

INDIMA S.A. empresa productora de sistemas de escape y partes de automotores, a pesar de ser la única empresa a nivel nacional que elabora productos de equipo original para las ensambladoras de General Motors, Aymesa y Maresa, apunta siempre al mejoramiento continuo de sus procesos y productos, por esta razón, que ha decidido implementar un ensayo no destructivo para soldaduras que le permitirá controlar los estándares de calidad en los productos soldados suministrados a sus clientes.

En el capítulo 1 se realiza una breve descripción de la empresa INDIMA S.A., indicando brevemente su proceso productivo y las relaciones comerciales que maneja. Además se revisa, en términos generales, los conceptos correspondientes al proceso de soldadura GMAW, defectología de las uniones soldadas y fundamentos de ensayos no destructivos.

En el capítulo 2 se detallan los parámetros y variables de la soldadura con los cuales se fabrican los sistemas de escape en la empresa, tales como tipo de junta, materiales base, materiales de aporte, voltaje y corriente de soldadura, etc.

En el capítulo 3 se realiza un análisis comparativo entre distintos tipos de ensayos no destructivos para soldaduras, a fin de determinar el ensayo óptimo a implementar.

En el capítulo 4 se establece la metodología y se elabora una instrucción de trabajo para la realización del ensayo de soldadura, en base a las normas ASME V y AWS D 1.3.

En el capítulo 5 se exponen conclusiones y recomendaciones.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto tiene como fin implementar un ensayo no destructivo para soldaduras en la empresa INDIMA S.A. para controlar la calidad de sus uniones rígidas y garantizar que los sistemas de escape producidos cumplan con los requerimientos de sus clientes.

Los ensayos no destructivos para soldaduras se aplican ampliamente para asegurar la integridad de las uniones soldadas; gracias a ellos, es posible detectar defectos que pueden afectar la funcionalidad de los cordones soldados y por ende la de los componentes fabricados.

El análisis adecuado del ensayo a implementar, permitirá acoplar al proceso productivo de INDIMA S.A., un mecanismo de control de la calidad de la soldadura acorde a sus necesidades, requerimientos y recursos, contribuyendo de esta manera al “Proceso de Mejoramiento Continuo” que internamente se maneja en la empresa.

Para la implementación adecuada del ensayo no destructivo, el presente proyecto hace referencia en las normas y códigos internacionales que establecen los parámetros y requisitos con los cuales se han de ejecutar los ensayos de manera válida y satisfactoria.

CAPÍTULO 1

SITUACIÓN INICIAL Y ENTORNO

1.1 EMPRESA INDIMA S.A.

INDIMA S.A. es una industria metalmecánica productora de sistemas de escape y componentes automotrices, que abastece el mercado de autopartes ecuatoriano desde 1990.

Ubicada en la ciudad de Quito-Ecuador, tiene como clientes principales a GENERAL MOTORS-OMNIBUS BB, AYMESA, MARESA y GM VENEZUELA abarcando además el mercado de reposición en vehículos automotores para el público en general y centros autorizados.

Los sistemas de escape se fabrican de acuerdo a los diseños y requisitos técnicos homologados por las casas matrices o representantes locales de General Motors, Isuzu, Suzuki, Kia y Mazda.

1.1.1 PRODUCTOS

INDIMA S.A. elabora sistemas de escape como equipo original para las siguientes marcas de automotores: Mazda, Isuzu, Suzuki, Kia y Chevrolet

Paralelamente a la fabricación de sistemas de escape, la empresa brinda servicio de reposición y mantenimiento a través de la franquicia TecnoScape, a nivel nacional, para la cual elabora 41 tipos de silenciadores universales de todos los modelos y marcas de vehículos tanto para el público en general como para centros autorizados

Los productos de reposición fabricados, mantienen los niveles de calidad del equipo original y el servicio que se brinda en los talleres TecnoScape se lo realiza en instalaciones adecuadas y con personal capacitado.

Además, la empresa elabora coches para transporte de tanques de gas conocidos internamente como “coches movigas”, los cuales son suministrados mensualmente a KYWI.

A continuación en el Gráfico 1.1., se puede observar la proyección de ventas hacia los distintos clientes para el 2010.

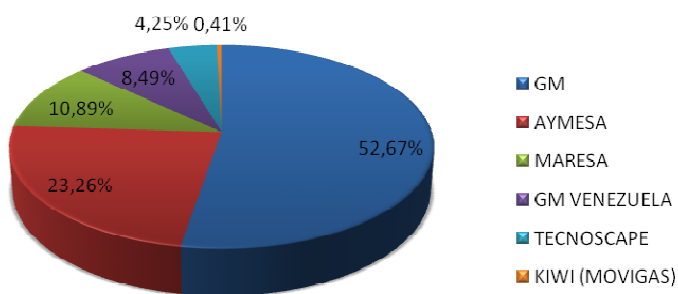


Gráfico 1.1. Porcentaje de Ventas proyectadas por INDIMA S.A. para el año 2010

Fuente: Forecast 2010, INDIMA S.A.

1.1.2 MATERIALES EMPLEADOS

Los distintos componentes que conforman los sistemas de escape son elaborados a partir de acero inoxidable AISI 409, acero aluminizado ASTM A-463 DDS T1-40, y acero estructural A-36.

1.1.2.1 Acero inoxidable AISI 409

El acero inoxidable ferrítico AISI 409 es empleado ampliamente en la industria automotriz, pues posee buena resistencia a la corrosión y oxidación, resistencia a la fatiga, esfuerzo a la ruptura, buena manufacturabilidad y soldabilidad. ^[1]

- Composición química ^[2]:

Carbono: máximo 0,03%

Silicio: máximo 1%

Manganeso: máximo 1%

Fósforo: máximo 0,04%

Azufre: máximo 0,015

Cromo: de 10,5% a 12,5%

Titanio: máximo 0,65%

- Propiedades mecánicas ^[3]:

Resistencia mínima a la tracción: 380 N/m²

Límite de fluencia: 220 N/m²

Elongación: mínimo 20%

1.1.2.2 Acero aluminizado ASTM A-463 DDS T1-40

El acero ASTM A-463 es un acero al carbono recubierto por ambas caras con una aleación de aluminio y silicio (90% de aluminio y 10% de silicio), aplicada mediante proceso continuo por inmersión en caliente.

Es especialmente apto para aplicaciones que requieran una elevada resistencia a la oxidación a altas temperaturas.

Gracias a su capacidad para resistir elevadas temperaturas, este acero es empleado en la fabricación de sistemas de escapes, pantallas térmicas, equipos de calefacción, calderas, conductos, intercambiadores de calor, hornos industriales, etc.^[4]

- Composición Química ^[5]:

Carbono: máximo 0,1

Manganeso: máximo 0,5

Fósforo: máximo 0,025

Azufre: máximo 0,035

- Propiedades mecánicas ^[6]:

Resistencia mínima a la tracción: 28 Kg/mm²

Elongación: 32%

Máxima temperatura de trabajo: 450 °C

1.1.2.3 Acero al carbono A-36 ^[7]

Este tipo de acero es una aleación de hierro (mínimo 98 %), con contenidos de carbono menores del 1 % y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar su resistencia, y fósforo, azufre, sílice y vanadio para mejorar su soldabilidad y resistencia a la intemperie. Entre sus ventajas está la gran resistencia a la tensión, a la compresión y su bajo costo.

- Composición Química:

Carbono: máximo 0,25%

Manganeso: 0,8 - 1,2%

Fósforo: máximo 0,04%

Azufre: máximo 0,05%

Silicio: máximo 0,4 %

- Propiedades mecánicas:

Resistencia mínima a la tracción: 58000 Psi, 400 MPa

Elongación: 32%

Límite de fluencia: 250 MPa, 36000 Psi, 2530 kgf/cm²

A continuación, en la Tabla 1.1 se presentan los distintos componentes elaborados a partir de la materia prima empleada:

Tabla 1.1. Materiales empleados en la elaboración de los distintos sistemas de escape

Fuente: Datos INDIMA S.A.

MATERIAL	COMPONENTE
Lámina de acero A36	Bridas
	Ganchos
Tubería acero inoxidable AISI 409 Tubería Acero aluminizado ASTM A-463DDS T1-40	Tubo de escape
Lámina de acero inoxidable AISI 409 Lámina de acero aluminizado ASTM A-463DDS T1-40	Cuerpos exteriores silenciador/ presilenciador
	Tapas cuerpos exteriores
	Separadores

1.1.3 ELABORACIÓN DE SISTEMAS DE ESCAPE

Los sistemas de escape se forman por tramos, tres o cuatro según el modelo, que contienen:

- Tubería de escape de los gases de combustión
- Catalizadores, para reducir los gases nocivos expedidos por el motor, aquí los hidrocarburos y el monóxido de carbono, son convertidos en dióxido de carbono y vapor de agua

- Silenciadores y presilenciadores, para reducir el ruido que producen los gases de escape a la salida del motor
- Juntas flexibles que absorben las vibraciones en los tubos de escape evitando su fractura
- Bridas mediante las cuales se pueden unir los distintos tramos
- Ganchos que permiten ensamblar los distintos tramos en el vehículo

1.1.3.1 Descripción del proceso de fabricación

El proceso productivo en INDIMA S.A. se lleva a cabo en las siguientes áreas:

- Bodega de almacenamiento de materia prima
- Área Inspección y recepción de materiales
- Área de Tubos
- Área de Silenciadores
- Área de Soldadura
- Área de Inspección final, Estación CARE
- Área de almacenamiento de producto terminado

En las áreas correspondientes a tubos, silenciadores, suelda e inspección final, se encuentran distribuidas hojas de procesos para cada actividad, mientras que en el área de inspección y recepción de materiales se lleva un control de calidad del producto en base a hojas de inspección establecidas.

1.1.3.1.1 Bodega de almacenamiento de materia prima:

La materia prima es almacenada en esta bodega para luego ser empleada en la elaboración de los distintos tramos de los sistemas de escape. Dentro de la bodega se pueden encontrar productos importados, catalizadores, juntas flexibles, bobinas de acero, lana de vidrio de roca material, entre otros.

1.1.3.1.2 Área Inspección y recepción de materiales:

En esta área se verifica la calidad del producto que se empleará en el proceso productivo. Cada material que ingresa, debe ser inspeccionado de acuerdo a los estándares registrados en hojas de inspección, llevando de esta manera un sistema de control de calidad de los componentes a emplear.

1.1.3.1.3 Área de Tubos:

En esta área se ejecutan los siguientes procesos:

- Corte de tubos según las especificaciones y dimensiones requeridas
- Perforado de los tubos que formarán parte de los cuerpos interiores (parte interna) de silenciadores y presilenciadores
- Doblado y aboquillado de tubería según los requerimientos
- Corte y eliminación de los excesos

1.1.3.1.4 Área de Silenciadores:

Los procesos que se llevan a cabo en esta área son:

- Cilindrado de láminas, de acero aluminizado e inoxidable, que constituirán los cuerpos exteriores de los silenciadores o presilenciadores a elaborar.
- Apuntado de las láminas, mediante soldadura electropunto, a fin de unir los extremos de la lamina cilindrada
- Ensamble del cuerpo interior de los silenciadores y presilenciadores, que estará conformado por tubos cortados, perforados y sin perforar, soldados a separadores mediante soldadura MIG
- Ensamble de cuerpos interiores y exteriores mediante una prensa hidráulica
- Apuntado de los cuerpos interiores a los exteriores para su fijación
- Colocación y sellado de tapas en los silenciadores mediante una máquina engrafadora

1.1.3.1.5 *Área de Soldadura:*

El rematado y ensamble de las distintas partes que conforman los tramos de los sistemas de escape, se lleva a cabo en esta área. El proceso empleado es la soldadura por arco bajo protección gaseosa con alimentación continua de electrodo GMAW, particularmente MIG pues se emplea AGA MIX 20 como gas de protección el cual es suministrado a través de una central de gases. El alambre electrodo de alimentación continua empleado es el ER70S-6. En INDIMA S.A. se emplean procesos semi-automáticos y automáticos para la soldadura de componentes; por lo que cuenta con ocho máquinas soldadoras semi-automáticas Fronius 3400, y dos soldadoras automáticas Fronius 2700 (en el Anexo A se detallan las especificaciones de las soldadoras Fronius). Para facilitar el proceso de soldadura, y garantizar que los componentes sean armados de acuerdo a los estándares requeridos, se emplean dispositivos de ensamble conocidos como “JIGS de ensamble y soldadura”.

1.1.3.1.6 *Área de Inspección final, Estación CARE:*

Todos los tramos producidos, son inspeccionados en esta área, verificando que cumplan con los requerimientos especificados por los clientes. La verificación se realiza de acuerdo a las Hojas de inspección final establecidas para cada producto terminado. En esta área se barnizan los cordones de soldadura y se realiza una prueba de fugas en cada tramo verificando que estas no sobrepasen los límites permisibles. En la estación de verificación CARE, se inspeccionan al 100% los productos terminados, y se marca en cada tramo el logotipo de la empresa y el número de la orden de producción.

1.1.3.1.7 *Área de almacenamiento de producto terminado:*

Finalmente los tramos son colocados en racks de almacenamiento y son ubicados ordenadamente en el área de producto terminado, para su posterior embalaje y transporte hacia los clientes.

1.1.4 ESQUEMA DE LA PLANTA

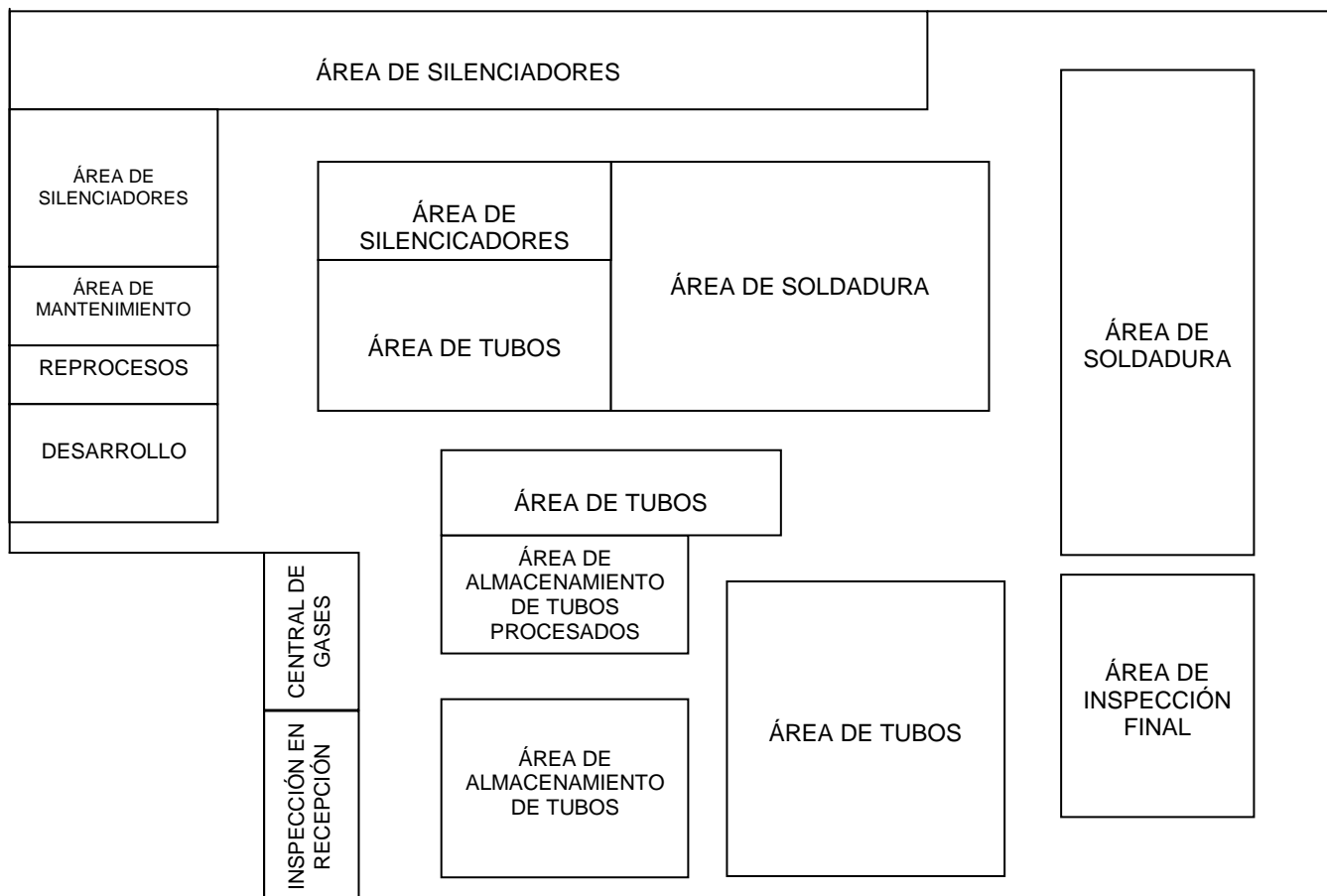


Figura 1.1 Esquema de la distribución de planta en INDIMA S.A.

1.2 SOLDADURA ELÉCTRICA POR ARCO BAJO PROTECCIÓN DE GAS CON ALIMENTACIÓN CONTINUA DE ELECTRODO SÓLIDO (GMAW)

A continuación se presentan las ventajas del empleo del sistema GMAW en la soldadura de aceros:^[8]

- Visibilidad del arco durante el proceso de soldadura
- Facilidad de manipulación, la pistola y los cables de soldadura son ligeros
- Es uno de los más versátiles entre todos los procesos de soldadura, es adecuado para soldar variedad de materiales, a altas velocidades y en todas las posiciones, además que puede ser utilizado en uniones de materiales de espesores delgados y medios,
- Rapidez de deposición
- Alto rendimiento, la alimentación continua del electrodo incrementa los niveles de productividad al eliminar los tiempos perdidos que se generan entre cambios de electrodos
- Posibilidad de automatización.

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el proceso de soldadura GMAW, la fusión del material se produce por calentamiento mediante un arco generado entre un electrodo continuo y la pieza a soldar, donde la protección del arco se obtiene del suministro externo de un gas, el cual protege el charco de soldadura de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco. En la Figura 1.2 se puede observar el esquema del proceso de soldadura GMAW.^[8]

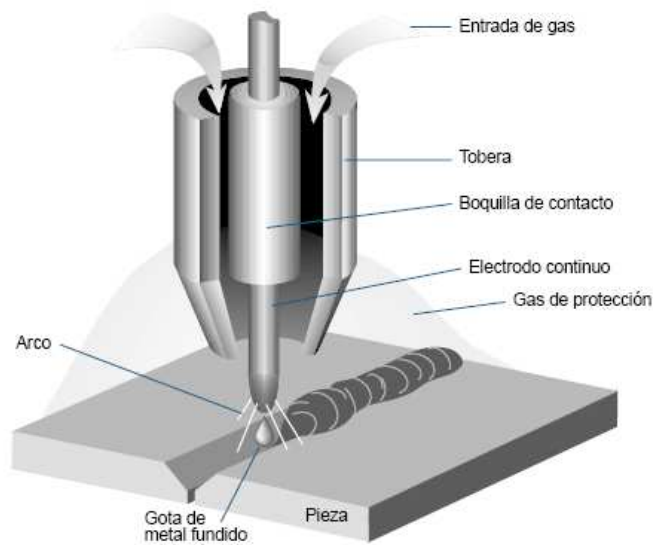


Figura 1.2 Esquema del proceso de soldadura GMAW

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

Durante este proceso de soldadura un sistema de alimentación continua impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el baño de fusión, mientras la pistola de soldadura se orienta y posiciona adecuadamente manteniendo una distancia de 10mm, generalmente, entre la tobera y la pieza.

El proceso de soldadura GMAW puede ser: ^[9]

- Semiautomático.- Si la tensión de arco, la velocidad de alimentación del alambre, la intensidad de corriente y el flujo de gas se regulan previamente, mientras que el arrastre de la pistola es manual.
- Automático.- Si todos los parámetros: tensión de arco, velocidad de alimentación del alambre, intensidad de corriente, flujo de gas y velocidad de soldadura, se regulan previamente, y se aplican en forma automática.
- Robotizado.- Si todos los parámetros y además las coordenadas de localización de la unión a soldar se programan y un robot es el encargado de ejecutar dicha programación.

1.2.2 EQUIPO DE SOLDADURA EMPLEADO ^[8]

Para el proceso de soldadura GMAW, se requiere el equipo que se detalla a continuación y cuya disposición se puede observar en la Figura 1.3

1. Fuente de poder que produce el voltaje y corrientes de arco
2. Alimentador que controla el avance continuo del alambre electrodo
3. Pistola de soldadura que permite dirigir directamente el alambre al área a soldar
4. Tanque de almacenamiento de gas protector, para evitar la contaminación del charco de soldadura.
5. Carrete de alambre con el tipo y diámetro específico de electrodo

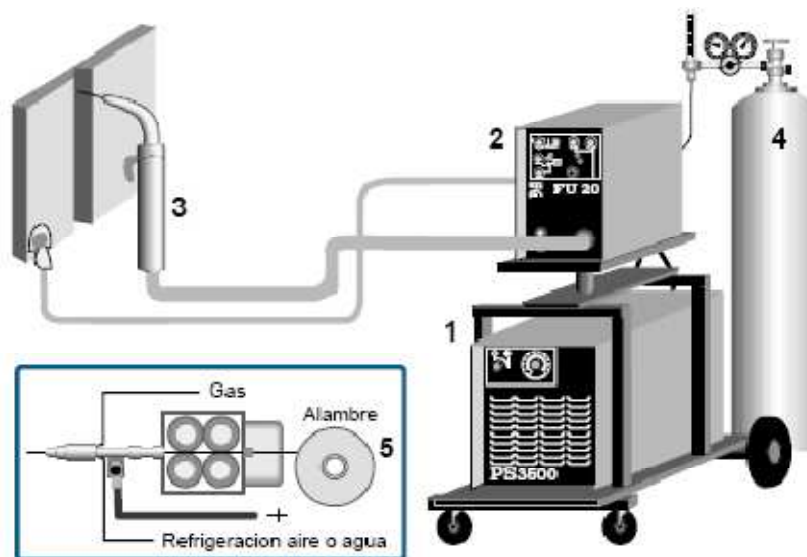


Figura 1.3 Esquema del equipo de soldadura GMAW

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

1.2.3 CURVA CARACTERÍSTICA DEL ARCO

La curva característica del arco se comporta de acuerdo a la Ley de Ohm, ecuación 1.1, la cual dice que si la resistencia se mantiene constante, el voltaje varía en relación directa a la corriente, es decir, que a mayor voltaje, mayor será la intensidad de corriente.

$$V = I \times R$$

(1.1)

En donde,

V = Voltaje [V]

I = Intensidad de corriente [A]

R = Resistencia [W]

Por lo tanto, la longitud de arco dependerá de la tensión seleccionada y de la velocidad de alimentación del alambre sólido.

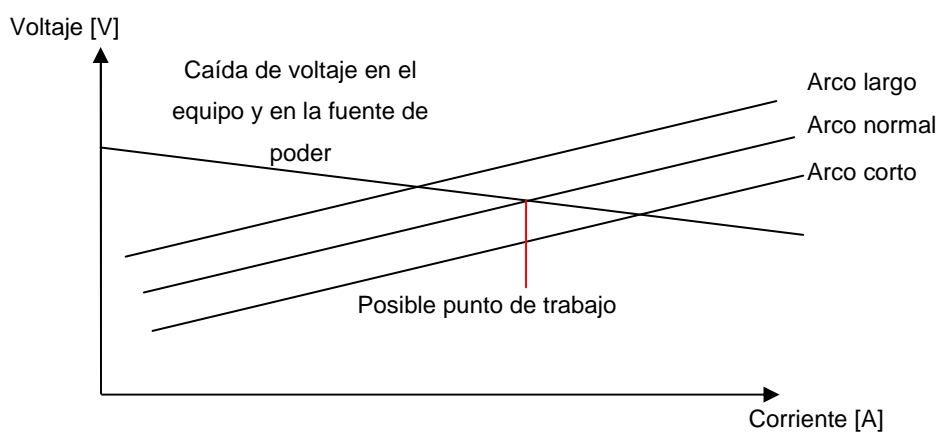


Gráfico 1.2 Curva característica del arco

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

1.2.4 TRANSFERENCIAS DEL METAL DE APORTE

El voltaje, amperaje y tipo de gas de protección, determinan la manera en la cual se transfiere el metal desde el electrodo hacia el charco de soldadura.

Para un diámetro dado de electrodo (d), una protección gaseosa específica y una cantidad de corriente determinada, el diámetro de las gotas transferidas (D) y la cantidad de ellas que son separadas desde el alambre electrodo por unidad de tiempo se presentan en los siguientes casos: ^[8]

Caso A: Las gotas crecen a un diámetro que es varias veces el diámetro del electrodo (Ver Figura 1.4), antes que éstas se separen, cuando se trabaja con valores de amperaje bajos. La velocidad de transferencia es sólo de varias gotas por segundo.

Caso B: El tamaño de las gotas decrece a un tamaño que es igual o menor que el diámetro del electrodo (Ver Figura 1.4), cuando se trabaja con valores intermedios de amperaje. La velocidad de transferencia aumenta a varios cientos por segundo.

Caso C: Las gotas son bastantes pequeñas (Ver Figura 1.4), cuando se trabaja con valores altos de amperaje. La velocidad de separación aumenta a medida que se incrementa la corriente.

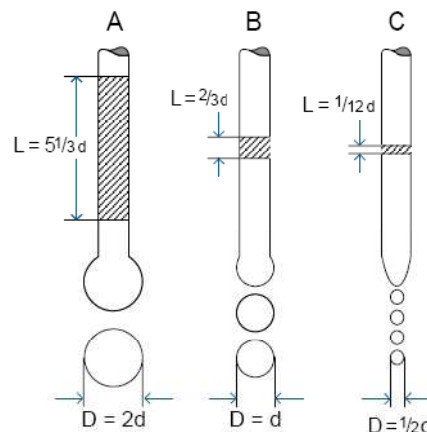


Figura 1.4 Casos de A, B y C de tamaño de gotas de electrodo

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

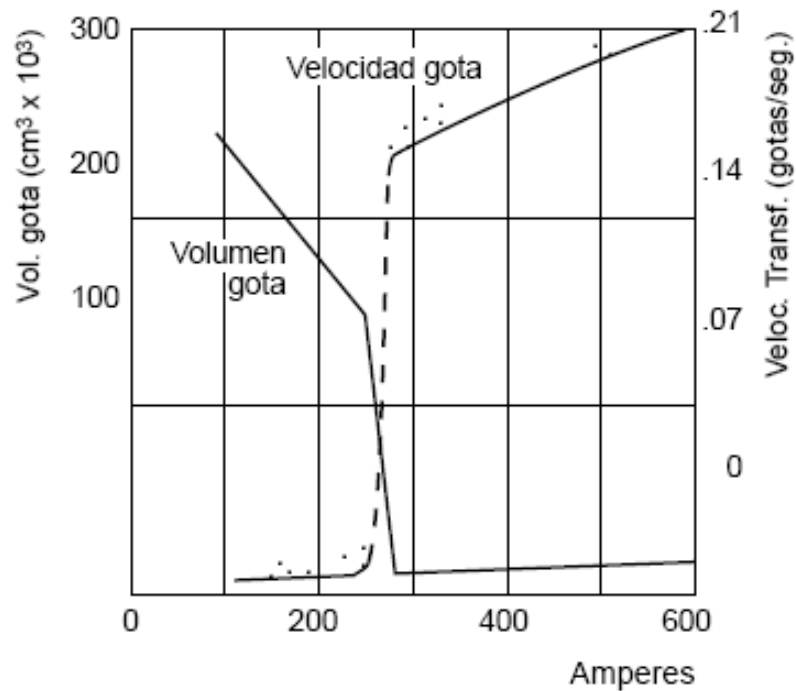


Figura 1.5 Relación de las variables de soldadura con la transferencia del electrodo

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

A continuación se detallan los diferentes tipos transferencia del electrodo para este proceso de soldadura.

1.2.4.1 Transferencia con arco cortocircuito

El arco cortocircuito se forma en presencia de CO₂ o con el empleo de gases mezclados. La transferencia no se lleva a cabo libremente a través del arco, sino que se deposita cuando la punta del electrodo toca el metal base. Los cortocircuitos producidos durante el contacto del electrodo con el charco de soldadura, pueden ocurrir hasta 200 o más veces por segundo; resultado un arco muy estable con uso de bajo amperaje y bajo calor.

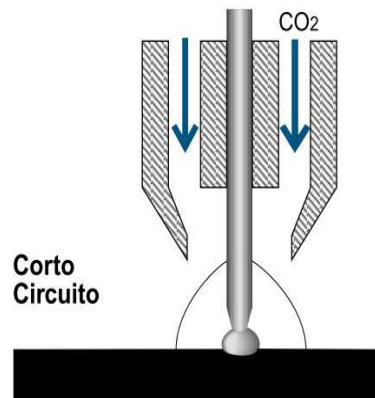


Figura 1.6 Transferencia Corto-circuito

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

En la Figura 1.7 se ilustra por medio de trazos oscilográficos, la secuencia del voltaje y de la corriente durante un ciclo típico de soldadura por corto circuito.

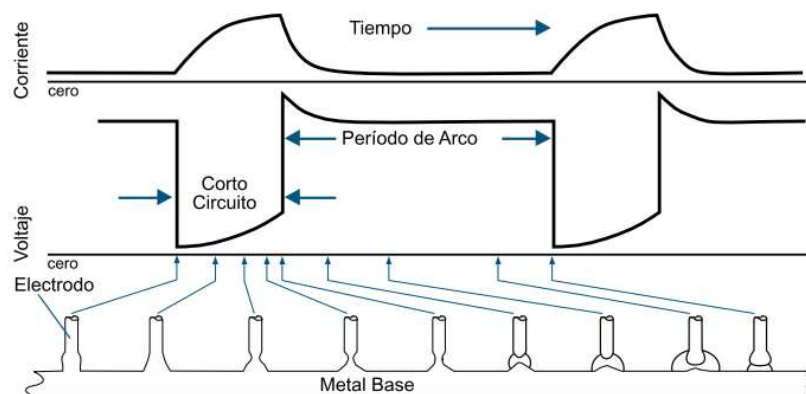


Figura 1.7 Voltaje y corriente de soldadura para un ciclo por corto circuito

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

La transferencia del alambre electrodo en INDIMA S.A. es mediante cortocircuito, empleando valores comprendidos entre 18,5 a 24,5 V y 144 a 218 A.

1.2.4.2 Transferencia Spray

El arco spray se forma solamente con el uso de argón o mezcla de gases con un alto contenido de argón en voltajes superiores a 25 V, en aceros inoxidable y metales no ferrosos como el aluminio. El metal de aporte se transfiere en pequeñas gotas y a altas velocidades (100-300 gotas/seg) desde el alambre electrodo hacia el charco de soldadura. La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la orientación del electrodo. ^[8]

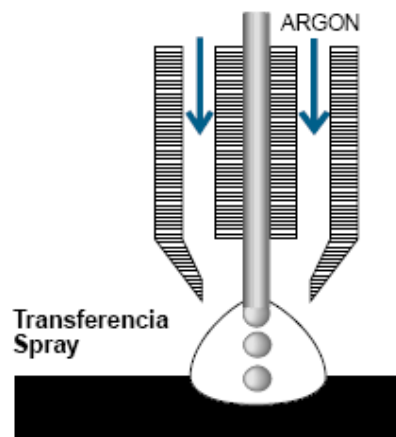


Figura 1.8 Transferencia Spray

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

1.2.4.3 Transferencia globular

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño. La separación de las gotas ocurre cuando su peso excede la tensión superficial que tiende a mantenerlas en la punta del electrodo. La fuerza electromagnética que actúa para separar la gota, es pequeña en relación a la fuerza de gravedad. Este tipo de transferencia se utiliza para soldar acero dulce en espesores mayores a ½" (12,7 mm.), en donde se requiere gran penetración.

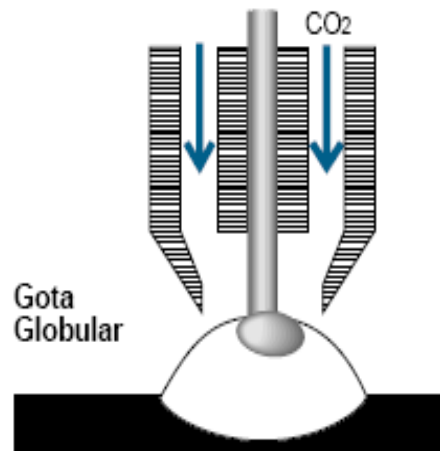


Figura 1.9 Transferencia Globular

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

1.2.4.4 Transferencia arco por pulsos

El arco por pulsos se desarrolló con el fin de reducir las salpicaduras generadas con el arco cortocircuito. Para producir este tipo de transferencia, se alterna el arco a una determinada frecuencia entre el arco corto y el arco spray de tal manera que la transferencia de las gotas de electrodo nunca ocurra en cortocircuito. Lo ideal es que por cada pulso se transfiera una gota al charco de soldadura. Dado que en la soldadura de arco pulsado se deben calibrar cinco parámetros adicionales, los equipos de soldadura empleados deben ser calibrados de acuerdo a los parámetros de las curvas características, siendo el único parámetro a calibrar la velocidad de alimentación del alambre electrodo. Sin embargo, para trabajos prácticos es necesario determinar las curvas de trabajo las cuales pueden variar respecto a las curvas características o “curvas de sinergia” establecidas por la máquina. ^[10]

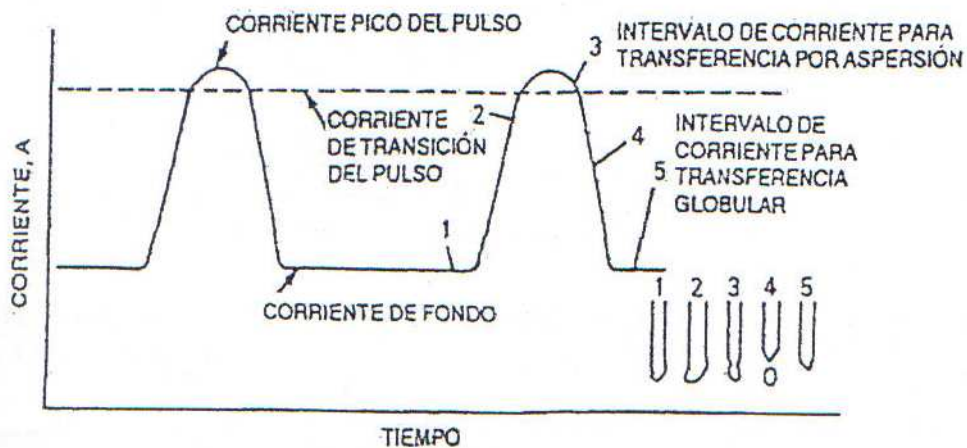


Figura 1.10 Transferencia por pulsos

Fuente: Folleto Laboratorio de Soldadura, EPN^[13]

1.2.4.5 Transferencia por tensión superficial^[11]

Es un proceso de transferencia por cortocircuito controlado, que adapta la forma de onda al arco de soldadura y al metal de aporte (Ver figura 1.11.). El metal de aporte se transfiere al charco de soldadura cuando se separa del electrodo por tensión superficial y se deposita suavemente sin provocar salpicaduras.

Esta transferencia presenta grandes ventajas cuando se sueldan materiales delgados y en el pase raíz.

Es muy útil para la soldadura de acero inoxidable y aleaciones afines, así como aceros suaves y de alta resistencia. Para aceros inoxidables pueden utilizarse varios gases de protección incluyendo mezclas de argón y helio.

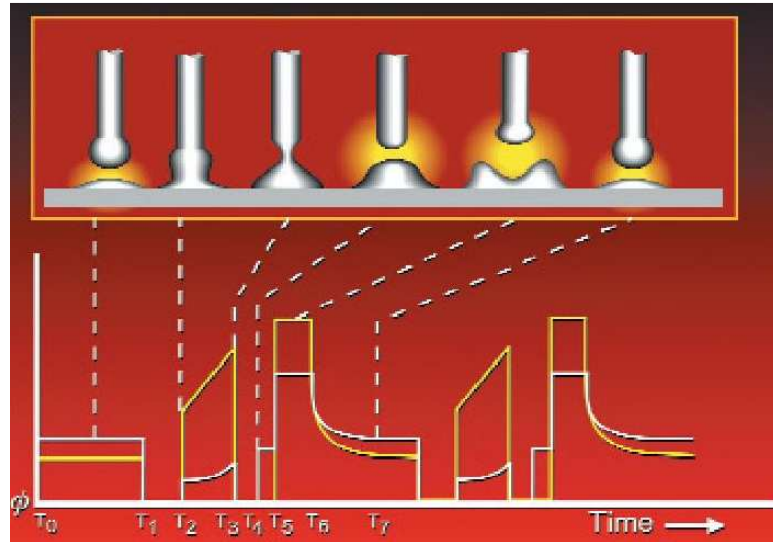


Figura 1.11 Transferencia por tensión superficial

Fuente: Catálogo Lincoln Electric^[11]

1.2.5 VARIABLES DE SOLDADURA

El control de las variables de soldadura que afectan al proceso GMAW, es esencial para garantizar que el cordón cumpla con los estándares requeridos.

Al no ser completamente independientes, el cambio en el valor de alguna variable, generalmente requiere una modificación en alguna o en varias de las otras a fin de obtener el resultado esperado; la variación dependerá del tipo de metal base, metal de aporte, posición de la soldadura, y los requerimientos de la calidad. ^[12]

1.2.5.1 Variables preseleccionadas ^[13]

Son aquellos parámetros fijados previamente y que no varían durante el proceso de soldadura, estas variables son:

- Diámetro del alambre electrodo
- Composición química del alambre electrodo
- Tipo y flujo del gas de protección

1.2.5.2 Variables primarias

Estas variables afectan directamente al cordón de soldadura, determinan su forma, penetración, cantidad depositada de electrodo, etc. ^[13]

1.2.5.2.1 *Voltaje de arco* ^[12]

El voltaje del arco en el proceso GMAW es una variable crítica que debe ser controlada cuidadosamente y está estrechamente relacionado con la longitud de arco.

Los arcos demasiado largos tienden a desviarse y afectan la penetración y el perfil de soldadura, interrumpiendo además el efecto del gas de protección; si el arco es demasiado corto, la punta del electrodo puede entrar en corto-circuito con el charco de soldadura causando inestabilidad.

Si se mantienen constantes todas las variables, se puede medir la longitud física del arco, en términos eléctricos, a partir del voltaje de arco, pues este último se puede monitorear con mayor facilidad.

Los valores del voltaje del arco varían dependiendo del tipo de material a soldar, del tipo de gas de protección y del tipo de transferencia de metal de aporte.

Para determinar el valor óptimo de voltaje a emplear, se deben realizar ensayos a fin de obtener las características más favorables de arco y de la apariencia del cordón de soldadura. El voltaje de arco depende de una variedad de factores, como el espesor del material base, el tipo de junta, la posición de soldadura, el tamaño del electrodo, la composición del gas protector y el tipo de soldadura (soldaduras de ranura o filete, por ejemplo).

Un aumento del voltaje de arco, respecto al valor óptimo establecido, tiende a incrementar el ancho de la zona de fusión y a aplanar el cordón de soldadura; el incremento excesivo genera porosidad, salpicaduras y socavado; una reducción en el voltaje, provoca un cordón de soldadura más angosto, penetración más profunda, y sobremonta más alta.

1.2.5.2.2 Corriente de soldadura ^[12]

La corriente de soldadura varía en una relación no lineal respecto a la velocidad de alimentación del electrodo, o rata de fusión, cuando las demás variables permanecen constantes. Si se trabaja con una fuente de potencia de voltaje constante, cuando se varíe la velocidad de alimentación del electrodo, el amperaje variará en forma similar. La relación entre la velocidad de alimentación del electrodo y la corriente de soldadura, depende de la composición química del electrodo.

Un incremento en la corriente de soldadura o velocidad de alimentación del electrodo provocará a su vez aumento en la penetración de la soldadura (profundidad y ancho del cordón), aumento en la rata de deposición y aumento en el tamaño del cordón de soldadura

1.2.5.2.3 Polaridad ^[12]

La polaridad es el tipo de conexión eléctrica entre la pistola de soldadura y los terminales de una fuente de potencia que produzca corriente continua.

La polaridad indirecta, conocida como corriente directa electrodo positivo (DCEP) se obtiene cuando el cable de la pistola se conecta al terminal positivo de la fuente de potencia, esta condición genera cordones anchos y de poca penetración

La polaridad directa, conocida como corriente continua electrodo negativo (DCEN), se obtiene cuando el cable de la pistola se conecta al terminal negativo de la fuente y da lugar a cordones estrechos y de buena penetración.

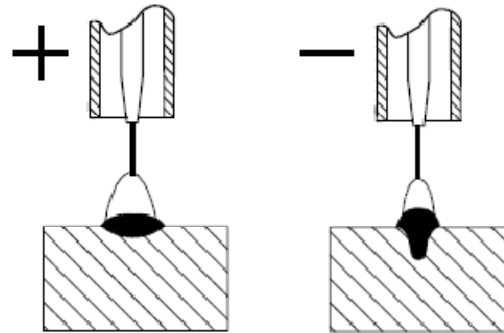


Figura 1.12 Efecto de la polaridad en el cordón de soldadura

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

1.2.5.2.4 *Velocidad de soldadura*

Es la tasa de movimiento lineal del arco a lo largo de la junta a soldar. Cuando las demás variables se mantienen constantes, se obtiene una penetración de soldadura máxima con una velocidad de soldadura intermedia,

Cuando se trabaja con velocidades muy bajas, se reduce la penetración y se obtienen cordones de soldaduras anchos, pues el arco actúa más en el charco de metal de soldadura que sobre el metal base.

A medida que la velocidad de soldadura se incrementa, se disminuye la energía térmica, por unidad de longitud de soldadura, transferida al metal base; si se aumenta aún más esta velocidad, se tenderá a producir socavado en los bordes del cordón de soldadura debido a la insuficiente deposición de electrodo.

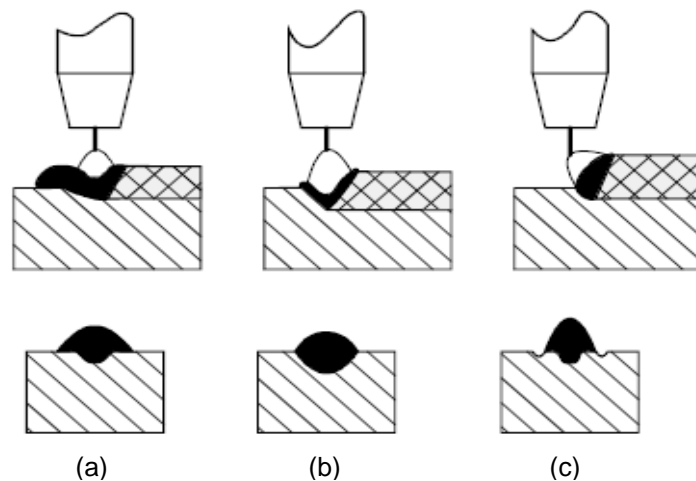


Figura 1.13 Influencia de la velocidad de soldadura, a) Lenta, b) Media, c) Rápida

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

1.2.5.3 Variables secundarias

Los parámetros secundarios ejercen una influencia en el inicio y el final de una soldadura; no ejercen influencia directa sobre el cordón de soldadura, pero sí sobre las variables primarias. ^[13]

1.2.5.3.1 Velocidad de alimentación del electrodo

La velocidad de alimentación del alambre electrodo, determina y regula la tasa de deposición del metal de aporte, por lo tanto, se debe fijar la alimentación del alambre de tal manera que el cordón de soldadura obtenido presente las características requeridas. La corriente de soldadura varía proporcionalmente con la velocidad de alimentación; así, si la velocidad aumenta, la corriente también se incrementa y si disminuye, la intensidad de corriente se reducirá. ^[12]

1.2.5.3.2 **Extensión libre del electrodo (stick out)**^[12]

La Extensión libre del electrodo es la distancia entre el extremo de la boquilla y la punta del electrodo. Cuando se aumenta esta distancia aumenta la resistencia eléctrica del alambre electrodo, provocando que su temperatura se eleve, resultando en un pequeño incremento de la rata de fusión.

El incremento de la resistencia eléctrica produce una caída de voltaje mayor entre la punta del electrodo y el metal base, para compensar este incremento, la fuente de potencia reduce la corriente, disminuyendo a su vez la tasa de fusión del electrodo y acortando la longitud del arco; como consecuencia se depositarán cordones de soldadura angostos y sobremona alta.

La extensión del electrodo deseable está generalmente entre $\frac{1}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " (6 a 12 mm) para la transferencia por corto circuito y de $\frac{1}{2}$ " a 1" (12 a 25 mm) para la transferencia por spray.

1.2.5.3.3 **Orientación del electrodo**^[12]

La forma del cordón de soldadura y la penetración se ven afectadas por la orientación del electrodo respecto a la junta a soldar; este efecto, es mayor que el del voltaje de arco o velocidad de avance.

La orientación del electrodo puede variar según:

- La relación entre el eje del electrodo y la dirección de desplazamiento (ángulo de desplazamiento); la técnica de soldadura es conocida como soldadura de arrastre cuando el electrodo apunta en la dirección opuesta a la dirección del desplazamiento, y cuando el electrodo apunta en la dirección del desplazamiento la técnica se conoce como soldadura de empuje. El efecto en el ancho y penetración del cordón se ilustra en la Figura 1.14
- El ángulo entre el eje del electrodo y la superficie de la pieza de trabajo (ángulo de trabajo); en la posición plana se obtiene una máxima penetración

empleando un ángulo de arrastre de 25° con respecto a la perpendicular, además que se produce un cordón de soldadura mas convexo y angosto, un arco con mayor estabilidad y menos salpicaduras. El ángulo de soldadura que generalmente se utiliza, para todas las posiciones, está entre 5° y 15° , a fin de mantener un control y protección del charco de soldadura. Cuando se requiere soldar una junta filete en l posición horizontal, el electrodo deberá colocarse a unos 45° respecto a la vertical, como s e puede observar en la Figura 1.14

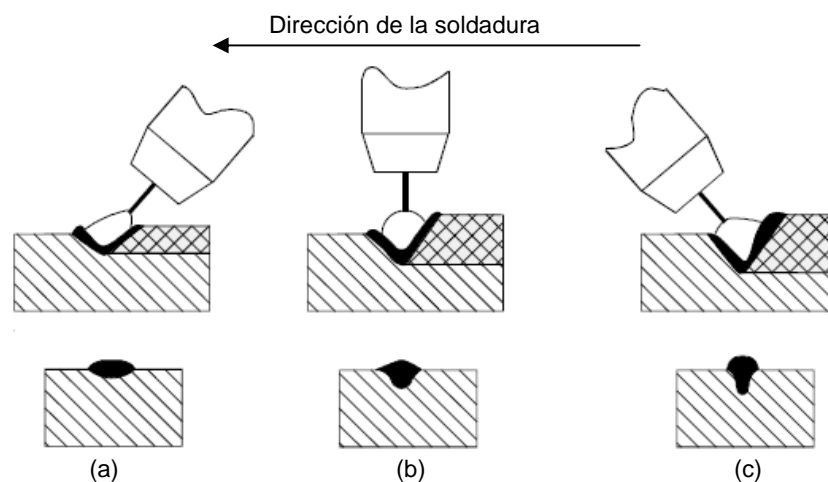


Figura 1.14 Influencia de la orientación del electrodo, a) Técnica de empuje, b) Electrodo perpendicular, c) Técnica de arrastre

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

1.2.5.3.4 Distancia entre la boquilla y la pieza a soldar

Esta distancia desempeña un rol importante en la determinación de la penetración del cordón de soldadura, Ver figura 1.15. La regla que se puede seguir para regular esta distancia es la siguiente:

$$\text{Diámetro del cable [mm]} \times 10 = \text{distancia de la antorcha [mm]}$$

(1.2)

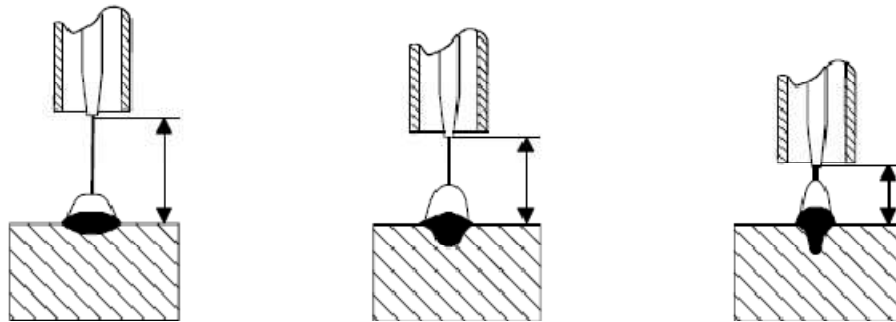


Figura 1.15 Influencia de la distancia de la boquilla sobre la forma del cordón

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

1.2.6 GASES DE PROTECCIÓN ^[8]

Los gases de protección se emplean para evitar que el arco de soldadura sea contaminado por nitrógeno, oxígeno o vapor de agua presentes en el ambiente; de tal manera que las propiedades del cordón de soldadura se vean afectadas.

Los gases empleados para este fin pueden ser inertes o activos, de ahí el proceso será conocido como MIG cuando se empleen gases inertes o MAG cuando sean usados gases activos

Para la soldadura de metales no ferrosos es necesario el uso de gases inertes como el Argón, Helio y mezclas de Argón-Helio; debido a que ellos no reaccionan con los metales. Sin embargo, para la soldadura de metales ferrosos se pueden emplear tanto gases inertes como activos.

Entre los gases de protección activos, empleados se encuentran el dióxido de carbono, mezclas de dióxido de carbono, o gases que contienen algún porcentaje de Oxígeno. Estos gases al no ser químicamente inertes pueden formar compuestos con los metales.

A continuación se enumeran los factores que se deben considerar cuando se debe seleccionar el tipo de gas de protección a emplear:

1. Tipo y características del metal base.
2. Arco y tipo de transferencia metálica.
3. Velocidad de soldadura.
4. Penetración, ancho y forma del cordón de soldadura.
5. Disponibilidad y costo del gas

En la siguiente tabla se pueden observar las aplicaciones y mezclas más comunes empleadas en la soldadura MIG para las transferencias Spray y corto-circuito.

Tabla 1.2. Mezclas comunes empleadas en la soldadura MIG

Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura^[8]

METAL BASE	TRANSFERENCIA SPRAY	TRANSFERENCIA CORTO-CIRCUITO
Acero Inoxidable	Argón + 2% CO ₂ Argón + 1% O ₂ Argón + 2% O ₂	90% Helio+ 7,5% Argón + 2,5% CO ₂
Aceros al carbono y de baja aleación	Argón + 2% O ₂ Argón + 20% CO ₂ Argón + 5% CO ₂ Argón + 8% CO ₂	CO ₂ Argón + 20% CO ₂ Argón + 5% CO ₂ Argón + 8% CO ₂

Aluminio y Magnesio	Argón Helio Argón + 25% Helio Argón + 75% Helio	
Cobre	Helio Argón + 25% Helio Argón + 50% Helio Argón + 75% Helio	

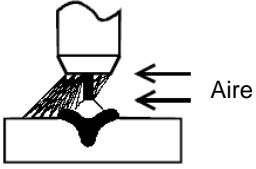
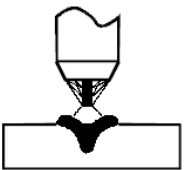
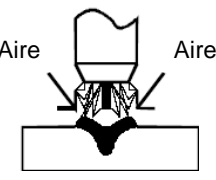
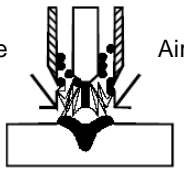
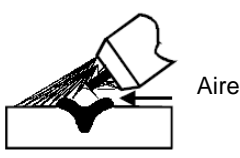
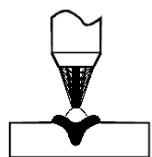
1.2.6.1 Defectos debido al cubrimiento incorrecto del gas de protección

La deficiente protección del gas genera porosidad en el cordón de soldadura, pues gases tales como el oxígeno y el nitrógeno, presentes en la atmósfera, pueden ingresar a la zona de soldadura generando poros, muchos de los cuales no se extienden hasta la superficie dificultando su detección. Generalmente la deficiente protección del gas se debe a que las antorchas de soldadura no se encuentran debidamente mantenidas o calibradas. ^[10]

A continuación en la Tabla 1.3 se pueden observar distintas causas que provocan que el gas de protección no actúe adecuadamente:

Tabla 1.3. Causas que provocan que el gas no proteja adecuadamente

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

ILUSTRACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA
 <p>A diagram showing a torch tip positioned above a weld joint. Three arrows labeled 'Aire' point from the left towards the torch, representing air currents that disturb the protective gas shield.</p>	Corrientes de aire disturbios en el gas de protección	Porosidad en la soldadura
 <p>A diagram showing a torch tip positioned above a weld joint. The protective gas shield is shown as a narrow, conical flow that does not fully cover the weld pool.</p>	Flujo de gas muy bajo	Porosidad en la soldadura
 <p>A diagram showing a torch tip positioned above a weld joint. Two arrows labeled 'Aire' point from the sides into the weld pool, indicating that the high gas flow rate causes air to penetrate the molten metal.</p>	Flujo de gas muy alto	Porosidad en la soldadura, por la penetración de aire al charco
 <p>A diagram showing a torch tip positioned above a weld joint. The torch has a narrow exit, and two arrows labeled 'Aire' point from the sides into the weld pool, indicating air penetration due to the narrow exit.</p>	Tobera con salida muy angosta	Porosidad en la soldadura, por la penetración de aire al charco
 <p>A diagram showing a torch tip positioned above a weld joint. The torch is held at a very small angle to the workpiece, and an arrow labeled 'Aire' points from the side into the weld pool, indicating air penetration.</p>	Angulo de la antorcha muy pequeño	Porosidad en la soldadura, por la penetración de aire al charco
 <p>A diagram showing a torch tip positioned above a weld joint. The torch is held at a significant distance from the workpiece, resulting in a wide, diffuse protective gas shield.</p>	Distancia de la antorcha muy larga	Porosidad en la soldadura

1.2.7 SISTEMA DE CLASIFICACION DEL ALAMBRE ELECTRODO PARA PROCESO MIG^[8]

Según la AWS los electrodos de alambre sólido para el proceso GMAW, se clasifican usando una serie de números y letras, cuyo significado está basado en las propiedades mecánicas del depósito de soldadura y su composición química. Para aceros al carbono la clasificación del electrodo se detalla a continuación:

ER-XXS-Y

En donde,

La letra E indica electrodo

La letra R indica varilla

Los dos dígitos siguientes o tres, (XX), indican la resistencia a la tracción en miles de libras/pulg².

La letra S indica que el tipo de alambre es sólido.

El dígito o letra y dígito (Y) indica la composición química especial del electrodo.

1.3 DEFECTOLOGÍA DE LAS UNIONES SOLDADAS

Para garantizar la calidad de una unión soldada es importante que los elementos producidos sean sometidos a una exhaustiva inspección, a fin de determinar los defectos o discontinuidades que puedan existir y que podrán ocasionar su fallo.

La defectología de la soldadura establece los tipos de discontinuidades que producen efectos negativos sobre las uniones rígidas y que según las especificaciones dadas por las normas (criterios de aceptación y rechazo) pueden llegar a considerarse como defectos de soldadura.^[14]

Los dos términos, discontinuidad y defecto, ampliamente usados en la defectología, se describen a continuación:^[14]

- **Discontinuidad** es una alteración en la forma normal de un material y es denominada así hasta determinar el efecto que causa sobre el material o la pieza estudiada.
- **Defecto** es una discontinuidad cuyo efecto sobre el material es negativo e inaceptable con respecto a las especificaciones de las normas, sin embargo si se establece que este efecto no sobrepasa dichas especificaciones entonces deja de ser defecto y simplemente será una discontinuidad.

1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES^[14]

Las discontinuidades pueden clasificarse según el momento en que se producen, así se tienen:

- **Discontinuidades inherentes.-** son aquellas que se producen en el momento de producción inicial del material en el estado de fusión, un ejemplo podría ser una inclusión de silicio o alúmina en una plancha de acero debida a una desoxidación del acero con silicio o aluminio.
- **Discontinuidades de proceso.-** estas se producen en procesos posteriores a la fabricación del material o en procesos de terminado o acabado, como

por ejemplo las inclusiones de escoria o las mordeduras presentes en la soldadura

- **Discontinuidades por servicio.-** se producen ya sea por situaciones ambientales o de carga cuando el material, pieza o elemento se encuentran ya en situación de trabajo. Estas discontinuidades incluyen las roturas por fatiga, agujeros debido a la corrosión, etc.

Según el lugar en el que se producen pueden ser Internas o Superficiales.

1.3.2 ESTUDIO DE LAS DISCONTINUIDADES Y DEFECTOS EN EL PROCESO DE SOLDADURA

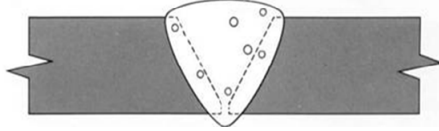
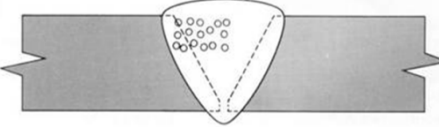
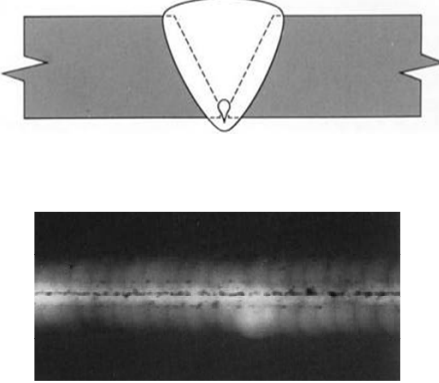

Cuando se realiza un cordón de soldadura, las discontinuidades pueden ser provocadas por diferentes factores tales como el voltaje, intensidad, tipo de corriente, polaridad, humedad, posición de soldadura, etc., obteniendo así diferentes formas de alteraciones en el cordón pudiendo ser estas aceptadas o rechazadas según lo determinen las normas correspondientes.

1.3.2.1 Porosidades

Las porosidades son discontinuidades que se presentan en el cordón de soldadura en el momento de la solidificación del metal depositado y debido a la formación de burbujas de gas que se introducen en el mismo. Suelen tener forma esférica y en algunos casos son alargadas. A continuación, en la Tabla 1.4, se detallan los distintos tipos de porosidades que se pueden presentar con las respectivas causas que las producen: ^[14]

Tabla 1.4. Tipos de porosidades que se pueden presentar en soldaduras

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue^[14]

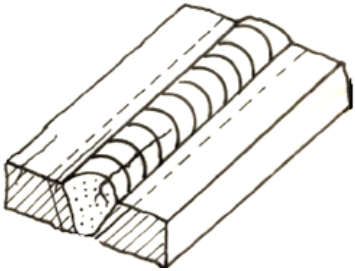
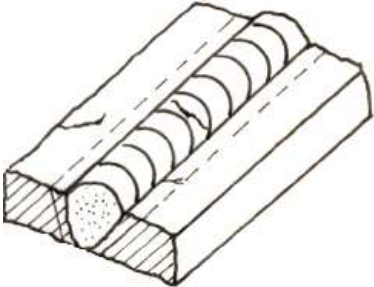
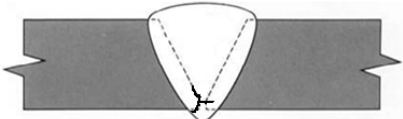
TIPO	CAUSA	FIGURA
Porosidad esférica	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad del arco - Oxidación de las partes - Utilización de un electrodo húmedo - Variación en la relación voltaje-amperaje-velocidad, si es el caso de soldadura automática 	
Nido de poros	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad excesiva en el revestimiento del electrodo - Presencia de algún agente oxidante, incluso el mismo óxido generalmente presente en el bisel 	
Porosidad alineada	<ul style="list-style-type: none"> - Acumulación de hidrógeno en el cordón por la mala preparación de la junta en la soldadura automática de alta velocidad (inadecuada separación de los biseles). - Mala regulación de las variables con respecto al tipo de fundente que se usa en procesos automáticos. 	
Porosidad alargada o vermicular	<ul style="list-style-type: none"> - Inclusión de gran cantidad de gas en el metal fundido que solidifica rápidamente en la superficie 	

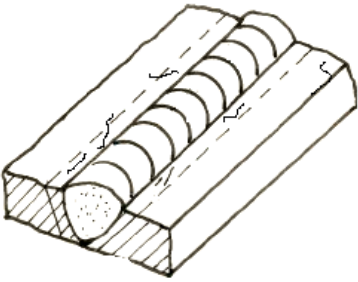
1.3.2.2 Fisuras

Las fisuras en las soldaduras se producen debido a la presencia de tensiones locales que en algún punto son superiores a la carga de ruptura del material. Cuando las grietas o fisuras se producen durante o como resultado de la soldadura, la deformación aparente es pequeña. A continuación, en la Tabla 1.5, de detallan los tipos de fisuras que se pueden presentar: ^[14]

Tabla 1.5. Fisuras que se pueden presentar en las soldaduras

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue^[14]

TIPO	CAUSA	FIGURA
Fisuras longitudinales (a) de solidificación (b) de licuación	<ul style="list-style-type: none"> - Enfriamiento brusco de la soldadura - Falta de precalentamiento - Soldadura de piezas de grandes espesores 	
Fisuras Transversales	<ul style="list-style-type: none"> - Material base con alto o bajo contenido de carbono - Presencia de impurezas en el metal base - Alta velocidad de enfriamiento - Alto contenido de hidrógeno en la zona fundida 	
Fisuras de interrupción o arranque	<ul style="list-style-type: none"> - Interrupción del proceso de soldadura - Cambio brusco de temperatura del material 	

<p>Fisuras alrededor del cordón</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Material base duro - Material base de gran espesor - Falta de precalentamiento de material base - Liberación de hidrógeno en la soldadura 	
--	--	--

1.3.2.3 Falta de fusión

La falta de fusión puede producirse en cualquier punto de la unión soldada y ser continuas, o se pueden generar en puntos aislados. La falta de fusión ocurre cuando el material base no se funde con el material de aporte consumible y generalmente no puede ser detectada visualmente. Existe un alto riesgo que se produzca falta de fusión del material cuando el voltaje de arco y la velocidad de avance no son calibrados. Se produce también, falta de fusión cuando la junta empleada no está diseñada con los parámetros correctos, está desalineada o está mal preparada, cuando el cordón de soldadura impide que la fusión de material avance, o cuando la orientación de la antorcha no es la adecuada. ^[14]

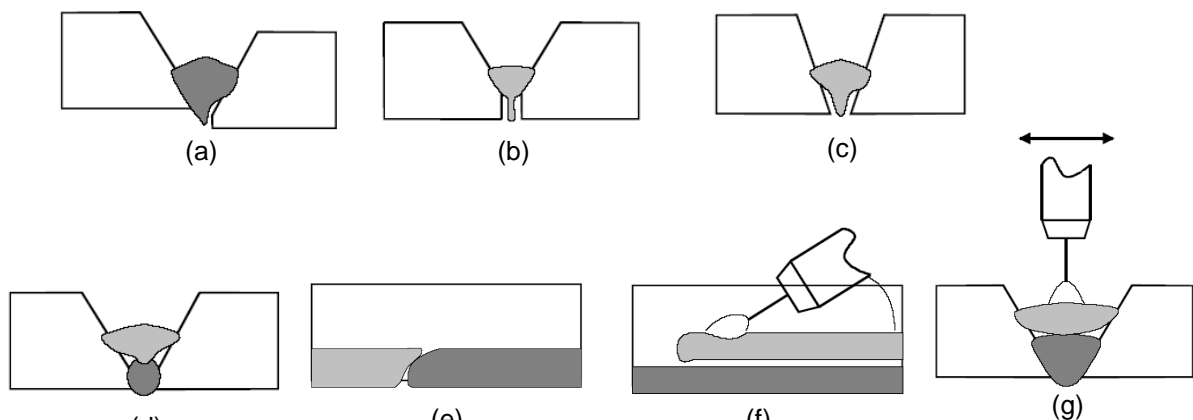


Figura 1.16 Falta de fusión causada por: (a) Junta mal alineada, (b) Abertura de raíz muy pequeña, (c) Ángulo de la junta muy pequeño, (d) Ángulo de la junta muy abierto, (e) Falta de fusión en el traslape del cordón, (f) Antorcha muy inclinada, (g) Velocidad de avance y tasa de deposición altas

1.3.2.4 Falta de penetración

Este defecto se produce cuando no se ha llegado a fundir todo el metal base en la raíz y falta metal de aportación en la misma. El origen más frecuente es el disponer de un bisel inadecuado para el proceso de soldadura utilizado. Entre las principales causas se pueden encontrar: ^[14]

- Baja intensidad de corriente lo que provoca deficiente aportación de calor del arco
- Arco excesivamente largo.
- Excesiva velocidad de soldadura en la primera pasada.
- Excesiva altura del talón.
- Deficiente separación entre talones.
- Ángulo de bisel excesivamente agudo

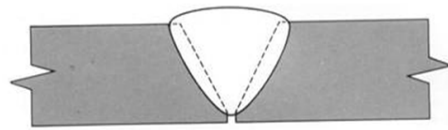


Figura 1.17 Falta de penetración en una ranura "V"

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue^[14]

1.3.2.5 Exceso de penetración

Se produce por la penetración del electrodo dentro de los bisel. Este exceso de penetración produce que el material fluya internamente pudiendo retener escoria en su interior

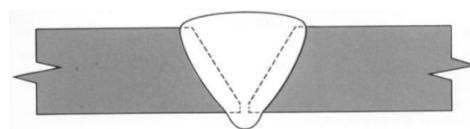


Figura 1.18 Exceso de penetración

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue^[14]

1.3.2.6 Concavidades

Son discontinuidades conocidas también como sopladuras o carencia de material. Pueden ser internas o externas. ^[14]

1.3.2.6.1 *Concavidad externa (falta de relleno)* ^[14]

Se produce por deficiente depósito de material de aporte en el cordón de soldadura, lo que provoca que se disminuya el refuerzo externo como se puede observar en la figura 1.19:

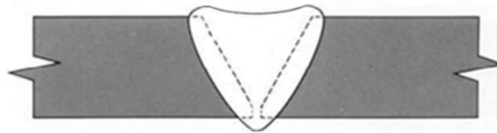


Figura 1.19 Concavidad externa

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue ^[14]

1.3.2.6.2 *Concavidad interna*

Se produce en la primera pasada del cordón de soldadura, el cual al enfriarse disminuye su espesor hasta ser menor que el del metal base, lo cual genera un insuficiente refuerzo interno, como se indica en la Figura 1.20:

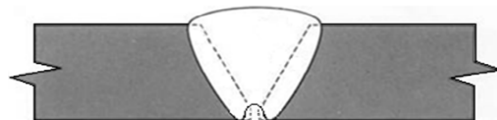


Figura 1.20 Refuerzo interno

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue ^[14]

1.3.2.7 Mordeduras

Las mordeduras son cavidades que se forman junto al cordón de soldadura y que disminuyen la resistencia del material en esa área.

Las mordeduras pueden ser generadas por muchas causas, como la mala calibración de los parámetros de soldadura, empleo de electrodos húmedos, alta velocidad de deposición posiciones con arco largo o voltaje alto, soldaduras con posición sobrecabeza, o mala posición de la antorcha. ^[14]

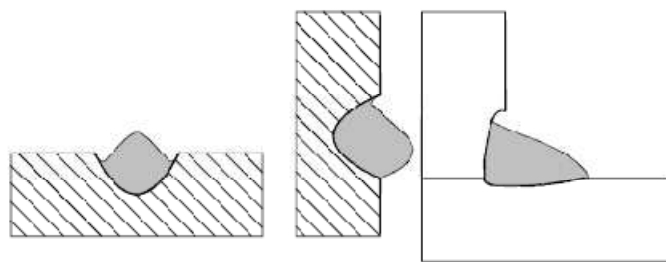


Figura 1.21 Mordeduras en la soldadura

Fuente: GMAW, Basic Principles, General Motors^[10]

1.3.2.8 Quemado

Es resultado de la penetración excesiva, la cual provoca que el material de aporte penetre dentro de la soldadura soplándose.

Se puede producir por trabajo con corrientes elevadas, velocidades de avance lentas, manejo incorrecto de electrodo, y demás factores que generan un calor excesivo en la soldadura, llegando a producir incluso una destrucción completa de biseles. ^[14]

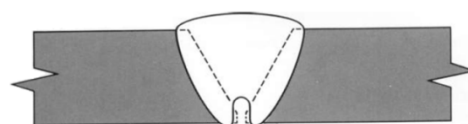


Figura 1.22 Quemado de soldadura

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue^[14]

1.3.2.9 Salpicaduras [14]

Las salpicaduras, son gotas de material fundido que no ingresan al charco de soldadura sino, que se solidifican en el contorno del cordón.

Las salpicaduras afectan a la apariencia de la soldadura y en caso que el material esté recubierto con pintura anticorrosiva, la deterioran.

Este defecto puede ser producido por una mala selección del alambre electrodo, del gas de protección, de los parámetros de soldadura o de la posición de la antorcha.

Un bajo contenido de carbono en el alambre electrodo y una mezcla de gases apropiada pueden disminuir las salpicaduras

La calibración de los parámetros de soldadura también es muy importante para evitar las salpicaduras, pues el arco cortocircuito genera mayor chisporroteo, razón por la cual se lo debe evitar y sustituir por el arco por pulsos. Una pequeña longitud libre del electrodo y una posición adecuada de la boquilla, también permitirán disminuir este efecto.

1.3.2.10 Inclusiones de escoria [14]

Las inclusiones de escoria son los óxidos y otros sólidos que se encuentran en el interior de las soldaduras ya sea en forma alargada o globular.

Durante la deposición del metal de aporte y la posterior solidificación del metal, se producen reacciones químicas entre el metal fundido y los componentes del revestimiento del electrodo o con la escoria producida. Muchos de estos compuestos son no metálicos y muy poco solubles en el metal fundido. Debido a la diferencia de densidades, estas inclusiones tienden a subir a la superficie del metal.

Las causas que pueden originar inclusiones de escoria son:

- Un bisel en “V” muy agudo y poco accesible.
- Socavaciones entre cordones.
- Cordones muy convexos.
- Falta de limpieza entre pasadas.
- Posición de soldadura.

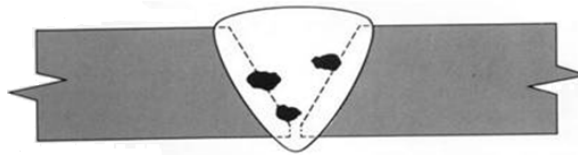


Figura 1.23 Escorias en el cordón de soldadura

Fuente: Lab. END, Universidad Nacional de Comahue^[14]

1.4 INSPECCIÓN DE SOLDADURA

Mediante los procesos de inspección se pueden evaluar algunas características de una unión soldada, tales como dimensiones y forma de los cordones de soldadura, así como también permiten determinar la presencia de discontinuidades en dichos cordones. ^[15]

Las discontinuidades en los cordones son las imperfecciones dentro o adyacentes a la soldadura, que pueden o no, dependiendo de su tamaño y/o ubicación, disminuir la resistencia para la cual fue diseñada; estas discontinuidades se denominan *defectos de soldadura*, y pueden ser causa de falla del componente soldado, reduciendo la resistencia de la unión a través de concentraciones de esfuerzos. ^[15]

Los ensayos no destructivos para soldaduras son aquellos que permiten determinar si los cordones presentan o no defectos de soldadura, empleando métodos que no dañan el material de los componentes en estudio ni alteran su utilidad. ^[16]

1.4.1 MÉTODOS DE INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVOS

Los métodos de inspección no destructivos deben ser indicadores claros de los defectos presentes en soldaduras, además que deben permitir una fácil interpretación y evaluación de resultados. Las pruebas no destructivas se aplican ampliamente para verificar la integridad de soldaduras; gracias a ellas, es posible detectar grietas, porosidades, penetraciones incompletas, inclusiones, socavamientos y defectos similares que pueden afectar la resistencia de la soldadura. ^[16]

1.4.1.1 Inspección por Partículas Magnéticas ^[16]

Este método de inspección se limita para materiales ferromagnéticos, es decir, se puede llevar a cabo en aceros y fundiciones. Los pasos principales para la ejecución de este ensayo se detallan a continuación:

- a) **Magnetización del componente a ensayar**, mediante la aplicación de una fuerza magnetizante, que inducirá un campo magnético en el componente, la magnitud del campo formado dependerá de la permeabilidad del material. Cuando las líneas de flujo del campo inducido encuentran a su paso una discontinuidad, se deforman, salen de la pieza y atraviesan el aire formando un campo de fuga.

- b) **Aplicación de partículas magnetizables sobre el campo magnético formado**, las cuales quedan atrapadas en el campo de fuga, dando una indicación de discontinuidad. Si hay una pequeña discontinuidad, el campo magnético de la pieza de trabajo, establece un polo norte magnético en un lado de dicha discontinuidad y un polo sur en el otro extremo; las partículas magnéticas son atraídas por estos polos marcando así la discontinuidad y permaneciendo sobre ella. En la Figura 1.24, se puede apreciar la variación del campo magnético cuando se presentan discontinuidades superficiales, mientras en la Figura 1.25 se observa la variación del campo cuando se presentan grietas sub-superficiales.

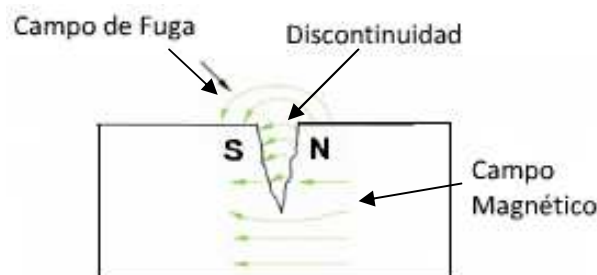


Figura 1.24 Variación del campo magnético en grietas superficiales

Fuente: Tutorial partículas magnéticas^[25]

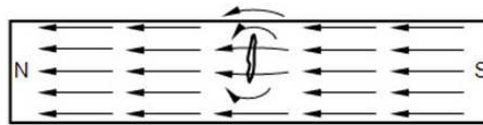


Figura 1.25 Variación del campo magnético en grietas superficiales

Fuente: Tutorial partículas magnéticas^[25]

Para que el ensayo sea efectuado satisfactoriamente, la superficie tiene que estar limpia y bastante lisa, especialmente si se quieren detectar las grietas de la zona inmediata inferior, aunque el método no es adecuado si los defectos están a gran distancia de la superficie; los defectos situados a una profundidad mayor de 12,5mm resultan apenas detectables.

1.4.1.1.1 Técnicas de magnetización:

Las técnicas para magnetizar una junta soldada son:

- **Magnetización Circular:** Que puede llevarse a cabo a través de una inducción indirecta (corriente no circula por la pieza) con un conductor central o mediante inducción directa (corriente circula por la pieza) a través de puntas o carga directa (heat shot)

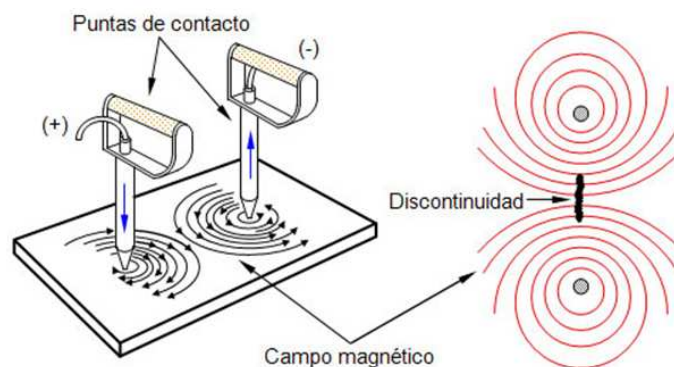


Figura 1.26. Magnetización circular mediante puntas de contacto con manerales separados

Fuente: Tutorial partículas magnéticas^[25]

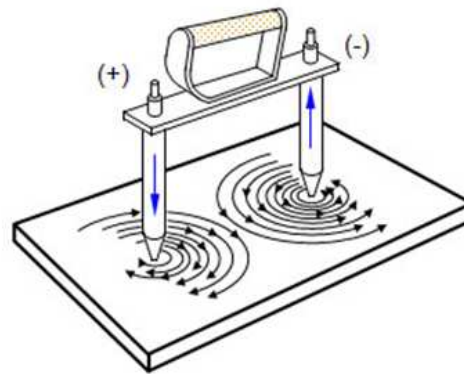


Figura 1.27. Magnetización circular mediante puntas de contacto con manerales duales

Fuente: Tutorial partículas magnéticas^[25]

- **Magnetización Longitudinal:** Se puede generar un campo con inducción indirecta mediante el uso de bobinas rígidas, bobinas flexibles o con yugo magnético (Ver figura 1.28)

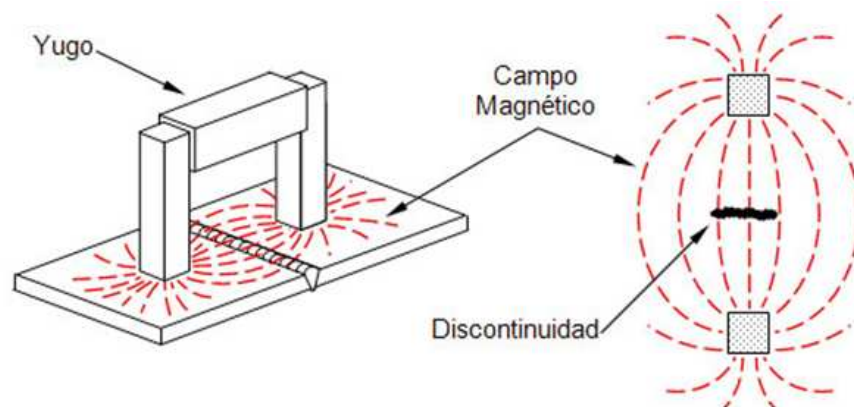


Figura 1.28. Magnetización longitudinal con yugo magnético

Fuente: Tutorial partículas magnéticas^[25]

La pieza puede ser magnetizada en dos direcciones en ángulo recto para asegurar que el campo magnético forme aproximadamente un ángulo recto con las fracturas. El poderoso campo magnético requerido es producido por

un transformador de bajo voltaje capaz de soportar corrientes de 600 a 1000 A y aún superiores.

Cuando existen variaciones en la permeabilidad magnética de la pieza de trabajo o diferencias en el contenido de carbono, las indicaciones dadas por este método pueden resultar falsas, pues se puede producir una indicación positiva con este método en el límite entre las variaciones antes mencionadas. También puede producirse una indicación en el punto donde un objeto metálico ha sido arrastrado sobre la pieza a ensayar o en el punto correspondiente a una soldadura a tope por presión y chispa.

El mejor método para desmagnetizar el componente ensayado consiste en someterlo a un campo magnético de 50 ciclos, cuya fuerza se hace lentamente disminuir. El método actualmente más utilizado consiste en conectar el cable a las conexiones de corriente alterna de la máquina y dar dos vueltas alrededor de la pieza, los terminales de la punta de contacto son cortocircuitados sobre cualquier pieza de metal; entonces la pieza ensayada es retirada lentamente de las espiras del solenoide, o bien se retira lentamente el arrollamiento de la pieza de trabajo.

Este método de ensayo puede ser utilizado para poner de manifiesto una gran variedad de defectos en las soldaduras, tales como fusión incompleta, porosidad, inclusiones de escoria y otros. Probablemente la utilización más importante de este procedimiento reside en la comprobación de las soldaduras en ángulo. ^[18]

1.4.1.2 Los ultrasonidos ^[16]

El ensayo por Ultrasonido se basa en la generación o propagación de ondas sonoras a través del material; por lo tanto es empleado para detectar discontinuidades internas superficiales, en materiales que transmiten ondas elásticas.

Para efectuar ensayos por ultrasonidos se utilizan frecuencias de 1 a 10 megaciclos, siendo una frecuencia comúnmente utilizada la de 2,25 megaciclos. Normalmente el defecto más pequeño que puede ser detectado con un examen, empleando ultrasonidos, es del mismo orden de magnitud que la longitud de la onda sonora utilizada.

El principio de funcionamiento consiste en un generador de frecuencias que envía corriente alterna a un cristal explorador, el cual convierte la energía eléctrica en energía acústica; esta onda acústica es disparada sobre el material que desea examinarse. Si hay un defecto tal como una grieta dentro del material, la onda acústica se refleja sobre la superficie de la grieta y vuelve al cristal explorador como un eco; dicho eco proviene del lado más próximo de la grieta. El eco actúa sobre el cristal cíclicamente, el cual responde generando una corriente alterna de la misma frecuencia que el eco que recibe. El voltaje alterno generado en el cristal se amplifica entonces y se aplica a las placas horizontales de un oscilógrafo de rayos catódicos. Un pequeño defecto devuelve un eco débil, el cual aparece como un pequeño segmento vertical en la pantalla, mientras que un defecto grande aparece como un segmento mayor.

Varios tipos de ondas acústicas mostrados en los esquemas de la Figura 1.29. se utilizan para ensayos por ultrasonidos. El haz recto de la Figura 1.29. es una onda longitudinal enviada perpendicularmente a la superficie de la pieza ensayada, la presencia de un defecto tiene que ser detectada como una pérdida del poder acústico debida a la interrupción del defecto en el camino de la onda acústica, bajo cuyo estímulo las partículas vibrantes del metal avanzan y retroceden en el camino seguido por el haz.

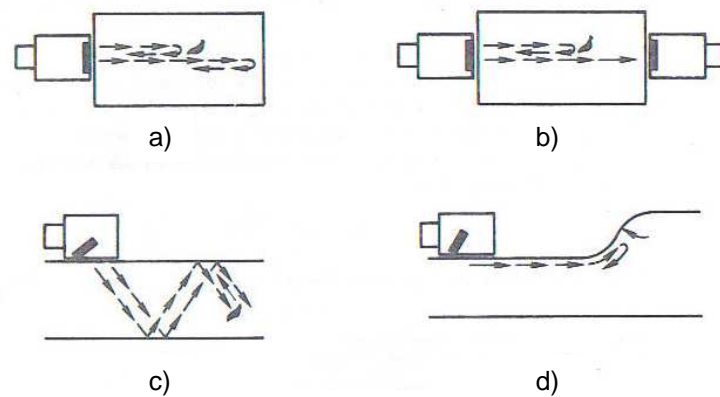


Figura 1.29. Tipos de ondas sonoras para ensayos por ultrasonidos: a) onda longitudinal con reflexión; b) transmisión completa; c) onda transversal; d) onda superficial

Fuente: Ciencia y técnica de la soldadura^[16]

La inspección mediante ultrasonido es aplicable en soldaduras de chapas de medio y gran espesor.

1.4.1.3 Radiografía industrial

Es el método no destructivo más eficaz para la inspección de soldaduras. Sigue los principios generales de la fotografía, excepto que, en vez de luz visible, utiliza radiación de onda corta muy penetrante dentro de la zona de los rayos X.^[16]

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz (300.000 km/s), aunque tienen menor longitud de onda, mayor energía y más penetración. Estos rayos no sufren desviación alguna por efecto de campos magnéticos o eléctricos (no son partículas cargadas, ni sus espines están orientados); se propagan por tanto en línea recta, excitan la fosforescencia e impresionan placas fotográficas.^[19]

La principal característica de los rayos X es que atraviesan los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, siendo absorbidos en mayor o menor grado según el espesor y la densidad del material, y la longitud de onda de la radiación. Los

defectos de los materiales como grietas, poros, inclusiones, etc. de distintas densidades, absorben las radiaciones en distinta proporción que el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en la placa fotográfica colocada detrás de la pieza. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía. ^[19]

Para facilitar la labor se usan colecciones de radiografías patrón, en las cuales los defectos están claramente identificados para unas condiciones dadas de tipo de material y tipo de soldadura

Este ensayo es aplicable en soldaduras en planta, en soldaduras en montaje, en fundiciones y en materiales de medianos y grandes espesores.

1.4.1.3.1 Relación entre la intensidad de radiación y la distancia al foco emisor ^[16]

Los rayos X divergen cuando son emitidos y cubren un espacio cada vez mayor con una intensidad que disminuye al aumentar la distancia de la fuente que los produjo, Ver ecuación 1.3.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

(1.3)

En donde,

I_1 e I_2 son las intensidades de los rayos X o gamma

d_1 y d_2 son las distancias de la fuente

En relación a los tiempos fotográficos de exposición se tendrá:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

(1.4)

En donde,

t_1 y t_2 son los tiempos de exposición requeridos

Las ecuaciones (1.3) y (1.4) representan la ley del cuadrado de la distancia, que determina el tiempo e intensidad de exposición a los rayos X.

1.4.1.3.2 **Defectos detectables**

Los defectos más fácilmente detectables son aquellos cuya máxima dimensión está orientada en la dirección de propagación de los rayos X. Son difícilmente detectables los defectos de poco espesor, aunque sean muy extensos, dispuestos perpendicularmente a la dirección de las radiaciones. Por este motivo el objeto debe ser examinado en distintas direcciones. ^[19]

Los defectos que pueden ser determinados mediante radiografía industrial son los siguientes: ^[19]

- Cavidades y porosidades (sopladuras)
- Inclusiones sólidas (escorias)
- Fisuras o microgrietas
- Falta de penetración
- Falta de fusión (despego)
- Mordeduras
- Exceso de penetración (descuelgue)

1.4.1.4 Inspección por Líquidos Penetrantes ^[16]

El ensayo no destructivo por líquidos penetrantes permite detectar defectos abiertos a la superficie, tales como grietas, fisuras y poros. Es aplicable en metales (ferrosos y no ferrosos), en materiales cerámicos, plásticos y vidrios que no sean porosos ni presenten rugosidad excesiva o escamado.

Este tipo de inspección se distingue porque es prácticamente independiente de la forma o geometría de la pieza a examinar, requiere un equipamiento mínimo y permite obtener una gran sensibilidad en la detección de fisuras (superior a la que se puede lograr con radiografía, ultrasonido o corrientes parásitas).

1.4.1.4.1 *Fundamentos del método* ^[27]

Este método de inspección se fundamenta en la capacidad que poseen ciertos líquidos para penetrar y ser retenidos en discontinuidades presentes en la superficie que no pueden ser detectadas visualmente; esta propiedad se denomina capilaridad y depende de la mojabilidad que poseen los líquidos.

La mojabilidad depende fundamentalmente de la tensión superficial del penetrante y del ángulo de contacto que forma con la superficie.

Al depositar una gota de líquido sobre una superficie tendremos un punto en el cual se pueden considerar aplicadas tres fuerzas debidas a la tensión superficial; una correspondiente a la interface sólido-aire (σ_s), otra a la interface líquido-aire (σ_e), y la tercera a la interface líquido-sólido (σ_{es}), (ver Figura 1.30). Si la gota no se extiende en la superficie existirá un equilibrio entre las tres fuerzas y por lo tanto:

$$\sigma_s = \sigma_{es} + \sigma_e \cos\theta$$

(1.5)

El líquido moja la superficie cuando $\sigma_s > \sigma_{es}$. Para mantener el equilibrio $\cos \theta$ debe ser mayor que cero, es decir que el ángulo θ que forma la interface líquido-aire con la interface líquido-sólido debe ser menor que 90° . En caso contrario, si el líquido no moja la superficie θ será mayor que 90° .

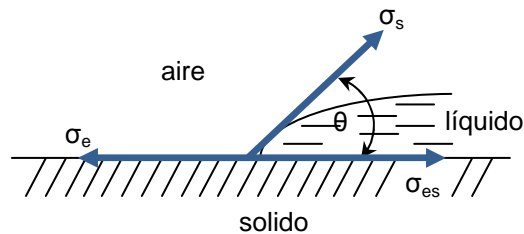


Figura 1.30 Ángulo de contacto entre la superficie y el líquido

Fuente: Guía de prácticas, Principios y control de soldadura ^[16]

El valor de σ_{es} no solo depende del líquido y del sólido en contacto sino también del estado superficial del sólido pudiendo además ser variado o disminuido mediante el agregado de aditivos al líquido.

La penetrabilidad de un líquido se puede calcular a partir de la tensión superficial y de su viscosidad mediante la siguiente ecuación:

$$CP = \sqrt{\frac{\sigma}{2\eta}}$$

(1.6)

En donde,

CP= coeficiente de penetración

σ = tensión superficial

η = viscosidad

Un buen poder de penetración se consigue con un líquido de elevada tensión superficial, pequeño ángulo de contacto (menor a 90 grados) y baja viscosidad.

1.4.1.4.2 Clasificación de los líquidos penetrantes^[27]

Según la norma ASTM E-165, los líquidos penetrantes se clasifican como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 1.6. Clasificación de los líquidos penetrantes según la norma ASTM E-165

Fuente: Guía de prácticas, Principios y control de soldadura^[27]

MÉTODO	TIPO	PROCESO	PIGMENTO	REMOCIÓN DEL PENETRANTE
A	1	A1	Fluorescente	Lavable con Agua
	2	A2	Fluorescente	Post- emulsificable
	3	A3	Fluorescente	Removable con solvente
B	1	B1	Coloreado	Lavable con Agua
	2	B2	Coloreado	Post- emulsificable
	3	B3	Coloreado	Removable con solvente

- **Penetrantes lavables con agua:** Estos penetrantes son removidos de la superficie por un lavado directo con agua. La aplicación de una pulverización con agua forma una emulsión con el penetrante y esta es arrastrada por el flujo de agua. La temperatura del agua no debe exceder los 40°C para evitar remover el penetrante de defectos abiertos y poco profundos.
- **Penetrantes Post-emulsificables:** La remoción de este tipo de penetrantes, debe ser precedido por una operación previa de emulsificación dado que estos líquidos no son lavables con agua.
- **Penetrantes removibles con solvente:** La remoción se realiza mediante la aplicación de solvente sobre papel absorbente o trapos limpios, para la posterior limpieza de los componentes ensayados.

Los procesos de aplicación de los tintes penetrantes para los distintos métodos se indican en los siguientes diagramas:

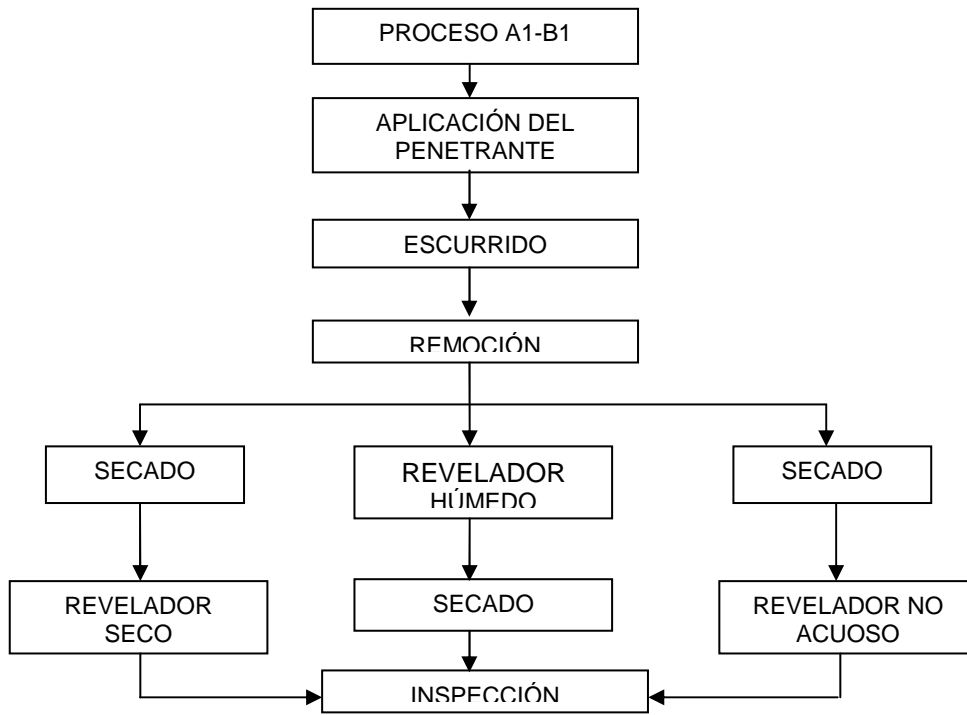


Diagrama 1.1. Método de aplicación de los procesos A1-B1

Fuente: Guía de prácticas, Principios y control de soldadura ^[27]

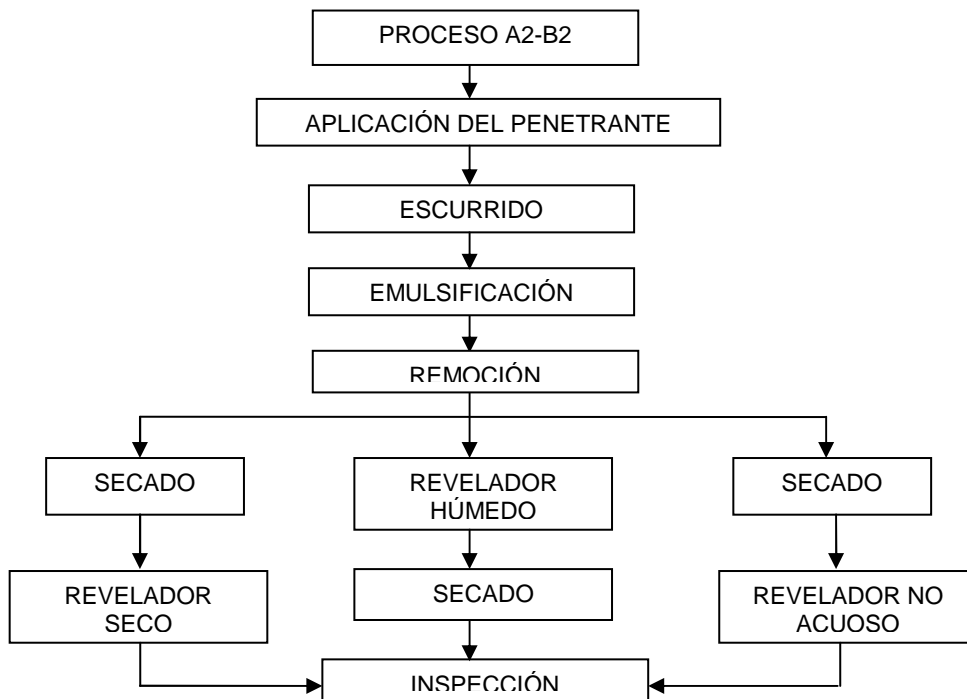


Diagrama 1.2. Método de aplicación de los procesos A2-B2

Fuente: Guía de prácticas, Principios y control de soldadura ^[27]

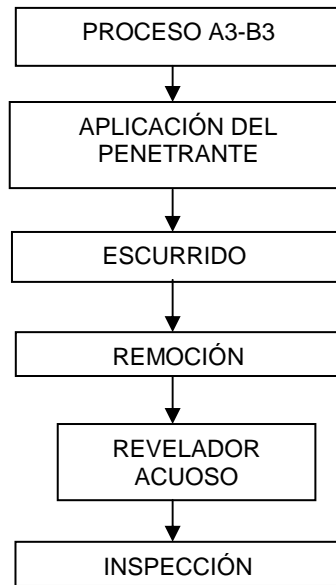


Diagrama 1.3. Método de aplicación de los procesos A3-B3

Fuente: Guía de prácticas, Principios y control de soldadura ^[27]

1.4.1.4.3 Tintes penetrantes

Para llevar a cabo el ensayo mediante la aplicación de tintes penetrantes se debe seguir el orden que se detalla a continuación (Ver Figura 1.31)

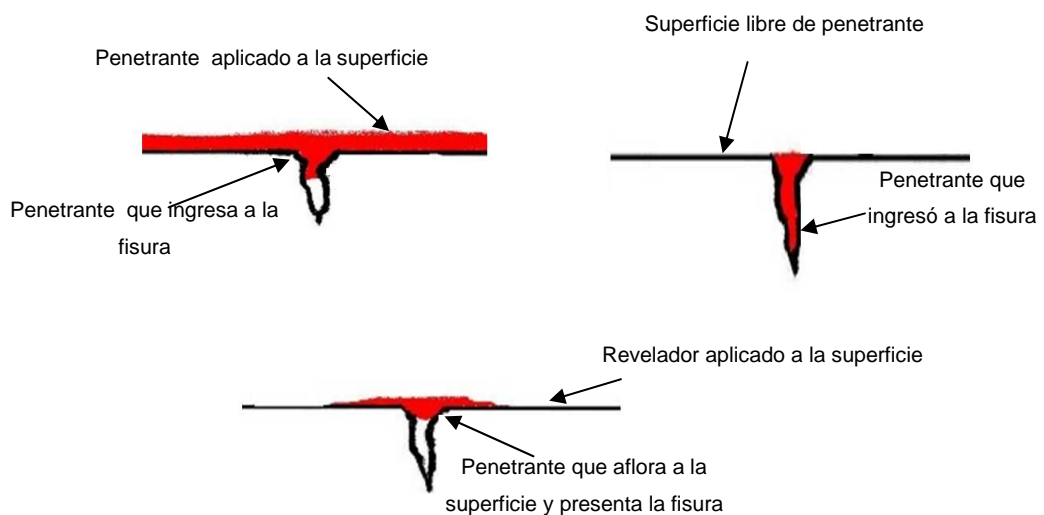


Figura 1.31 Procedimiento de inspección por tintes penetrantes

Fuente: Sindes ^[17]

a) Limpieza de la superficie: Es necesario que la superficie se encuentre limpia para que pueda absorber el penetrante y de esta forma revelar cualquier defecto; la grasa y los aceites impiden que el penetrante entre en los huecos. El limpiador es pulverizado sobre la superficie, se deja que actúe por algún tiempo para disolver cualquier película o depósito, y finalmente es enjuagado con un paño limpio. Después de su limpieza se deja secar la superficie durante un breve intervalo de tiempo. La limpieza preliminar también puede ser llevada a cabo mediante ultrasonidos en caso de disponer el equipo necesario. ^[16]



Figura 1.32 Limpieza mediante aplicación de líquido removedor

Fuente: Manual de procedimiento de END ^[26]

c) Aplicación del penetrante: El penetrante es distribuido sobre la superficie por pulverización. En caso que la superficie no resulte humedecida, es necesario que se repita la limpieza preliminar. El penetrante entra en los poros por fuerzas de capilaridad. El calentamiento suave de la superficie puede ser útil para facilitar la penetración de líquidos cuyo punto de inflamación es alto, caso contrario, no es recomendable aplicar esta técnica. Es necesario que el tinte actúe sobre la superficie durante un corto tiempo para asegurar su penetración y para mayor seguridad puede ser aplicado varias veces, los tiempos de penetración comúnmente empleados son de 2 a 5 min, aunque tiempos más largos pueden ser necesarios a temperaturas

bajas. Finalmente el penetrante es retirado de la superficie siguiendo las instrucciones dadas por su fabricante, dejando sólo el penetrante de los defectos. La completa eliminación del penetrante de la superficie se necesita para evitar falsas indicaciones.^[16]



Figura 1.33 Aplicación de líquido penetrante en la zona a inspeccionar

Fuente: Manual de procedimiento de END^[26]

d) *Aplicación del revelador:* Finalmente, se aplica sobre la superficie una capa de revelador pulverizada, ésta capa debe ser uniforme de tal manera que las indicaciones de poros no se enmascaren. El revelador, el cual es blanco, seca el penetrante que ha quedado en las discontinuidades, extrayéndolo por fuerzas capilares, por lo que aparecen manchas rojizas en el área del defecto.^[16]



Figura 1.34 Aplicación del revelador

Fuente: Manual de procedimiento de END^[26]



Figura 1.35 Interpretación de resultados

Fuente: Manual de procedimiento de END^[26]

El éxito y la confiabilidad de un examen realizado con líquidos penetrantes depende del cuidado y exactitud con que el operador ejecuta las diferentes etapas, desde la limpieza de las partes hasta completar todas las operaciones que permitan la observación y evaluación final de las indicaciones.

1.4.1.4.4 **Métodos de aplicación del líquido penetrante**^[16]

Existen tres tipos de métodos de aplicación de líquidos, por inmersión, pulverización y mediante pinceles.

- Las piezas pequeñas o medianas pueden ser sumergidas en tanques contenedores de líquido penetrante durante el tiempo necesario para asegurar el mojado de toda la superficie expuesta; luego se dejan escurrir en un bastidor apropiado durante el tiempo de penetración.
- El penetrante puede ser aplicado mediante pinceles o pulverizadores. Estas técnicas se aplican generalmente en piezas grandes que no pueden ser sumergidas en un tanque o bien en aquellos casos en que solo se examina una zona determinada como sería el caso de examen de soldaduras en un tanque o estructura.

1.4.1.4.5 **Tipos de reveladores**^[16]

Los reveladores absorben el líquido penetrante retenido en las fallas y lo concentra en la superficie permitiendo su visualización. En el caso de los líquidos coloreados el revelador permite aumentar el contraste.

Los reveladores pueden ser secos, acuosos y no acuosos.

- **Revelado en seco:** El revelado consiste un polvo muy fino, que no se asienta ni se apelmaza. Su aplicación se hace sumergiendo la pieza en el polvo o bien espolvoreando el mismo sobre la superficie a examinar. El exceso se remueve golpeando ligeramente la pieza o bien soplando con aire seco a baja presión. Los reveladores secos pueden tener menor sensibilidad que los húmedos no acuosos, pero permiten una mejor definición de los defectos detectados. El revelador seco solo se usa para líquidos penetrantes fluorescentes.
- **Revelador acuoso:** El revelador acuoso es provisto en forma de polvo que se mezcla con agua para formar una suspensión. Debe ser cuidadosamente mezclado en las proporciones indicadas por el proveedor y controlado periódicamente para verificar que la concentración no haya variado.
- **Revelado húmedo no acuoso:** Consiste en un polvo suspendido en un líquido volátil y puede ser usado con todos los tipos de penetrantes y procesos. Este revelador tiene la más alta sensibilidad. Se usa principalmente para el examen de zonas parciales. Antes de su aplicación el revelador debe ser agitado vigorosamente y pulverizado sobre la pieza. Se puede usar pulverizadores o aerosoles y se debe prestar especial atención a que la pieza o zona a examinar esté lo suficientemente fría antes de aplicar el revelador.

1.4.1.4.6 **Penetrantes fluorescentes**^[16]

Los penetrantes fluorescentes se emplean para los mismos fines que los tintes penetrantes, además que su método de aplicación es similar, siendo el único

parámetro que se cambia el tipo de penetrante empleado, pues se reemplaza el tinte por un líquido fluorescente. La detección de discontinuidades se efectúa iluminando la superficie con una lámpara especial de mercurio productora de luz ultravioleta, luz negra, con un intervalo de longitudes de onda entre 3400 y 3800 A.

En los líquidos penetrantes fluorescentes se usan sustancias que absorben la radiación invisible de la luz negra, emitiendo al propio tiempo radiaciones de mayor longitud de onda en el rango visible del espectro, dando una luz brillante de color amarillo-verdoso. Existiría la posibilidad de usar otras sustancias cuya emisión de luz visible se produce en longitudes de onda correspondientes a otros colores (rojo o azulado por ejemplo) pero se prefiere el amarillo verdoso porque el ojo humano es más sensible a ese color.

Existen tres factores que determinan la perceptibilidad de una indicación cuando se aplican penetrantes fluorescentes, estos son:

- La cantidad de pigmento en la indicación.
- La respuesta del pigmento fluorescente en forma de luz visible emitida en relación con la energía suministrada como luz negra.
- La cantidad de energía actualmente suministrada al pigmento por la luz negra.

1.4.1.4.7 *Ensayo de fugas*

Los tintes penetrantes pueden resultar excelentes sustancias para detectar fugas en tuberías. Este ensayo empieza con la limpieza de la superficie exterior de la tubería, luego el penetrante es pulverizado sobre la superficie interior, entonces, el revelador es aplicado sobre la superficie exterior; el penetrante puede pasar a través de las fisuras en 1 minuto aproximadamente. Este ensayo no debe ser realizado después de una prueba de fugas con aire a presión, pues puede depositar humedad en la discontinuidad impidiendo la acción del penetrante.^[16]

1.4.1.5 Inspección visual

Es sin duda una de las Pruebas No Destructivas más ampliamente utilizada, gracias a ella, es posible obtener información inmediata de la condición superficial de los materiales que estén siendo inspeccionados y deberá ser el primer ensayo aplicado luego de ejecutar la soldadura. ^[15]

CAPITULO 2

JUNTAS DE SOLDADURA EMPLEADAS EN

INDIMA S.A.

Para conocer el tipo de ensayo no destructivo que se ha de implementar para determinar la presencia o no de defectos, es necesario conocer el tipo de unión soldada que se va a ensayar; en el presente capítulo se revisarán los distintos tipos de juntas de soldadura y la técnica de soldadura empleada en la elaboración de sistemas de escape en INDIMA S.A.

Para este análisis, se tomarán como modelos de referencia los sistemas que abarquen todos los tipos de juntas de soldadura empleadas en la empresa, estos modelos son el I-190 HEC, y el I-190 DIESEL, que poseen el mismo número de componentes diferenciándose únicamente en el tipo de material a partir del cual son producidos. Estos modelos son los destinados a las camionetas CHEVROLET LUV D-MAX del mercado automotor ecuatoriano.

2.1 ESTUDIO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE JUNTAS EMPLEADAS

Los sistemas de escape fabricados en INDIMA S.A. están compuestos por tramos, los cuales se obtienen mediante el ensamble de distintos componentes tales como tubos, juntas flexibles, catalizadores, pre-silenciadores, silenciadores, ganchos, bridas, entre otros.



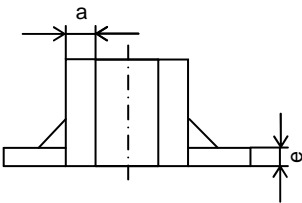
A continuación se detallan los distintos tipos de juntas de soldadura empleadas en la elaboración de los tramos que conforman los modelos I-190 HEC, e I-190 DIESEL.


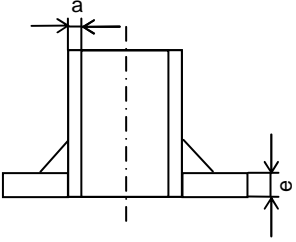

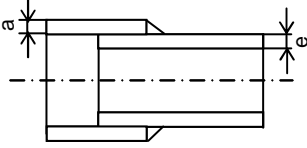

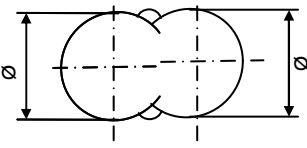

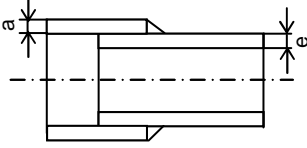

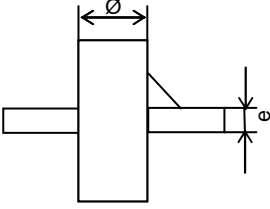
2.1.1 JUNTAS DE SOLDADURA EMPLEADAS PARA EL MODELO I-190 HEC (GASOLINA)

Este modelo está conformado por tres tramos, los cuales son elaborados a partir de acero inoxidable AISI 409 y acero estructural A-36. En las tablas que se presentan a continuación, se detallan las uniones rígidas empleadas en la elaboración del sistema de escape I-190 HEC, especificando los componentes soldados, el tipo de junta y su esquema respectivo.

Tabla 2.1. Juntas de soldadura empleadas en el primer tramo I-190 HEC

Fuente: Datos INDIMA S.A.



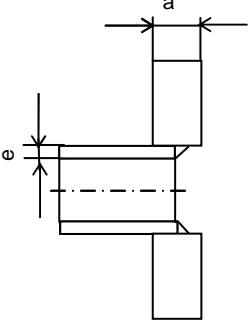
PRIMER TRAMO I-190 HEC		
		
COMPONENTES SOLDADOS	TIPO DE JUNTA	ESQUEMA DE LA JUNTA
TUBO-SENSOR DE OXIGENO 	EN "T"	 $e = 1,5\text{mm}$ $a = 12\text{mm}$

<p>TUBO-BRIDA</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 10\text{mm}$</p>
<p>TUBO-TUBO</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>TUBO-TUBO</p> 	<p>UNIÓN MÚLTIPLE</p>	 <p>$\text{Ø}a = 44.4\text{ mm}$</p> <p>$\text{Ø}b = 44.4\text{ mm}$</p>
<p>TUBO-CATALIZADOR</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>ARANDELA-GANCHO</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$\text{Ø} = 10\text{mm}$</p> <p>$e = 2\text{ mm}$</p>

<p>TUBO-GANCHO</p> 	<p>EN "V ACAMPANADA"</p>	 <p>$e = 1,5\text{mm}$</p> <p>$\varnothing = 10\text{mm}$</p>
--	------------------------------	--

Tabla 2.2. Juntas de soldadura empleadas en el segundo tramo I-190 HEC

Fuente: Datos INDIMA S.A.

SEGUNDO TRAMO I-190 HEC		
		
COMPONENTES SOLDADOS	TIPO DE JUNTA	ESQUEMA DE LA JUNTA
<p>BRIDA-JUNTA FLEXIBLE</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$a = 10\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>


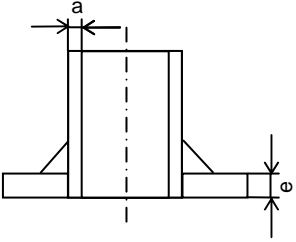

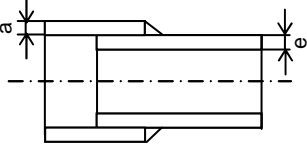

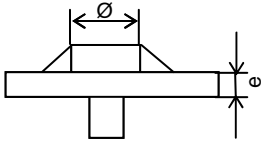
<p>TUBO-BRIDA</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 10\text{mm}$</p>
<p>TUBO-JUNTA FLEXIBLE</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>BRIDA-PERNO</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$\varnothing = 10\text{mm}$</p> <p>$e = 10\text{mm}$</p>

Tabla 2.3. Juntas de soldadura empleadas en el tercer tramo I-190 HEC

Fuente: Datos INDIMA S.A.

TERCER TRAMO I-190 HEC		
		
COMPONENTES SOLDADOS	TIPO DE JUNTA	ESQUEMA DE LA JUNTA
TUBO-SEPARADOR 	TRASLAPE	 $a = 1,5\text{mm}$ $e = 1,5\text{mm}$
SEPARADOR-CUERPO EXTERIOR 	TRASLAPE	 $a = 1,5\text{mm}$ $e = 1,5\text{mm}$



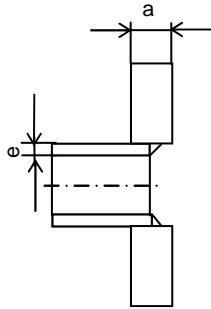

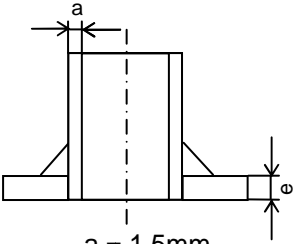
<p>TUBO-BRIDA</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 10\text{mm}$</p>
<p>TUBO-TAPA SILENCIADOR</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>TUBO-GANCHO</p> 	<p>EN "V ACAMPANADA"</p>	 <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>GANCHO-TAPA SILENCIADOR</p> 	<p>EN "V ACAMPANADA"</p>	 <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>

2.1.2 JUNTAS DE SOLDADURA PARA EL MODELO I-190 DIESEL

El modelo I-190 Diesel está compuesto por tres tramos elaborados a partir de acero aluminizado ASTM A-463 DDS T1-40 y acero estructural A36. A continuación, se presentan las juntas de soldadura empleadas en la fabricación de este sistema de escape:

Tabla 2.4. Juntas de soldadura empleadas en el primer tramo I-190 DCD

Fuente: Datos INDIMA S.A.

PRIMER TRAMO I-190 DCD		
		
COMPONENTES SOLDADOS	TIPO DE JUNTA	ESQUEMA DE LA JUNTA
BRIDA-JUNTA FLEXIBLE 	EN "T"	 <p style="text-align: center;">$a = 10\text{mm}$ $e = 1,5\text{mm}$</p>
TUBO-BRIDA 	EN "T"	 <p style="text-align: center;">$a = 1,5\text{mm}$ $e = 10\text{mm}$</p>


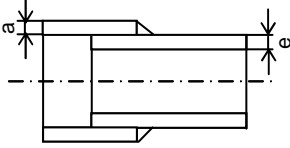

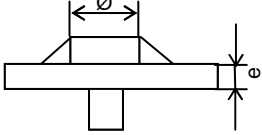

<p>TUBO-JUNTA FLEXIBLE</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>BRIDA-PERNO</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$\varnothing = 10\text{mm}$</p> <p>$e = 10\text{mm}$</p>

Tabla 2.5. Juntas de soldadura empleadas en el segundo tramo I-190 DCD

Fuente: Datos INDIMA S.A.

<p>SEGUNDO TRAMO I-190 DCD</p>		
		
<p>COMPONENTES SOLDADOS</p>	<p>TIPO DE JUNTA</p>	<p>ESQUEMA DE LA JUNTA</p>
<p>TUBO-BRIDA</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 10\text{mm}$</p>


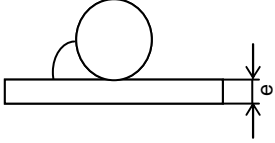

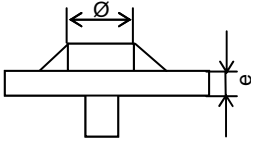

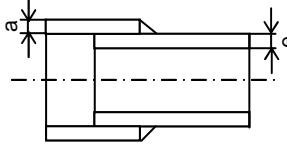

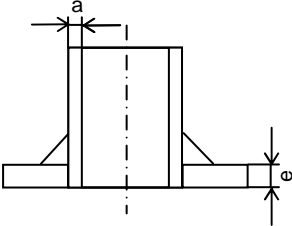

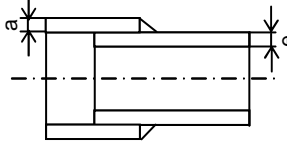

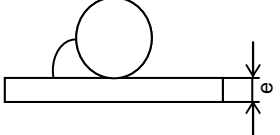

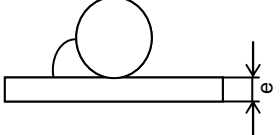
<p>GANCHO TUBO</p> 	<p>EN "V ACAMPANADA"</p>	 <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>BRIDA-PERNO</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$\varnothing = 10\text{mm}$</p> <p>$e = \text{mm}$</p>

Tabla 2.6. Juntas de soldadura empleadas en el tercer tramo I-190 DCD

Fuente: Datos INDIMA S.A.

<p>TERCER TRAMO I-190 DCD</p>		
		
<p>COMPONENTES SOLDADOS</p>	<p>TIPO DE JUNTA</p>	<p>ESQUEMA DE LA JUNTA</p>
<p>TUBO-SEPARADOR</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$</p> <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>

<p>SEPARADOR-CUERPO EXTERIOR</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$ $e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>TUBO-BRIDA</p> 	<p>EN "T"</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$ $e = 10\text{mm}$</p>
<p>TUBO-TAPA SILENCIADOR</p> 	<p>TRASLAPE</p>	 <p>$a = 1,5\text{mm}$ $e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>TUBO-GANCHO</p> 	<p>EN "V ACAMPANADA"</p>	 <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>
<p>GANCHO-TAPA SILENCIADOR</p> 	<p>EN "V ACAMPANADA"</p>	 <p>$e = 1,5\text{mm}$</p>

Las juntas de soldadura empleadas en los tramos de I-190, presentadas en las tablas 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6, son básicamente las mismas que se utilizan en los distintos modelos de sistemas de escape que se elaboran en INDIMA S.A.; de modelo a modelo se varían las dimensiones, formas y cantidades (dependiendo del componente) de tubos, bridas, juntas flexibles, presilenciadores, resonadores y ganchos, manteniendo los mismos tipos de juntas.

2.2 ESTUDIO DE LA TÉCNICA DE SOLDADURA

2.2.1 MATERIAL BASE

Los sistemas de escape son elaborados a partir de acero inoxidable AISI 409 ó acero aluminizado ASTM A-463 DDS T1-40, dependiendo del modelo a elaborar, y acero estructural A36. En la tabla que se presenta a continuación se especifica el material base empleado en los dos modelos a analizar:

Tabla 2.7. Especificaciones del material base

Fuente: Datos INDIMA S.A.

MODELO	MATERIAL	ESPESOR
I 190 HEC	Tubo de acero AISI 409	e=1,5mm
	Lámina de acero AISI 409	e=1,5mm e=1,2mm
	Plancha de acero A36	e=10mm
	Varilla tropicalizada de acero A36	Ø= 10mm
I 190 DIESEL (DCD)	Tubo de acero ASTM A-463 DDS T1-40	e=1,5mm
	Lámina de acero AISI 409	e=1,5mm
	Plancha de acero A36	e=10mm
	Varilla tropicalizada de acero A36	Ø= 10mm

2.2.2 MATERIAL DE APORTE

El electrodo empleado en el proceso de soldadura en INDIMA S.A. es el AWS ER70S-6, especificación AWS A5.9, de 0,9mm de diámetro.

La alimentación continua del electrodo es de 8255 mm/seg, para las soldadoras semi-automáticas y de 1981,2 mm/seg para las automáticas (Ver Anexo A).

2.2.3 GASES DE PROTECCIÓN

La empresa cuenta con una central de gases, la cual suministra CO₂ cuando se suelda acero aluminizado ASTM A-463 DDS T1-40 (modelo I-190 Diesel), y una mezcla Mix 20, compuesta por 20% de CO₂ y 80% Argón, para la soldadura de acero inoxidable AISI 409 (modelo I-190 HEC).

El flujo constante de gas para cada máquina soldadora es de 19 lt/min, y es controlado mediante manómetros ubicados sobre cada una de ellas

2.2.4 VOLTAJE Y CORRIENTE DE SOLDADURA

Para la soldadura semi-automática, realizada en nueve estaciones de trabajo en la empresa, se emplean voltajes comprendidos entre 18,5 V y 22,5 V, y amperajes que oscilan entre 180 A y 218 A, mientras que para la soldadura automática, empleada en dos centros de trabajo, la tensión en el arco varía entre 20 V y 24,5 V y la corriente de soldadura entre 144 A y 176 A. Para ambos casos se emplea polaridad DC+, y la velocidad de avance es la necesaria que permita lograr un tamaño y perfil adecuado del cordón.

CAPITULO 3

DETERMINACIÓN DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO A IMPLEMENTAR

En la selección e implementación de un ensayo no destructivo, se debe considerar que no existe método de inspección que pueda ser único o universal, por ello es necesario analizar factores tales como exactitud y sensibilidad requeridas, limitaciones del ensayo, equipos a emplear, condiciones de servicio, costos, entre otros, a fin de determinar el método que presente mayores ventajas sobre los otros.

Un control adecuado de la calidad de las soldaduras permite mejorar la rentabilidad de los productos, y en el caso particular de INDIMA S.A. permitirá controlar los PPM'S generados evitando sobrepasar los índices requeridos por los clientes, por ello una buena selección del END a implementar es de gran importancia.

En el presente capítulo se analizarán los ensayos de tintas penetrantes, ultrasonido, partículas magnéticas y radiografía industrial, y se determinará el ensayo que presente las mejores características y beneficios para la empresa.

3.1 ESTUDIO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE CADA UNO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE INSPECCIÓN EN INDIMA S.A.

El estudio de las ventajas y desventajas que presentan los END para la aplicación específica que se requiere en la empresa se enfocará en los puntos que se detallan a continuación:

- Exactitud y sensibilidad del ensayo
- Tamaño, forma y material del componente a ensayar
- Limitaciones en la interpretación de resultados

- Limitaciones por la geometría del ensayo o por condiciones de accesibilidad
- Equipo a emplear
- Costo de la implementación

3.1.1. ANÁLISIS DEL END POR TINTAS PENETRANTES

Tabla 3.1. Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por tintas penetrantes

PARÁMETRO A ANALIZAR	CARACTERÍSTICA/ VENTAJA/ DESVENTAJA
Discontinuidades detectables	Grietas y poros que salen hacia la superficie
Sensibilidad y exactitud del ensayo	Depende de los parámetros del ensayo
Aplica en acero inoxidable ferrítico	Sí
Espesor del material a ensayar	Pequeño y mediano espesor
Equipo necesario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Agente limpiador de la superficie 2. Tinta penetrante 3. Revelador
Adecuación	Lugar establecido que no interfiera con la labor de la planta
Limitaciones por geometría de la probeta	Ninguna
Interpretación de resultados	Comparación de señales en base a patrones, normas o códigos
Equipo de seguridad	<p>Uso de mascarillas</p> <p>Extractor de gases o ventilación si se emplean aerosoles</p>

Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - El equipo es portátil y fácil de manejar - Bajos costos unitarios en pequeños y grandes volúmenes - Rapidez en la ejecución del ensayo, y en la obtención de resultados. - Fácil interpretación de resultados
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Límite de alcance, pues solamente se puede realizar una inspección superficial - El ensayo debe ser llevado a cabo en un lugar con ventilación en caso de emplear tintas en aerosol. - Si el exceso de líquido penetrante no es removido totalmente, se pueden obtener resultados erróneos.
Costos de implementación	Bajos en comparación a otros ensayos

3.1.2. ANÁLISIS DEL END POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Tabla 3.2. Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por partículas magnéticas

PARÁMETRO A ANALIZAR	CARACTERÍSTICA/ VENTAJA/ DESVENTAJA
Discontinuidades detectables	Grietas
Sensibilidad y exactitud del ensayo	Depende de los parámetros del ensayo
Aplica en acero inoxidable ferrítico	Si
Espesor del material a ensayar	Pequeño y mediano espesor
Equipo necesario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yugo magnético (equipo magnetizante) 2. Partículas magnéticas
Adecuación	Lugar establecido que no interfiera con la labor de la planta
Limitaciones por geometría de la probeta	Ninguna
Interpretación de resultados	Comparación de señales en base a patrones, normas o códigos
Equipo de seguridad	Uso de mascarillas
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Rapidez en la realización del ensayo y en la obtención de resultados.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Este proceso se encuentra limitado para superficies no magnéticas. - Al tener una discontinuidad en

	<p>la misma dirección del campo, esta puede no ser detectada.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuando se trata de piezas muy grandes se necesita una corriente elevada, lo cual pondría en riesgo la vida del personal. - El estado de la superficie de la pieza puede afectar la nitidez de las indicaciones - Si no se realiza la desmagnetización de la pieza ensayada, el campo puede atraer partículas metálicas o de polvo hacia la superficie, las cuales pueden actuar como elementos abrasivos. - Cuando se utilizan puntas de contacto para la magnetización del componente a ensayar, la superficie puede quemarse por las corrientes y voltajes altos.
Costos	El costo del equipo es mayor que el de tintas penetrantes

3.1.3. ANÁLISIS DEL END POR ULTRASONIDO

Tabla 3.3. Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por ultrasonido

PARÁMETRO A ANALIZAR	CARACTERÍSTICA/ VENTAJA/ DESVENTAJA
Discontinuidades detectables	Discontinuidades internas superficiales: <ul style="list-style-type: none"> - Inclusiones de escoria - Poros - Falta de fusión - Falta de penetración
Sensibilidad y exactitud del ensayo	Depende de los parámetros del ensayo
Aplica en acero inoxidable ferrítico	Si
Espesor del material a ensayar	Mediano y gran espesor Tubería de pequeño espesor
Equipo necesario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Equipo ultrasonidos 2. Accesorios
Adecuación	Lugar establecido que no interfiera con la labor de la planta
Limitaciones por geometría de la probeta	Las piezas que son ásperas, irregulares en forma, muy pequeñas, muy finas o no homogéneas son difíciles de examinar
Interpretación de resultados	<ul style="list-style-type: none"> - Minuciosa por técnicos experimentados - Uso de procedimientos

Equipo de seguridad	Ninguno
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - El equipo puede ser portátil - Este ensayo permite detectar varios tipos de defectos
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo y accesorios costosos - La interpretación de resultados puede resultar compleja para personal poco experimentado
Costos	El costo del equipo es alto

3.1.4. ANÁLISIS DEL END POR RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

Tabla 3.4. Análisis de las características, ventajas y desventajas de la implementación del ensayo no destructivo por radiografía industrial

PARÁMETRO A ANALIZAR	CARACTERÍSTICA/ VENTAJA/ DESVENTAJA
Discontinuidades detectables	<ul style="list-style-type: none"> - Cavidades y porosidades (sopladura) - Inclusiones sólidas (escorias) - Fisuras o microgrietas - Falta de penetración - Falta de fusión - Mordeduras - Exceso de penetración
Sensibilidad y exactitud del ensayo	Depende de los parámetros del ensayo
Aplica en acero inoxidable ferrítico	Si
Espesor del material a ensayar	Pequeños y medianos espesores

Equipo necesario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Equipo emisión rayos X 2. Equipo control rayos X 3. Placas radiográficas 4. Reveladores
Adecuación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lugar establecido que no interfiera con la labor de la planta y que posea las protecciones debidas contra radiación 2. Cuarto de revelado
Limitaciones por geometría de la probeta	Ninguna
Interpretación de resultados	Comparación de radiografías en base a patrones, normas o códigos
Equipo de seguridad	Normas de seguridad referentes a radiación ionizante
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Permite detectar discontinuidades internas volumétricas, las cuales con otro ensayo sería imposible determinarlas sin ruptura del material - Con este ensayo se pueden detectar varios tipos de defectos
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo y procedimiento costosos. - Se requiere de un personal bien calificado y con experiencia en el proceso - El proceso puede resultar riesgoso para el personal si no

	<p>se establecen adecuadas normas de seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> - El equipo no es portátil - Es necesario tener un cuarto hermético (con protección contra la radiación) para la realización del ensayo, y otro para el revelado de las placas. - Se necesita un permiso de funcionamiento para el uso de radiaciones ionizantes
Costos	El costo de implementación es elevado

3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS DISTINTOS ENSAYOS DE INSPECCIÓN

Luego de revisar las características principales de los cuatro tipos de END a analizar, se debe evaluar cada alternativa, lo cual servirá de base para la selección del ensayo a implementar.

El método de análisis que se empleará será el “Método ordinal corregido de criterios ponderados”, el cual permite establecer un orden de preferencia en base a una evaluación global de las alternativas.

Se basa en tablas, en donde cada solución (o criterio según sea el caso), se confronta con las soluciones restantes (o criterios) y se asignan los siguientes números: ^[20]

- 1 si la alternativa de la fila es mejor que el de la columna
- 0,5 si la alternativa de la fila es equivalente al de la columna
- 0 si la alternativa de la fila es peor que el de la columna

Luego se suman los valores asignados para cada alternativa, añadiéndole una unidad para evitar que la solución menos favorable tenga una valoración nula, y en otra columna se calculan los valores ponderados para cada alternativa. ^[20]

Esta ponderación se debe realizar para todos los criterios de valoración, y luego para todas las alternativas (END a implementar) en base a cada criterio de valoración, pues la evaluación de cada alternativa resulta de la suma de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio. ^[20]

A continuación se presenta el análisis de cada alternativa de END a implementar en base a los siguientes criterios:

- Realización del ensayo e interpretación de resultados
- Adecuación en las instalaciones de la empresa
- Seguridad del personal
- Mantenimiento
- Costo de implementación

3.2.1. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO

El orden de importancia (preferencia) que se asignará a cada criterio de evaluación será:

costo=adecuación>realización e interpretación>seguridad>mantenimiento

Una vez establecido este orden, se realiza el cálculo de la ponderación de cada criterio, según como se indica en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Ponderación de cada criterio de evaluación

CRITERIO	Realización e interpretación	Adecuación	Seguridad	Mantenimiento	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Realización e interpretación		0	1	1	0	3	0,20
Adecuación	1		1	1	0,5	4,5	0,30
Seguridad	0	0		1	0	2	0,13
Mantenimiento	0	0	0		0	1	0,07
Costo	1	0,5	1	1		4,5	0,30
SUMA						15	1,00

3.2.2. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “COSTO”

Tabla 3.6. Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Costo”

CRITERIO	Radiografía	Tintas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido	$\Sigma+1$	Ponderación
Radiografía		0	0	0	1	0,1
Tintas penetrantes	1		1	1	4	0,4
Partículas magnéticas	1	0		1	3	0,3
Ultrasonido	1	0	0		2	0,2
SUMA					10	1

3.2.3. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “ADECUACIÓN”

Tabla 3.7. Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Adecuación”

CRITERIO	Radiografía	Tintas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido	$\Sigma+1$	Ponderación
Radiografía		0	0	0	1	0,1
Tintas penetrantes	1		1	1	4	0,4
Partículas magnéticas	1	0		0,5	2,5	0,25
Ultrasonido	1	0	0,5		2,5	0,25
SUMA					10	1

3.2.4. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “REALIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO”

Tabla 3.8. Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Realización e interpretación del ensayo”

CRITERIO	Radiografía	Tintas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido	$\Sigma+1$	Ponderación
Radiografía		0	0	1	2	0,2
Tintas penetrantes	1		0,5	1	3,5	0,35
Partículas magnéticas	1	0,5		1	3,5	0,35
Ultrasonido	0	0	0		1	0,1
SUMA					10	1

3.2.5. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “SEGURIDAD”

Tabla 3.9. Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Seguridad”

CRITERIO	Radiografía	Tintas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido	$\Sigma+1$	Ponderación
Radiografía		0	0	0	1	0,1
Tintas penetrantes	1		1	0,5	3,5	0,35
Partículas magnéticas	1	0		0	2	0,2
Ultrasonido	1	0,5	1		3,5	0,35
				SUMA	10	1

3.2.6. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA ALTERNATIVA DE IMPLEMENTACIÓN DE END SEGÚN EL CRITERIO “MANTENIMIENTO”

Tabla 3.10. Ponderación de cada alternativa de END a implementar, según el criterio de evaluación “Mantenimiento”

CRITERIO	Radiografía	Tintas penetrantes	Partículas magnéticas	Ultrasonido	$\Sigma+1$	Ponderación
Radiografía		0	0,5	0,5	2	0,2
Tintas penetrantes	1		1	1	4	0,4
Partículas magnéticas	0,5	0		0,5	2	0,2
Ultrasonido	0,5	0	0,5		2	0,2
				SUMA	10	1

3.2.7. CÁLCULO DE LA TABLA DE CONCLUSIONES

Para la evaluación final de las alternativas, en base a los criterios establecidos, se debe multiplicar el peso específico de cada criterio (Tabla 3.5), por el peso específico que se obtuvo en la evaluación de las alternativas con cada criterio (Tablas 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10).

A continuación se presenta la tabla de conclusiones, en donde, la sumatoria de los resultados de la evaluación de cada criterio, permite establecer la prioridad entre los ensayos analizados, en base a la solución más favorable.

Tabla 3.11. Tabla de priorización de las alternativas de END a implementar

CONCLUSIÓN	Realización e interpretación	Adecuación	Seguridad	Mantenimiento	Costo	$\Sigma+1$	Prioridad
Radiografía	0,04	0,03	0,013	0,014	0,03	1,127	4
Tintas penetrantes	0,07	0,12	0,0455	0,028	0,12	1,3835	1
Partículas magnéticas	0,07	0,075	0,026	0,014	0,09	1,275	2
Ultrasonido	0,02	0,075	0,0455	0,014	0,06	1,2145	3

3.3 SELECCIÓN DEL ENSAYO DE INSPECCIÓN ÓPTIMO

De la tabla de conclusiones presentada en el apartado 3.2.7, se obtuvo que el ensayo con tintas penetrantes es el más adecuado para analizar defectos en los cordones de soldadura en INDIMA S.A., pues:

- La realización del ensayo es fácil y rápida,
- La interpretación de resultados no es compleja

- Es el que menor inversión requiere tanto en la implementación y adecuación del espacio físico en la empresa, como en los suministros para la realización de ensayos
- No es necesario seguir normas estrictas de seguridad, ni tampoco se requiere ningún permiso para su implementación y ejecución (como es el caso de radiografía industrial)
- Al emplearse tintas como equipo de trabajo, no es necesario establecer un plan de mantenimiento.

Por lo tanto el ensayo no destructivo a implementar en la empresa INDIMA S.A. será el de tintas penetrantes.

CAPITULO 4

ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

En el presente capítulo se determinarán los parámetros con los cuales se deberá ejecutar el ensayo de inspección por tintas penetrantes; para ello el establecimiento de la metodología se basará en los requerimientos de la norma ASME V; mientras que los criterios de aceptación y rechazo se sustentarán en la norma AWS D1.3.

4.1 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Para establecer la metodología del ensayo, es necesario determinar los parámetros fundamentales para la realización del mismo, tales como materiales e instrumentación, método de selección de la muestra, frecuencia del ensayo y su procedimiento.

4.1.1 MATERIALES A EMPLEAR

Los materiales necesarios para la realización del ensayo por tintas penetrantes se enlistan en la Tabla 4.1 que se presenta a continuación:

Tabla 4.1 Listado de materiales necesarios para la realización del ensayo por tintas penetrantes

CANTIDAD	KIT DEL ENSAYO
1	Limpiador, removedor SKC-S
1	Líquido penetrante coloreado SKL-SP1
1	Revelador no acuoso SKD-S2
3	Trapos ó toallas de papel libres de pelusas
1	Termómetro Digital
1	Retícula de Medición
1	Mascarilla con filtro
1	Mandil
1	Guantes de caucho

4.1.2 FRECUENCIA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO

El ensayo deberá ser realizado dos veces por semana y en caso de presentarse problemas críticos reportados que afecten la calidad del producto, se lo realizará de manera inmediata.

Todos los tramos producidos deben ser ensayados y seleccionados de acuerdo al “**Calendario de Auditorías internas de producto**” de INDIMA S.A., y el informe emitido debe ser anexado a las mismas como evidencia del desempeño de la soldadura.

Cuando los indicadores de “**Producto No Conforme**” superen los límites permisibles definidos por calidad en el “**Plan de Negocios**”, para el área de soldadura, se aplicará la técnica de muestreo Military Standard 105 D (ANSI/ASQC Z1.4), que es un plan de muestreo de aceptación por atributos lote por lote, en el cual se toma una muestra aleatoria del lote y cada unidad de la muestra es clasificada de acuerdo con ciertos atributos como aceptable o defectuosa. Si el número de piezas defectuosas es menor o igual que un cierto número predefinido, entonces el lote es aceptado, en caso de que sea mayor, el lote es rechazado. En este caso, se seleccionará una orden de producción en proceso y se aplicará la siguiente tabla de muestreo:

Tabla 4.2 Tamaño de la muestra para Military Standard 105 D (ANSI/ASQC Z1.4)

Fuente: Calidad total y productividad ^[21]

Tamaño de lote de producción	Tamaño de la muestra a ensayar (n)
2 a 8	2
9 a 15	3
16 a 25	5
26 a 50	8
51 a 90	13
91 a 150	20
151 a 280	32
281 a 500	50

Finalmente, cuando se encuentre una o más unidades defectuosas, se procederá según el tratamiento de producto no conforme establecido en la empresa.

4.1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El procedimiento que se debe seguir para la realización del ensayo mediante tintas penetrantes en INDIMA S.A. está basado en los requerimientos de la norma ASME V, Artículo VI, el cual deberá ser aplicado sobre cada cordón de soldadura existente en el tramo a ensayar.

4.1.3.1 Selección de la muestra a ensayar

- a) Seleccionar una orden de producción en proceso.
- b) Según el método definido en el punto 4.1.2., seleccionar el/los tramos a ensayar antes de que pasen al proceso de barnizado.

4.1.3.2 Limpieza de los componentes a ensayar

- a) Con el termómetro digital, verificar que la temperatura en el cordón de soldadura sea menor o igual a 50°C, con el fin de evitar accidentes por el uso del removedor que tiene alto grado de flamabilidad.
- b) Aplicar el limpiador SKC-S sobre un paño libre de pelusas para retirar y limpiar cualquier contaminante de la superficie a ensayar.

4.1.3.3 Aplicación del tinte penetrante

- a) Verificar visualmente que la superficie a ensayar esté seca
- b) Rociar el tinte penetrante, SKL-SP1, de manera uniforme sobre el cordón de soldadura y sobre sus zonas aledañas como se observa en la figura 4.1.



Figura 4.1 Aplicación homogénea del tinte penetrante

Fuente: INDIMA S.A.

- c) Dejar que el tinte reaccione durante 10 minutos sobre la superficie ensayada

4.1.3.4 Remoción del exceso de penetrante

- a) Limpiar el exceso de penetrante con un paño seco libre de pelusas
- b) Aplicar el limpiador SKC-S de acuerdo al paso b) del ítem 4.1.3.2.

Nota: No se debe aplicar el limpiador directamente sobre la superficie del componente ensayado para evitar el remover de los posibles defectos el tinte penetrante aplicado

4.1.3.5 Aplicación del revelador

- a) Verificar visualmente que la superficie a ensayar esté seca
- b) Agitar bien el recipiente que contiene el revelador SKD-S2 durante 5 minutos, a fin de homogeneizar el contenido.
- c) Aplicar el aerosol a una distancia de 20 a 30cm con respecto a la superficie ensayada, aplicar una capa delgada y uniforme de revelador sobre el cordón de soldadura ensayado para evitar enmascarar los defectos y/o discontinuidades como se puede observar en la figura 4.2.

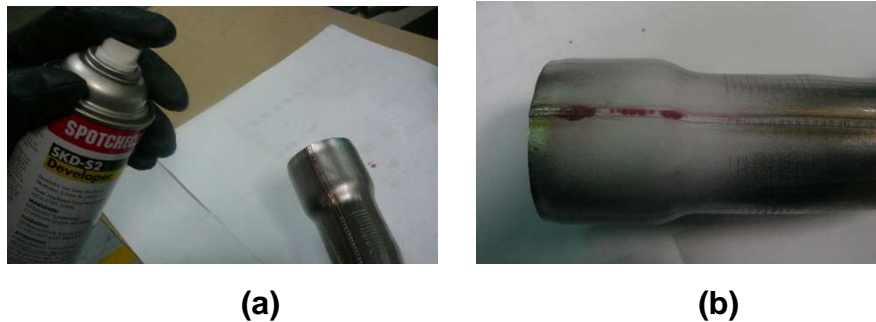


Figura 4.2 (a) La distancia de aplicación debe estar comprendida entre 20 y 30cm; (b) El revelador debe ser aplicado homogéneamente

Fuente: INDIMA S.A.

4.1.3.6 Medición de las discontinuidades

- a) Exponer la muestra ensayada a la luz y durante los primeros 5 minutos evaluar la aparición o no de discontinuidades; luego cada cinco minutos (durante 15 minutos) evaluar los resultados.
- b) Documentar y registrar el ensayo mediante una fotografía.
- c) Revisar si se manifiesta alguna discontinuidad en el cordón de soldadura expuesta por la realización del ensayo.
- d) Tomar un formato de “Evaluación de Resultados IT-10-04-06-RE01” (Anexo B).

Nota: El formato de “Evaluación de Resultados IT-10-04-06-RE01” servirá de apoyo para el registro y mediciones de las discontinuidades presentes. A partir de esta hoja se evaluará si el cordón de soldadura y por ende el tramo ensayado es aceptado o rechazado.

- e) Llenar los datos generales como se indica a continuación:
 - **Informe N°:** Número secuencial del informe
 - **Fecha:** Fecha de realización del ensayo

- **Descripción:** Descripción del componente ensayado, código del tramo y modelo
 - **Material:** Tipo de material de aporte utilizado para realizar la junta.
 - **Orden de producción:** Número de la orden de producción de donde se seleccionó la muestra ensayada
 - **Tamaño de la muestra:** Cantidad de componentes ensayados de la orden de producción
 - **Estado superficial antes del ensayo:** Condición superficial de los cordones de soldadura, especificar si existe presencia de agentes externos como grasa, pintura, barniz, etc., y si las zonas aledañas al cordón presentan rugosidades, marcas de herramental o ralladuras.
- f) Con ayuda de la retícula de medición se inspeccionaran si existen grietas o poros en la soldadura, en caso de existir se debe medir su longitud o diámetro respectivamente y anotar este valor en la casilla correspondiente al “Registro de defectos” del formato “Evaluación de Resultados IT-10-04-06-RE01”
- g) Inspeccionar visualmente todo el cordón de soldadura y determinar de acuerdo a la IT-10-04-02/03 Prueba de Fuga de Gases si existen fugas, cordones de soldadura incompletos y anotar cualquier defecto encontrado en el “Registro de defectos” del formato “Evaluación de Resultados IT-10-04-06-RE01”

Nota: Si el defecto no puede ser determinado a simple vista, se deberá emplear la lupa del Kit de ensayo para una mejor visualización y evaluación.

4.1.3.7 Limpieza final del componente ensayado

- a) Con un trapo seco libre de pelusas limpiar completamente la superficie ensayada de tal manera que no quede rastro de tinte penetrante en el cordón ni en las zonas aledañas, a fin de que llegue limpia al cliente.
- b) Colocar el componente ensayado en un rack de almacenamiento

4.1.3.8 Elaboración del “Reporte de Inspección IT-10-04-06-RE02”

El “*Reporte de Inspección IT-10-04-06-RE02*” (Anexo C), deberá ser llenado según como se indica a continuación:

- **Fecha:** Fecha de realización del ensayo
- **Informe N°:** Número secuencial del informe

a) Identificación de la Pieza:

- **Orden de producción:** Número de la orden de producción de donde se seleccionó la muestra ensayada
- **Tamaño de la muestra:** Cantidad de componentes ensayados de la orden de producción
- **Descripción:** Descripción del componente ensayado, código del tramo y modelo
- **Material:** Tipo de material de aporte utilizado para realizar la junta.
- **Estado superficial antes del ensayo:** Condición superficial de los cordones de soldadura, especificar si existe presencia de agentes externos como grasa, pintura, barniz, etc., y si las zonas aledañas al cordón presentan rugosidades, marcas de herramental o ralladuras.

b) Fotografía de la pieza:

Fotografías de la superficie ensayada, señalando los lugares en donde se encontraron discontinuidades y especificar su tipo. En caso de no encontrarse discontinuidades, se colocarán fotografías en donde se pueda observar la superficie libre de defectos.

c) Equipos y material:

- **Limpiador/Removedor:** Tipo de agente limpiador
- **Penetrante:** Tipo de penetrante empleado (penetrante B2)
- **Solvente:** Tipo de solvente empleado
- **Revelador:** Tipo de revelador empleado (no acuoso)

- **Accesorios del Kit de END:** Accesorios empleados en la realización del ensayo, tales como: lupa, secador eléctrico, paños, etc.

d) Tiempos:

- **Penetrante:** Tiempo que se dejó actuar el penetrante durante el ensayo
- **Revelador:** Tiempo que se dejó actuar el revelador durante el ensayo
- **Observación:** Tiempo empleado para observar resultados y medir discontinuidades

e) Norma Aceptación y/o Rechazo:

Los criterios de evaluación se determinan en base a la norma AWS D1.3.

f) Resultados:

Listado de discontinuidades encontradas:

- **Tipo de discontinuidad:** Puede ser discontinuidad longitudinal (fisura), circular (poro), cordones incompletos.
- **Observaciones:** Lugar en donde se encontró la discontinuidad, sus dimensiones y/o si aplica observaciones respecto de la Prueba de Fugas.
- **Evaluación:** Aceptación o rechazo de la discontinuidad de acuerdo a los apuntes tomados en el formato "Evaluación de Resultados IT-10-04-06-RE01"

g) Operador:

- **Nombre:** Nombre del Operador que realizó el ensayo.
- **Firma:** Firma del Operador que realizó el ensayo

h) Revisión y Aprobación:

El reporte de inspección por líquidos penetrantes deberá ser revisado y aprobado por el Jefe de Calidad.

- **Fecha:** Fecha de revisión y aprobación del reporte
- **Firma Jefe de Calidad:** Firma del jefe de calidad

4.1.4 CONSUMO DE LÍQUIDO PENETRANTE POR ENSAYO

Para garantizar que el ensayo se ejecute permanentemente en la empresa según el cronograma establecido, es necesario determinar la cantidad aproximada de aerosol que se consumirá en la inspección de cada tramo; para ello se tomará como referencia que el penetrante se consume totalmente entre 5-6m², 120m lineales de soldadura, y el revelador entre 3-4m², 80m lineales de soldadura, para aerosoles cuya capacidad es de 340cm³.^[27]

Por lo tanto, si se considera que en promedio por ensayo se inspeccionan 3m lineales de soldadura, entonces el aerosol de penetrante durará 40 ensayos y el del revelador 26 ensayos. Si se considera un margen de seguridad del 10%, se deberá adquirir el tinte penetrante cada 9 semanas y el revelador cada 5 semanas aproximadamente.

4.2 ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO DE LOS CORDONES DE SOLDADURA ENSAYADOS

Los criterios de aceptación y rechazo serán determinados en base a la norma AWS D1.3, que aplica para la soldadura de láminas de acero con espesores iguales o menores a 4.8 mm.

Todas las soldaduras inspeccionadas serán aceptadas si los criterios que se presentan a continuación se satisfacen:

- a) Ninguna fisura debe ser aceptada, independientemente de su tamaño o localización
- b) La frecuencia de la presencia de poros en el cordón de soldadura no debe exceder a una unidad por cada 100mm de longitud del cordón y el diámetro máximo aceptable será de 1mm

Nota: En caso de existir poros se deberá verificar mediante una prueba de fugas que el poro sea superficial y que no genere fugas de los gases de escape.

- c) Debe existir fusión completa en todo el cordón de soldadura y entre el metal de aporte y el metal base

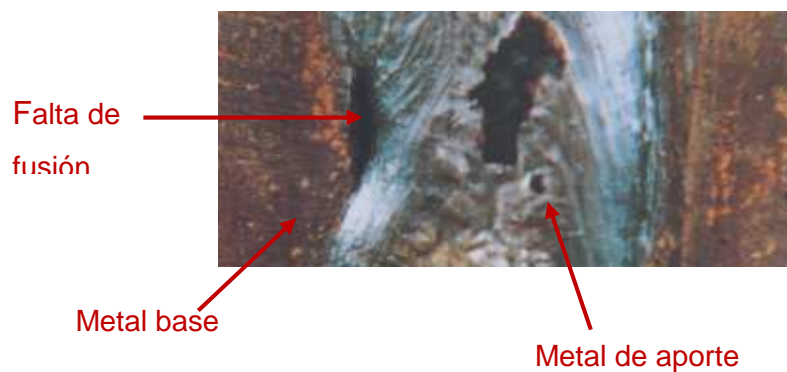


Figura 4.3 Fusión incompleta entre el metal base y el metal de aporte

Fuente: Guide for the Visual Examination of Welds^[22]



Figura 4.4 Fusión incompleta entre cordones de soldadura

Fuente: Guide for the Visual Examination of Welds^[22]

- d) Los perfiles en las juntas en "T", deben ser planas o ligeramente convexas, como se indica en la Figura 4.6



Figura 4.5 Cordón de soldadura ligeramente convexo

Fuente: Structural Welding Code_ Sheet Steel^[23]

- e) Si existen defectos por socavado, la longitud acumulada de los socavados no debe ser mayor a $L/8$, en donde, L es la longitud total del cordón de soldadura.

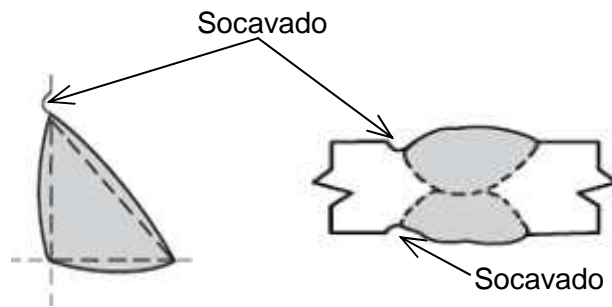


Figura 4.6 Defectos por socavado

Fuente: Structural Welding Code_ Sheet Steel^[23]

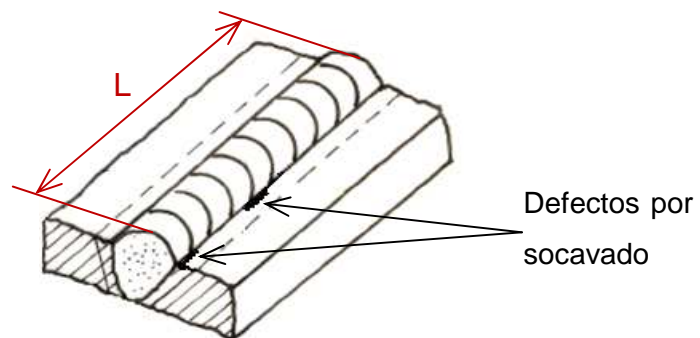


Figura 4.7 La longitud acumulada de socavados debe ser menor a $L/8$

Fuente: Desgaste de materiales, EPN^[24]

4.3 DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE ENSAYO

4.3.1 DETERMINACIÓN DEL LUGAR APROPIADO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Para que el ensayo no destructivo por tintas penetrantes sea efectivo, es necesario que sea realizado en un espacio físico apropiado que brinde seguridad y ergonomía al operador responsable de ejecutarlo; por ello se determinará el lugar idóneo entre los disponibles en planta.

4.3.1.1 Requerimientos de seguridad para el personal

Según las hojas de seguridad dadas por el proveedor de las tintas penetrantes (Ver Anexo D), los requerimientos del área para la ejecución del ensayo son:

1. Lugares en los que existan sistemas de ventilación y en caso de no existir, lugares abiertos en los cuales el uso de mascarilla con filtro impida que el personal aspire el rocío de los aerosoles.
2. La estación en la que se realiza el ensayo debe estar alejada de llamas o arcos eléctricos, pues las latas de aerosol puede explotar en ambientes cuya temperatura es superior a 54°C

4.3.1.2 Disponibilidad en la planta de INDIMA

En la planta de trabajo de la empresa existen dos lugares disponibles para la realización permanente del ensayo; uno ubicado en el área de trabajo del departamento de Desarrollo, y otro situado en el área de Inspección final, ambos lugares se pueden observar en el esquema que se presenta a continuación:

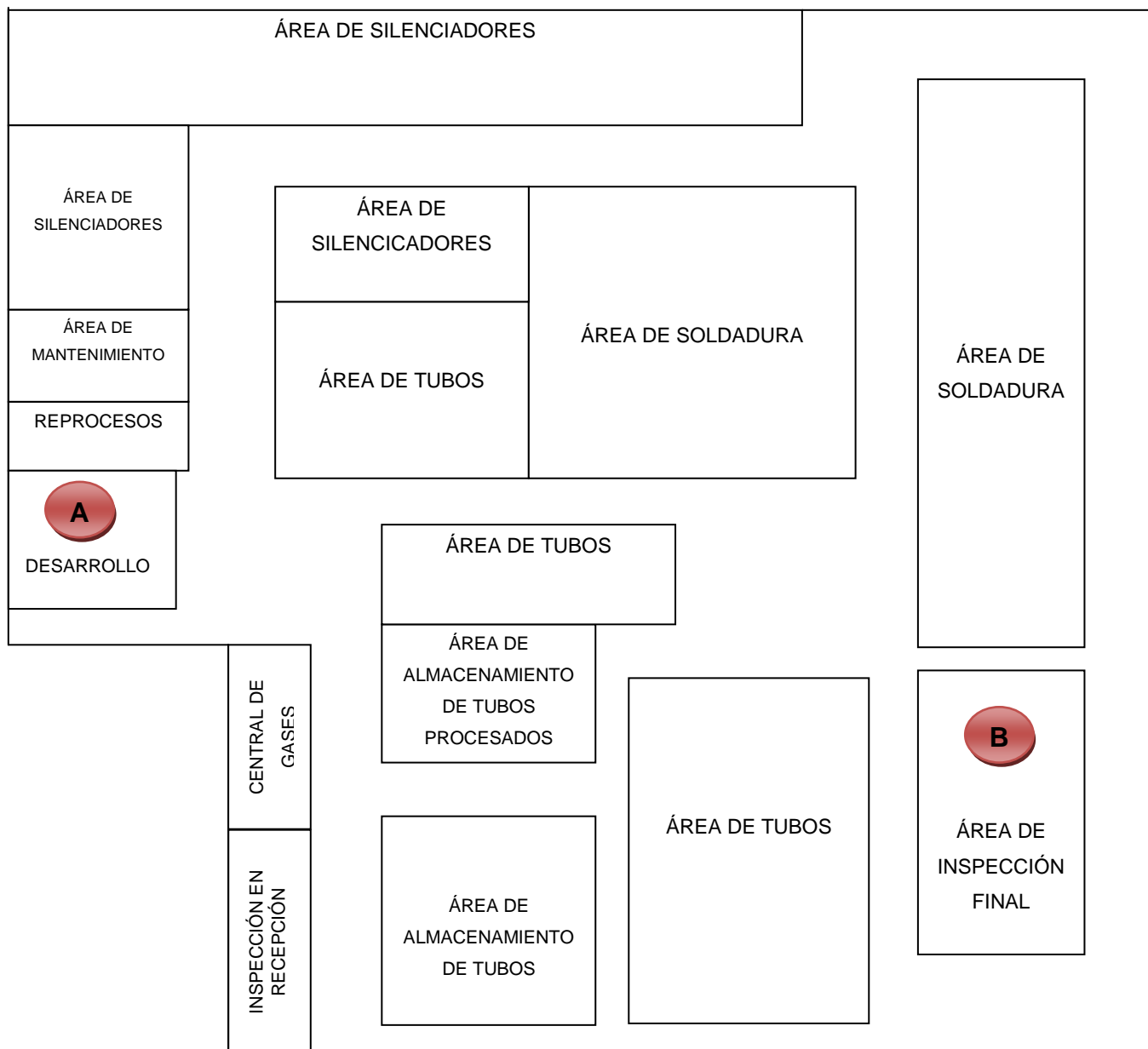


Figura 4.8 A) Área de trabajo del departamento de desarrollo; B) Área de inspección final

Fuente: INDIMA S.A.

En el área de desarrollo (A), existe una mesa disponible para la realización del ensayo sobre la cual se encuentra acoplada una campana de extracción correspondiente al sistema de ventilación, pero a poca distancia de la misma, se realizan procesos de soldadura. En el área de inspección final (B) existe también una mesa de trabajo sobre la cual se podría ejecutar el ensayo por tintas

penetrantes, aquí actualmente se realiza el proceso de barnizado de los cordones de soldadura y la inspección de los sistemas de escape mediante pruebas de fugas; ésta mesa está alejada a una distancia prudencial de los procesos de soldadura, pero no posee ninguna campana de extracción del sistema de ventilación, sin embargo, es un lugar abierto en donde bastaría el uso de mascarilla con filtro como equipo de protección personal para el operador responsable de ejecutar el ensayo.

Por lo antes expuesto, se ha decidido implementar el ensayo no destructivo en la mesa de barnizado del área de inspección final.

4.4 CAPACITACIÓN AL PERSONAL DE INDIMA S.A.

El ensayo no destructivo por tintas penetrantes, al ser una prueba que se ejecutará como auditoría interna del producto elaborado en la empresa, no es necesario que sea realizado por un operador calificado, basta con que conozca la manera correcta de ejecutar el ensayo y de evaluar los resultados, para ello se capacitará al personal encargado en conceptos básicos del ensayo, en su procedimiento, en normas de seguridad y en los criterios de aceptación o rechazo de los cordones de soldadura con los cuales deberá determinar si la soldadura está dentro de los parámetros de calidad establecidos. Además se instruirá en el modo correcto de llenar los formatos de “Evaluación de Resultados IT-10-04-06-RE01” (Anexo B) y de “Reporte de Inspección IT-10-04-06-RE02” (Anexo C).

Para verificar que los ensayos estén siendo realizados correctamente, se enviará un tramo rechazado por defectos de soldadura, al Laboratorio de Ensayos no Destructivos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN, para constatar que los resultados emitidos por el personal de la empresa, esté acorde a los resultados emitidos por el laboratorio.

4.5 EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN LA PLANTA

El ensayo por tintas penetrantes ha permitido controlar la calidad de los cordones de soldadura de los sistemas de escape enviados a las ensambladoras de General Motors, Aymesa y Maresa, así como los comercializados mediante la franquicia de TecnoScape; pues los cordones de soldadura con defectos han logrado ser detectados oportunamente en la línea de producción de INDIMA S.A., permitiendo tomar las acciones correctivas en el momento adecuado sin afectar los requerimientos de los clientes.

En base a los buenos resultados que ha brindado el ensayo, por tintas penetrantes, el personal ha decidido emplear este tipo de inspección en el área de tubos, para determinar si en la costura de las tuberías de acero inoxidable y aluminizado, existen grietas en el proceso de doblado que ocasionen la rotura de los componentes. De esta forma se ha logrado segregar a tiempo la materia prima defectuosa disminuyendo los tiempos y costos que acarrearán los re-procesos en la producción.

A medida que se realizan los ensayos, mediante tintas penetrantes, surgen nuevas situaciones favorables que permiten, al personal de la empresa, considerar el implementar este proceso de inspección en otras actividades tales como:

- Inspección del material suministrado por proveedores
- Inspección del sellado de silenciadores y presilenciadores
- Verificación del estado de la matricería y análisis de daños en la misma.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El presente proyecto de titulación cumple los objetivos planteados al inicio de su desarrollo, puesto que se ha logrado implementar un ensayo de inspección no destructivo para soldaduras en la empresa INDIMA S.A.
- El ensayo no destructivo por Tintas Penetrantes implementado, permite llevar un control interno de la calidad de los cordones de soldadura que se fabrican en INDIMA S.A., respaldando a las auditorías internas del producto que exige la calificación ISO/TS-16969 con la que cuenta la empresa.
- Este ensayo presentó varias ventajas en la implementación, entre ellas su fácil realización, la rápida interpretación de resultados y el bajo costo de implementación, en comparación con otros ensayos no destructivos que, si bien es cierto, brindan mayor sensibilidad en la detección de defectos, también presentan restricciones desfavorables para la aplicación que se requiere en INDIMA S.A.
- Este ensayo no destructivo no solamente puede ser empleado para el control de calidad de los cordones de soldadura que se producen en la empresa, sino que también pueden ser aplicados para la detección de defectos en otros componentes que forman parte de la materia prima a partir de la cual se fabrican los sistemas de escape, como es el caso de la tubería que, en el 2010, debido a un problema de calidad de proveedores a provocado el incremento de re-procesos perjudiciales para el proceso productivo.
- La implementación del ensayo no destructivo por tintas penetrantes en INDIMA S.A., contribuye como uno de los primeros pasos en la creación de un Laboratorio Interno en la empresa, el cual permitirá incrementar el control de la calidad de los productos que allí se elaboran, propiciando al

mejoramiento continuo de los procesos y productos que se ofrecen a los clientes.

- Este ensayo ha permitido detectar oportunamente los defectos en los cordones de soldadura, permitiendo tomar las medidas correctivas a tiempo, evitando de esta forma elaborar y suministrar un producto de baja calidad a los clientes.
- El ensayo no destructivo por tintas penetrantes puede ser aplicado para la inspección de distintos componentes, tales como materia prima, matricería, productos semi-elaborados y demás elementos de los sistemas de escape, incrementando el nivel de control de la calidad.

5.2. RECOMENDACIONES

- Cumplir con las normas de seguridad establecidas, las cuales indican que el ensayo no debe ser realizado en lugares cercanos a llamas o arcos eléctricos, pues las latas de aerosol pueden explotar en ambientes cuya temperatura es superior a 54°C, además el personal debe emplear mascarillas con filtro para evitar la aspiración del rocío emitido por los aerosoles.
- Es necesario verificar la correcta limpieza de la superficie a ensayar, pues grasa o cualquier otro contaminante pueden generar falsas indicaciones anulando por completo el objetivo del ensayo.
- Al momento de aplicar el tinte penetrante, se debe tener cuidado de no desperdiciar líquido, pues esto se convierte en sobre-costos para el ensayo, además que se incumple la política de reducción de desperdicios de la empresa.
- Se debe tener cuidado de aplicar la cantidad adecuada de revelador, pues si se aplica muy poco, es posible que no sea la suficiente cantidad para revelar los posibles defectos, mientras que si se aplica en exceso, se los puede enmascarar.
- Es necesario que la evaluación de los resultados del ensayo se la realice inmediatamente después de ser aplicado el revelador, pues a medida que

éste último actúa, provoca que el tinte se difumine de tal manera que sea imposible determinar correctamente los posibles defectos.

- Analizar las ventajas que se obtendrían al cambiar el ensayo de tintas penetrantes por el ensayo mediante líquidos fluorescentes, pues de esta forma se obtendría mayor sensibilidad en la detección de defectos.
- El ensayo de tintas penetrantes puede ser aplicado favorablemente en la inspección de la calidad de la materia prima a partir de la cual se elaboran los sistemas de escape, verificación del estado de la matricerías y control del proceso de sellado de silenciadores y presilenciadores.
- Al implementar este método de inspección en la verificación del estado de la materia prima, matricería u otros componentes procesados, adicional al ensayo de los cordones de soldadura, se recomienda realizar el análisis costo-beneficio de importar directamente el equipo de tintas penetrantes que sea necesario para cubrir la demanda de las nuevas aplicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PÁGINAS DE INTERNET

- [1] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/rodriguez_p_o/capitulo3.pdf
- [2] <http://www.tkfortinox.com/pdf/inoxidables/ferriticos/409.pdf>)
- [3] <http://www.megaplast.com.ec/catalogo/Inoxidab.html>
- [4] <http://www.exco.com.co/archivos/mpacero.pdf>
- [5] http://www.arcelormittal.com/fce/prd_web/new_web_details.pl?code=E50&langlist=ES
- [6] http://www.conduit.com.ec/intro.php?pagina=productos/pro_tc9.php
- [7] <http://www.acasa.com.co/ACERO-ASTM-36-NTC-1920-1>
- [8] <http://www.taringa.net/posts/ebooks-tutoriales/2788466/Manual-Soldadura-y-Catalogo-Indura---espanol-y-en-pdf.html>
- [9] http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/soldaduramig/
- [11] <http://content.lincolnelectric.com/es/pdfs/products/literature/InvertecSTTIIes.pdf>
- [12] http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=190:efecto-de-las-variables-en-el-proceso-de-soldadura-gmaw-migmag&catid=21:procesos-de-soldadura&Itemid=69
- [14] http://fain.uncoma.edu.ar/materias/ensayos_no_destructivos/Catedra_END/3-Defectologia/Defectologia.pdf
- [15] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:kjooDS7YZ6UJ:www.esabna.com/mx/sp/educacion/upload/Inspeccion-en-Fabricacion-2.doc+www.esabna.com/mx/sp/.../Inspeccion-en-Fabricacion-2.doc&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

[17] <http://www.sindes.com/2801.html>

[18] <http://www.aireyespacio.com/2009/11/inspeccion-por-particulas-magneticas-ii.html>

[19] <http://webpages.ull.es/users/mhdezmm/Practicas/SOLDADURA.pdf>

[25] http://www.llogsa.com/nueva_web/tutoriales/particulas-magneticas/particulas-magneticas-inicio-tema3_1.php

[26] <http://www.scribd.com/doc/29285450/Manual-de-Procedimiento-de-Ensayos-No-Destructivos-Par-El-Metodo-de-Ultrasonido>

BIBLIOGRAFÍA

[10] International Technical Development Centre; Basic Principles Gas shield metal arc welding; Rüsselsheim; 2000

[13] Laboratorio de Soldadura; Tecnología de Soldadura; EPN; Quito; 2006

[16] PATTON W. J.; Ciencia y técnica de la soldadura; Urmo; Bilbao; 1967

[20] RIBA, C.; Diseño concurrente; Ediciones UPC; Barcelona; 2002

[21] GUTIÉRREZ, H; Calidad total y productividad; McGraw-Hill; México; 2005

[22] AWS B1.11, Guide for the Visual Examination of Welds; 2000

[23] ANSI/AWS D1.3.; Structural Welding Code_ Sheet Steel; 1998

[24] VILLACRÉS, M; Desgaste, corrosión y falla de materiales; EPN; Quito; 2008

[27] Laboratorio de ensayos no destructivos; Guía de prácticas, Principios y control de soldadura; EPN; Quito; 2008

ANEXOS

ANEXO A

**MÁQUINAS SOLDADORAS EXISTENTES EN INDIMA
S.A.**

Soldadoras automáticas y semi-automáticas existentes en INDIMA S.A.

- **Soldadora semi- automática Fronius 3400:**



Cantidad: 8 máquinas

Características técnicas:

Red : 230V, 60Hz, 20A

Margen de corriente de soldadura : 10-340 A

Tensión en vacío : 45V

Tensión de trabajo : 14,5 – 31 V

Velocidad de hilo : 0 – 18 m/min

- **Soldadora automática Fronius 2700:**



Cantidad: 2 máquinas

Características técnicas:

Red : 400 V, 16 A,

Margen de corriente de soldadura : 3 – 270 A

Tensión en vacío : 50 V

Tensión de trabajo : 14,2 – 27,5 V

Velocidad de hilo : 0,5 – 22 m/min

Velocidad soldadura: 0,07 - 1,4 rpm

Fuente: Datos INDIMA S.A. 2010

ANEXO B

FORMATO: "EVALUACIÓN DE RESULTADOS

IT-10-04-06-RE01"



IT-10-04-06-RE01
Rev: 00

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Informe N°

Fecha

IDENTIFICACION DE LA PIEZA

Descripción

Material

Lote de
producción

Tamaño de
la muestra

Estado superficial antes del ensayo:

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Todas las soldaduras inspeccionadas serán aceptadas si los criterios que se presentan a continuación se satisfacen:

a) Ninguna fisura debe ser aceptada, independientemente de su tamaño o localización

b) La frecuencia de la presencia de poros en el cordón de soldadura no debe exceder a una unidad por cada 100mm de longitud del cordón y el diámetro máximo aceptable será de 1mm

Nota: En caso de existir poros se deberá verificar mediante una prueba de fugas que el poro sea superficial y que no genere fugas de los gases de escape.

c) Debe existir fusión completa en todo el cordón de soldadura y entre el metal de aporte y el metal base

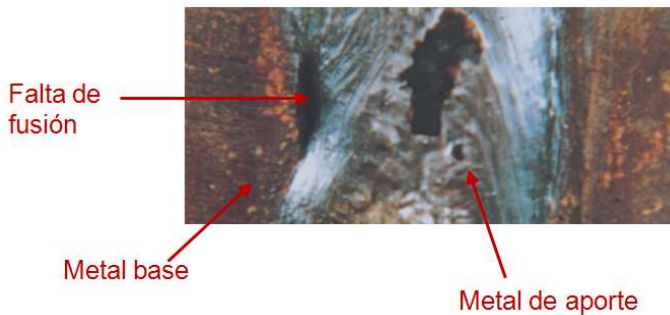


Figura 1. Fusión incompleta entre el metal base y el metal de aporte

Figura 2. Fusión incompleta entre cordones de soldadura

d) Los perfiles en las juntas en "T", deben ser planas o ligeramente convexas, como se indica en la Figura 3.

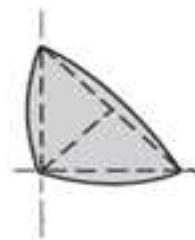


Figura 3. Cordón de soldadura ligeramente convexo

e) Si existen defectos por socavado, la longitud acumulada de los socavados no debe ser mayor a $L/8$, en donde, L es la longitud total del cordón de soldadura.

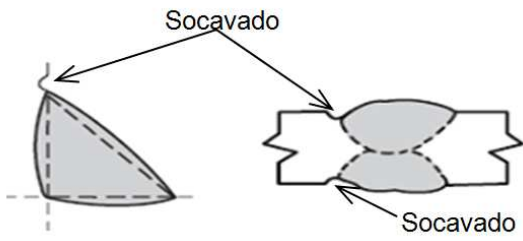


Figura 4. Defectos por socavado

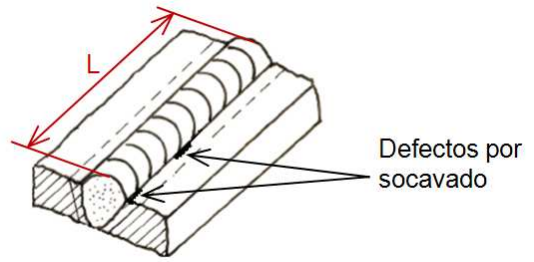


Figura 5. La longitud acumulada de socavados debe ser menor a $L/8$

DISCONTINUIDADES ENCONTRADAS

Tipo de Discontinuidad	Estado OK/NOK	Observaciones
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

OPERADOR

Nombre:		Firma:	
---------	--	--------	--

ANEXO C

FORMATO: "REPORTE DE INSPECCIÓN

IT-10-04-06-RE02"



IT-10-04-06-
RE02
Rev: 00

REPORTE DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES

Informe
N°

Fecha

a. IDENTIFICACION DE LA PIEZA

Descripción					
Material		Lote de producción		Tamaño de la muestra	
Estado superficial antes del ensayo:					

b. ESQUEMA DE LA PIEZA

--

c. EQUIPOS Y MATERIAL

Técnica:	Tintas penetrantes B2		
Limpiador/Removedor:	SKC-S	Solvente:	SKC-S
Penetrante:	SKL-SP1	Revelador:	SKD-S2
Accesorios:		Observaciones:	
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

d. TIEMPOS DE APLICACIÓN

Penetrante:	SKL-SP1	Revelador:	SKD-S2		Tiempo Total del Ensayo:	Estándar:	45	min	
Estándar:	10	min	Estándar:	20		min	Real:		min
Real:		min	Real:			min	Nota: Incluye el tiempo de limpieza		

e. NORMA ACEPTACIÓN/RECHAZO**f. RESULTADOS**

Tipo de Discontinuidad	Observaciones	Evaluación OK/NOK
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		

g. OPERADOR:

Nombre:		Firma Operador:	
----------------	--	------------------------	--

h. REVISIÓN Y APROBACIÓN:

Fecha:		Firma Jefe de Calidad:	
---------------	--	-------------------------------	--

ANEXO D

**HOJAS DE SEGURIDAD PARA EL EQUIPO DE END POR TINTAS
PENETRANTES**