



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**Inspección y control de calidad en conexiones soldadas de miembros
estructurales de acero del edificio Torre Piamonte**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autor:
MOISÉS VALENTÍN RAMÓN PINEDA

Director:
ROBERTO GAMÓN TORRES

CUENCA – ECUADOR
2015

DEDICATORIA

A mis queridos padres por ser parte fundamental de mi formación profesional, durante mi etapa de estudiante en la universidad, quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional y respetaron todas mis decisiones.

A mis hermanos, familia y amigos; por inspirar mis estudios, levantarme en los momentos más difíciles y haber confiado en mí capacidad para cumplir los retos que se presentaron todos estos años.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me dio la vida y me ha colmado de bendiciones siempre, a Él que con su eterno amor me ha dado la sabiduría suficiente para culminar mi carrera universitaria.

A mis padres por todo el esfuerzo que hicieron para darme una profesión y hacer de mí una persona de bien, gracias por los sacrificios y la paciencia que demostraron todos estos años; por ellos he llegado a donde estoy.

También de manera especial a los siguientes profesionales:

Director de tesis, Ing. Roberto Gamón Torres, Phd., Msc; gracias a su colaboración, conocimiento y apoyo se logró desarrollar de la presente tesis desde el inicio hasta su culminación.

Co-director de tesis, Ing. Vázquez Calero José Fernando, Msc; quien aparte de brindar sus conocimientos durante estos años en las aulas, fue el gestor principal de que este tema de tesis sea desarrollado.

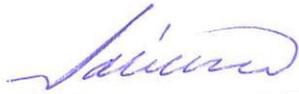
Ing. Paul Pintado (SNT-TC-1A Level II PT-UT); gracias a su cooperación, conocimiento y equipos de inspección de Ensayos No Destructivos para soldadura (END), se pudo hacer realidad los ensayos prácticos en obra de este de trabajo de graduación.

**INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN CONEXIONES SOLDADAS
DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE ACERO DEL EDIFICIO TORRE
PIAMONTE**

RESUMEN

Actualmente en nuestro medio existe un alto porcentaje de construcción informal de estructuras metálicas, debido a la ineficiente ejecución de la soldadura como material de conexión. Además, la construcción también se ve afectada por la poca importancia que dan los constructores, como: Ingenieros Civiles o Arquitectos, a los códigos y normativas establecidas referentes a soldadura y acero estructural, esto sumado a la escasa participación de profesionales certificados por: la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos (ASNT), para llevar a cabo las tareas de inspección de soldadura y ensayos no destructivos respectivamente. Una de las herramientas indispensables y efectivas para la inspección y control de calidad de soldadura son los Ensayos no Destructivos (END); estos son métodos que permiten determinar discontinuidades externas o internas presentes en un cordón de soldadura.

Palabras Clave: Ensayos No Destructivos (END), soldadura, estructuras, discontinuidades, inspección, conexiones.



Ing. Paúl Cornelio Cordero Díaz
Director de Escuela



Ing. Roberto Gamón Torres
Director de Tesis



Moisés Valentín Ramón Pineda
Autor

INSPECTION AND QUALITY CONTROL OF THE WELDED CONNECTIONS OF STRUCTURAL STEEL MEMBERS AT *TORRE PIAMONTE* BUILDING

ABSTRACT

Currently, in our environment there is a high percentage of informal construction of steel structures due to the inefficient execution of welding as connecting material. In addition, construction is also affected by the little relevance given to builders as Civil Engineers or Architects, as well as to the codes and regulations for welding and structural steel. This situation adds to the low participation of professionals certified by the American Welding Society (AWS), American Society for Nondestructive Testing (ASNT) to carry out the inspection tasks of welding and non-destructive tests respectively. One of the essential and effective tools for welding inspection and quality control are the Non-Destructive Testing (NDT). These are methods for determining external or internal discontinuities present in a welding cord.

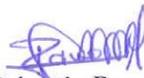
Keywords: Non-Destructive Testing (NDT), Welding, Structures, Discontinuities, Inspection Connections.



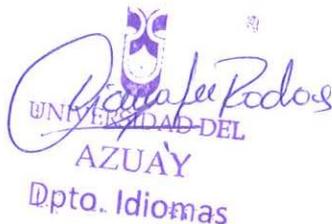
Ing. Paúl Cornelio Cordero Díaz
SCHOOL DIRECTOR



Ing. Roberto Gamón Torres
THESIS DIRECTOR



Moisés Valentín Ramón Pineda
AUTHOR



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT Y KEYWORDS	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xiv
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS PRELIMINARES	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Ubicación geográfica.....	8
1.3 Descripción del estado actual de la construcción	9
1.3.1 Material de miembros estructurales	10
1.3.2 Conexión entre miembros estructurales	14
1.3.3 Equipo de soldadura empleado	17
1.3.4 Electrodos utilizados en proceso de soldadura.....	17
1.4 Estudio de documentos de diseño.....	19
1.4.1 Diseño Estructural	19
CAPITULO II: SOLDADURA EN ESTRUCTURAS DE ACERO	26
2.1 Introducción.....	26
2.2 Soldadura en estructuras de acero	26
2.2.1 Definición.....	26
2.2.2 Tipos de soldadura	28

2.2.2.1	Soldadura de ranura.....	28
2.2.2.2	Soldadura de filete.....	31
2.2.2.3	Soldadura de tapón.....	32
2.2.3	Tipos de juntas.....	33
2.3	Procesos de soldadura en elementos estructurales.....	34
2.3.1	Proceso SMAW (soldadura por arco con electrodo metálico revestido).....	38
2.3.1.1	Generalidades.....	38
2.3.1.2	Principios del funcionamiento.....	38
2.3.1.3	Aplicaciones.....	39
2.3.1.4	Ventajas.....	39
2.3.1.5	Limitaciones.....	39
2.3.2	Electrodos.....	40
2.3.2.1	Clasificación.....	41
2.3.3	Intensidad de la corriente de soldadura.....	43
2.4	Defectos y discontinuidades de soldadura.....	43
2.4.1	Defectos a causa de una preparación incorrecta de materiales.....	43
2.4.1.1	Geometría incorrecta del cordón de soldadura.....	44
2.4.1.2	Falta de alineación.....	47
2.4.1.3	Distorsiones.....	48
2.4.1.4	Cebado inadecuado del arco.....	49
2.4.1.5	Descuelgues.....	49
2.4.2	Defectos superficiales.....	50
2.4.2.1	Mordeduras o socavación.....	50
2.4.2.2	Cráteres.....	51
2.4.2.3	Poros.....	52
2.4.3	Defectos internos.....	53
2.4.3.1	Grietas.....	53

2.4.3.2	Inclusiones de escorias	55
2.4.3.3	Porosidades.....	56
CAPITULO III: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)		57
3.1	Introducción.....	57
3.2	Objetivos de los END	57
3.3	Beneficio del empleo de los END	58
3.4	Limitaciones de los END	59
3.5	Técnicas de inspección	59
3.6	Técnicas de inspección superficial	60
3.6.1	Inspección visual (VT).....	60
3.6.1.1	Principios y descripción de la técnica	61
3.6.1.2	Requisitos	61
3.6.1.3	Aplicaciones	62
3.6.1.4	Equipo	62
3.6.1.5	Instrumentos y herramientas	62
3.6.1.6	Indicadores de soldadura	63
3.6.1.7	Ventajas:	65
3.6.1.8	Limitaciones	66
3.6.2	Líquidos penetrantes (PT).....	66
3.6.2.1	Principios y descripción de la técnica	67
3.6.2.2	Requisitos:	68
3.6.2.3	Aplicaciones	69
3.6.2.4	Equipo:	69
3.7	Técnicas de inspección volumétrica.....	72
3.7.1	Ultrasonido industrial (UT).....	73
3.7.1.1	Principio y descripción de la técnica	74
3.7.1.2	Requisitos	76

3.7.1.3	Aplicaciones	77
3.7.1.4	Equipo	77
CAPITULO IV: PROCEDIMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS END		85
4.1	Introducción.....	85
4.2	Procedimiento.....	86
4.2.1	Formato de información general de los END	87
4.2.2	Inspección visual.....	89
4.2.2.1	Alcance	89
4.2.2.2	Objetivo del método	89
4.2.2.3	Normas de referencia.....	89
4.2.2.4	Personal	89
4.2.2.5	Equipos y materiales	90
4.2.2.6	Procedimiento.....	90
4.2.2.7	Normas de aceptación y rechazo	92
4.2.2.8	Informe	92
4.2.3	Tintas penetrantes.....	94
4.2.3.1	Alcance	94
4.2.3.2	Objetivo del método	94
4.2.3.3	Normas de referencia.....	94
4.2.3.4	Personal	95
4.2.3.5	Equipos y materiales	95
4.2.3.6	Procedimiento.....	95
4.2.3.7	Normas de aceptación y rechazo	97
4.2.3.8	Informe	97
4.2.4	Ultrasonido industrial.....	99
4.2.4.1	Alcance	99

4.2.4.2	Objetivos	99
4.2.4.3	Normas de referencia.....	100
4.2.4.4	Personal	100
4.2.4.5	Equipos y materiales	100
4.2.4.6	Procedimiento.....	101
4.2.4.7	Normas de aceptación y rechazo	104
4.2.4.8	Informe	104
4.3	Aplicación	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		129
BIBLIOGRAFIA.....		135
ANEXOS		136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Edificio Torre Piamonte.....	8
Figura 1-2: Estado actual de la construcción.....	9
Figura 1-3: Estado actual de la estructura de acero.....	9
Figura 1-4: Presentaciones del acero estructural.....	12
Figura 1-5: Detalle de viga armada I con soldadura de filete.....	12
Figura 1-6: Cordones de soldadura alternados en viga tipo I en obra.....	13
Figura 1-7: Sección rectangular compuesta.....	13
Figura 1-8: Rigidizadores de montaje para columna compuesta.....	14
Figura 1-9: Detalle de montaje de vigas y columnas de acero.....	14
Figura 1-10: Conexión de viga y columna de acero con soldadura de filete en obra.....	15
Figura 1-11: Detalle de conexión columna-placa de anclaje en obra.....	15
Figura 1-12: Sección de cordones superpuestos o escalonados.....	16
Figura 1-13: Detalle de zapata tipo 1.....	16
Figura 1-14: Soldadora marca Arcweld empleada en obra.....	17
Figura 1-15: Electrodo E-6011.....	17
Figura 1-16: Aplicación de electrodo E-6011 para montaje viga-columna en obra.....	18
Figura 1-17: Electrodo E-7018.....	18
Figura 1-18: Aplicación de electrodo E-7018 para montaje viga-columna en obra.....	19
Figura 1-19: Modelo estructural de edificación.....	20
Figura 1-20: Propiedades de los materiales.....	20
Figura 1-21: Sección de los perfiles estructurales.....	21
Figura 1-22: Propiedades mecánicas de los materiales.....	21
Figura 1-23: Sección I de viga armada.....	22
Figura 1-24: Sección de columna de acero.....	24
Figura 1-25: Elevación lateral y vista superior de la estructura.....	24
Figura 2-1: Detalle de aplicación de soldadura.....	27
Figura 2-2: Cordones de soldadura.....	28
Figura 2-3: Cordón de soldadura de ranura, empalme viga-viga.....	29
Figura 2-4: Cordón de soldadura de ranura, empalme columna-columna.....	29

Figura 2-5: Partes de una soldadura de ranura con juta a tope.....	29
Figura 2-6: Soldadura de filete en obra.....	31
Figura 2-7: Secciones de soldadura de filete.....	32
Figura 2-8: Detalle de soldadura de tapón.....	33
Figura 2-9: Procesos de soldadura y unión.....	35
Figura 2-10: Representación gráfica de soldadura por arco eléctrico.....	39
Figura 2-11: Componentes de una soldadura por arco de metal protegido.....	40
Figura 2-12: Nomenclatura de electrodos.....	41
Figura 2-13: Dígitos indicadores de nomenclatura I.....	42
Figura 2-14: Dígitos indicadores de nomenclatura II.....	42
Figura 2-15: Diámetros de electrodos.....	43
Figura 2-16: Falta de material de aporte en sección de soldadura.....	44
Figura 2-17: Sobreespesor de soldadura en la sección.....	45
Figura 2-18: Geometría de los cordones.....	46
Figura 2-19: Falta de alineación de metal base.....	47
Figura 2-20: Distorsión del metal base.....	48
Figura 2-21: Descuelgue del material de aporte.....	49
Figura 2-22: Mordeduras superficiales.....	50
Figura 2-23: Socavación en una unión T.....	51
Figura 2-24: Cráter presente en la soldadura.....	51
Figura 2-25: Porosidad en la soldadura.....	52
Figura 2-26: Tipos de grietas.....	53
Figura 2-27: Inclusiones de escoria.....	55
Figura 2-28: Porosidad.....	56
Figura 3-1: Calibradores digitales para soldadura de filete.....	62
Figura 3-2: Lupa de inspección 10x.....	63
Figura 3-3: Preparación de bisel para soldadura de ranura.....	64
Figura 3-4: Calibradores de bisel en el metal base.....	64
Figura 3-5: Calibre para soldadura de filete.....	65
Figura 3-6: Calibre universal.....	65
Figura 3-7: Principio básico de la técnica de tintas penetrantes.....	67
Figura 3-8: Procedimiento de la técnica de tintas penetrantes.....	68
Figura 3-9: Líquido removedor de impurezas.....	70
Figura 3-10: Líquido penetrante en las discontinuidades existentes.....	71

Figura 3-11: Líquido revelador de discontinuidades existentes.....	71
Figura 3-12: Equipo de ultrasonido industrial.....	74
Figura 3-13: Ondas superficiales o de Rayleigh.....	75
Figura 3-14: Ondas longitudinales.....	75
Figura 3-15: Ondas transversales o de corte.....	76
Figura 3-16: Componentes principales del sistema de transmisión.....	78
Figura 3-17: Palpador de ultrasonido.....	79
Figura 3-18: Sección de transductor de ultrasonido.....	79
Figura 3-19: Palpador de haz angular.....	80
Figura 3-20: Proyección de haz angular a cordón de soldadura.....	80
Figura 3-21: Materiales de transductores.....	81
Figura 3-22: Bloque de calibración basado en el código AWS D1.1.....	83
Figura 4-1: Limpieza de impurezas en conexiones soldadas.....	90
Figura 4-2: Medición de soldadura de filete.....	91
Figura 4-3: Soldadura rechazada visualmente.....	91
Figura 4-4: Tamaño mínimo de soldadura de filete.....	92
Figura 4-5: Aplicación de removedor en obra.....	95
Figura 4-6: Aplicación de penetrante en obra.....	96
Figura 4-7: Aplicación de revelador en obra.....	96
Figura 4-8: Soldadura aprobada por tintas penetrantes en obra.....	97
Figura 4-9: Ultrasonido en Olympus Serie EPOCH 1000 en obra.....	101
Figura 4-10: Bloque de calibración según AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 en obra.....	101
Figura 4-11: Remoción de impurezas adheridas a junta soldada en obra.....	102
Figura 4-12: Tipos de barrido de palpador.....	103
Figura 4-13: Ejemplo de falta de penetración en la junta soldada en obra.....	103
Figura 4-14: Criterio de aceptación y rechazo por ultrasonido.....	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Elementos componentes del acero estructural.....	11
Tabla 1-2: Características mecánicas del acero A36.....	11
Tabla 1-3: Características del equipo Arcweld.....	17
Tabla 1-4: Características geométricas y propiedades mecánicas de vigas.....	23
Tabla 1-5: Características geométricas y propiedades mecánicas de columnas.....	24
Tabla 1-6: Resumen de perfiles.....	25
Tabla 2-1: Componentes básicos en una unión soldada.....	27
Tabla 2-2: Tipos de soldadura de ranura.....	30
Tabla 2-3: Tipos de juntas de soldadura.....	33
Tabla 2-4: Procesos de soldadura por arco.....	36
Tabla 2-5: Perfiles de los tipos de soldadura de ranura y filete, aceptables y no aceptables.....	46
Tabla 4-1: Información general de los END.....	87
Tabla 4-2: Especificaciones y condiciones generales de los END.....	88
Tabla 4-3: Inspección visual de los END.....	93
Tabla 4-4: Tintas penetrantes de los END.....	98
Tabla 4-5: Ultrasonido industrial.....	105
Tabla 4-6: Datos general de inspección realizada.....	107
Tabla 4-7: Especificaciones y condiciones generales de inspección realizada.....	108
Tabla 4-8: Inspección visual: conexión sin agujeros de acceso.....	109
Tabla 4-9: Inspección visual: Detalle de agujeros de acceso y de placas de continuidad.....	110
Tabla 4-10: Inspección visual: Soldadura rechazada y dimensiones de filete.....	111
Tabla 4-11: Inspección visual: Ejemplo de conexión precalificada viga-columna.....	112
Tabla 4-12: Parámetros tintas penetrantes.....	113
Tabla 4-13: Inspección de subsuelo 1.....	114
Tabla 4-14: Inspección de planta baja.....	115
Tabla 4-15: Inspección de segunda planta.....	116
Tabla 4-16: Inspección de tercera planta.....	117
Tabla 4-17: Inspección de quinta planta.....	118
Tabla 4-18: Especificaciones de equipo de ultrasonido.....	119

Tabla 4-19: Inspección de subsuelo 2.....	120
Tabla 4-20: Inspección de planta baja empalme columna-columna.....	121
Tabla 4-21: Inspección de segunda planta empalme columna-columna.....	122
Tabla 4-22: Inspección de quinta planta empalme columna-columna.....	123
Tabla 4-23: Informe fotográfico.....	124
Tabla 4-24: Informe fotográfico 2.....	125
Tabla 4-25: Resumen general de resultados por inspección visual.....	126
Tabla 4-26: Resumen general de resultados por tintas penetrantes.....	127
Tabla 4-27: Resumen general de resultados por ultrasonido.....	128

Moisés Valentín Ramón Pineda

Trabajo de Grado

Ing. Roberto Gamón Torres

Septiembre, 2015

INSPECCIÓN Y CONTROL DE CALIDAD EN CONEXIONES SOLDADAS DE MIEMBROS ESTRUCTURALES DE ACERO DEL EDIFICIO TORRE PIAMONTE

INTRODUCCION

Actualmente en nuestro medio existe un alto porcentaje de construcción informal de estructuras metálicas, por causa del manejo inapropiado de materiales, la poca experiencia de los constructores en el área de acero y suelda, la falta de participación de profesionales certificados para realizar la inspección de soldadura, la escasa capacitación técnica al personal de obra necesario para lograr una suelda de óptima calidad, así como el bajo conocimiento en esta área por parte de constructores, como son los ingenieros civiles, quienes ejecutan estructuras de gran magnitud en acero aplicando procesos de soldadura sin realizar un adecuado control de calidad de la misma.

Esta problemática conlleva a la mala ejecución de la soldadura como material de conexión, en la cual no se tiene planes de control de calidad que toda obra armada con un sistema de soldadura requiere. Por lo que es necesario realizar una inspección en el edificio Torre Piamonte mediante el uso de Ensayos No Destructivos (END) en sus juntas soldadas. Este documento está elaborado fundamentalmente en base a lo indicado en el cap. 5, acápite 5.1.4 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que indica claramente que los profesionales encargados para realizar las actividades de fiscalización y diseño, son los ingenieros civiles; de la misma forma para la fabricación

y montaje de estructuras de acero, también participan con su respectiva certificación como inspector de soldadura otorgada por la AWS, o un título de tercer o cuarto nivel en tecnología de la soldadura.

Para realizar la fiscalización en conexiones soldadas de miembros estructurales de acero en el edificio Torre Piamonte se han considerado aspectos como: la falta de inspección y control de calidad de la soldadura aplicada a las juntas de la estructura; el diseño estructural de la edificación y los tipos de END necesarios para llevar a cabo la detección, evaluación y calificación de la soldadura aplicada. En vista a la gran responsabilidad que tienen los ingenieros civiles en la construcción de edificios de acero estructural; este documento tiene como finalidad dar a conocer cuáles son los procedimientos necesarios para garantizar las conexiones soldadas de las estructuras armadas con acero, debido que en la actualidad son muy poco conocidos pero a la vez fundamentales en el campo de la construcción.

Finalmente cabe señalar que este trabajo está dirigido al proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo metálico revestido (SMAW), debido que es el único proceso utilizado en la construcción de la estructura del edificio.

Antecedentes

La ciudad de Cuenca a lo largo de muchos años ha venido realizando sus construcciones de forma tradicional utilizando materiales como el adobe, madera, yeso y hormigón; sin embargo en los últimos años se ha ido desarrollando la construcción de algunos edificios y viviendas, utilizando como material el acero. El acero ha sido utilizado en otros países como material para la construcción de puentes, torres y rascacielos desde finales del siglo XVIII, dando paso a nuevos sistemas y métodos de construcción tanto en el campo de la ingeniería civil como en el arquitectónico, aplicándolos por ejemplo para la elaboración de las vigas y columnas, que conforman los pórticos de los sistemas estructurales de los edificios actuales.

Con el transcurrir de los años los sistemas constructivos con acero han ido sustituyendo el uso del hormigón como material para la construcción de las estructuras de edificaciones, debido a sus ventajas como la rapidez de montaje, alta resistencia a la

compresión y tracción, conforman estructuras ligeras, es reciclable, entre otras. Conforme avanza la construcción de modernas edificaciones en Cuenca se emplean nuevos materiales y métodos constructivos, y también se desarrollan técnicas que facilitan la producción y montaje de estos.

Para el caso del acero estructural el sistema de sujeción utilizado en la antigüedad fue el remachado, el cual se sustituyó por el empernado y actualmente por procesos de soldadura que agilizan y efectivizan la construcción de las juntas de miembros estructurales en las edificaciones modernas. Entre las técnicas utilizadas para garantizar la correcta aplicación de los procesos de soldadura en juntas de miembros estructurales se encuentran los Ensayos No Destructivos (END) para soldadura, el cuál es el objeto de estudio en el presente documento, método que será aplicado a las juntas de los miembros estructurales del edificio Torre Piamonte.

Justificación

En vista que en Cuenca aumenta la construcción de edificaciones como: departamentos para vivienda, hospitales, entre otras estructuras de acero; muchas de ellas ejecutadas con procesos de soldadura de manera incorrecta e informal; los ingenieros civiles encargados de la construcción y fiscalización según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) capítulo 5 indica claramente que dichos profesionales para ejecutar las actividades de diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero deben tener conocimiento de cuáles son los procedimientos técnicos para garantizar las soldadura que conforman las juntas de los miembros estructurales de acero de una edificación; lo cual es base fundamental para la elaboración de esta investigación.

Los Ensayos No Destructivos para soldadura, es una técnica de ingeniería que nos permite corregir errores que se pueden presentar en las juntas soldadas de los elementos estructurales evitando futuros riesgos a la estructura.

Alcance

El alcance de este documento de investigación se enfoca principalmente en llevar a cabo la inspección y control de calidad de la soldadura aplicada en las juntas de los miembros estructurales del edificio Torre Piamonte; detectando, evaluando y calificando el proceso de soldadura utilizado, así como las irregularidades y discontinuidades que se presenten en las juntas soldadas de la estructura mediante el uso de END, como: inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido.

Al realizar la fiscalización de la soldadura de esta estructura finalmente se llegará a obtener resultados que estarán a disposición de la constructora Tosi Moreno; quién tendrá la potestad para decidir la corrección de las irregularidades y discontinuidades de soldadura encontradas en la estructura durante la elaboración de este documento. En la actualidad la construcción de edificios con acero estructural empieza a tener mayor demanda en Cuenca y en el país, por lo que es necesario que los profesionales responsables de la construcción e inspección de los sistemas estructurales, como son los ingenieros civiles, deben tener mayor conocimiento de estos tipos de END para soldadura y cuáles son sus beneficios durante la vida útil de la edificación.

De esta manera el presente documento tiene también como finalidad generar mayor conciencia tanto a constructores como fiscalizadores acerca de la gran importancia de la inspección y control de calidad en la soldadura de las estructuras de acero debido a que en la actualidad es muy poco común aplicar estos procedimientos por motivos como la falta de conocimiento en el área, la falta de personal de obra calificada, pocos profesionales certificados y esencialmente la irresponsabilidad que se tiene al construir estructuras de acero, utilizando procesos de soldadura sin el control técnico que estas requieren.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la inspección y control de calidad en conexiones soldadas de miembros estructurales de acero en el edificio Torre Piamonte.

Objetivos específicos

- Recopilar y estudiar la información técnica existente sobre el proyecto.
- Visita de la edificación para la toma de datos, realización de los END, observación visual antes, durante y después de ejecutar los procedimientos de soldadura.
- Estudio de cada tipo de ensayo no destructivo descrito en el capítulo 5 de acero de la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Garantizar los procesos de soldadura aplicados a la edificación.

Marco teórico

El campo de la soldadura y los END en estructuras de acero son muy utilizados pero identificados de forma breve, mas no con el carácter técnico que a estos corresponde dentro de la ingeniería civil; por tanto a lo largo de la elaboración de este trabajo se utilizarán varios términos y definiciones cuyos significados están descritos a continuación.

Amperaje: Es la cantidad de electricidad que fluye durante el proceso de soldadura; se lo conoce también como la potencia o cantidad de calor, en una soldadura de arco eléctrico.

Plan de control de calidad PCC: Documento que contiene los trabajos de inspección realizados por el contratista para asegurar que los materiales, procesos y mano de obra cumplan con los requisitos de calidad del proyecto.

Plan de garantía de calidad PGC: Documento elaborado por la fiscalización que incluye las tareas de inspección ejecutadas por una firma o empresa diferente a la del contratista. Incluye también los procesos de ensayos no destructivos, cuando estos sean requeridos.

Discontinuidad: Falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto. (Vega).

Defecto: Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable. (Vega)

Preparación del metal base: Esta operación se lo realiza en taller, consiste en definir los bordes del metal base que formarán parte de la conexión, por ejemplo: eliminación de rebabas o elaboración de biseles para soldaduras de penetración completa.

Soldabilidad del metal base: Propiedad de los aceros que su estructura interna permite una fusión sana y homogénea entre el material de aporte y el metal base a unir.

Gratear: Limpieza superficial de piezas metálicas, mediante una herramienta denominada grata, se lo realiza de forma manual o mecánica.

Inspector END: Profesional debidamente certificado por la ASNT para ejecutar la inspección de soldadura en estructuras de acero, será el representante del contratista o en su defecto del contratante.

Certificación END: Estará otorgado a los profesionales que realicen los cursos mediante el código ASNT; existen 3 niveles de certificación para cada método de ensayo, por ejemplo para ultrasonido, las certificaciones son:

ASNT-TC-1A Nivel I-UT

ASNT-TC-1A Nivel II-UT

ASNT-TC-1A Nivel III-UT

Contratista: Profesional responsable del montaje de la estructura encargado de entregar documentos como: planos de montaje y de taller; deberá regirse a los códigos y normas vigentes de construcción.

CAPITULO I

RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS PRELIMINARES

1.1 Introducción

En el presente capítulo se describe de manera breve el tipo de material, procedimiento de soldadura, avance de la construcción de la estructura de acero de la edificación, mediante imágenes y datos tomadas durante las visitas realizadas. Además una revisión de los planos estructurales a fin de conocer las características geométricas de los miembros estructurales y sus propiedades mecánicas, de esta manera conocer más a fondo la estructura a la que se va a realizar los END para soldadura.

1.2 Ubicación geográfica

El edificio Torre Piamonte se encuentra ubicado en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador; en la avenida González Suarez y calle del retorno junto a la urbanización Riosol.

Latitud 2°53'39.33" Sur

Longitud 78°58'13.34" Oeste

Altura 2468 msnm



Figura 1-1: Edificio Torre Piamonte

Fuente: Google Maps

1.3 Descripción del estado actual de la construcción

El edificio Torre Piamonte, es una edificación de departamentos que se construye actualmente en la ciudad de Cuenca, a cargo de Tosi Moreno Constructora; compuesta fundamentalmente por una estructura armada con pórticos de acero estructural, en todos sus niveles.



Figura 1-2: Estado actual de la construcción

Fuente: Autor

La construcción de la estructura se encuentra actualmente en un 75% de su totalidad; avance que permite ejecutar los procedimientos de END de manera efectiva; antes, durante y después de aplicar la soldadura a los miembros de la estructura.



Figura 1-3: Estado actual de la estructura de acero

Fuente: Autor

El único proceso de soldadura que se está utilizando tanto en taller como en obra para el armado de: vigas, columnas, placas de anclaje es el proceso SMAW (soldadura por arco con electrodo metálico revestido), empleando electrodos E6011 como metal de aporte para una etapa de pre-soldado o pre-armado; posteriormente se utiliza electrodos E7018 para la construcción de los cordones de soldadura que conformarán las vigas I, columnas principales así como juntas críticas viga-columna, placa de anclaje-columna, empalme, columna-columna.

1.3.1 Material de miembros estructurales

La estructura de la edificación está conformada por acero estructural tanto en columnas como vigas principales y secundarias, de acuerdo al diseño realizado por la constructora Construcciones Terán; para el caso de las columnas, estas son armadas mediante perfiles doblados en frío de sección C, de espesores varios obteniendo una sección cuadrada como se indica en la figura. El tipo de material empleado para la construcción de los miembros estructurales es un acero ASTM A36, como bien se conoce este material en la actualidad es con el que más se construyen las obras en acero estructural, muy utilizado para puentes, edificios, torres para cableado de energía eléctrica, entre otras.

Acero ASTM A36: “Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización”. (Castro, 2012)

Tabla 1-1: Elementos componentes del acero estructural

Carbono (C)	0,26% máx.
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx.
Azufre (S)	0,05% máx.
Silicio (Si)	0,40% máx.
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo

* Cuando se especifique

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

Tabla 1-2: Características mecánicas del acero A36

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ACERO A36			
Límite de fluencia mínimo	250	MPA	
	36000	Psi	
Densidad	7850	kg/m ³	
	0,28	lb/in ³	
A36 en barras, planchas y perfiles estructurales	e<8in e<203,2mm	Límite de fluencia mínimo	250 MPA 36 ksi
		Límite de rotura mínimo	410 MPA 58 ksi
Planchas	e>8in e>203,2mm	Límite de fluencia mínimo	220 MPA 32 ksi
		Límite de rotura mínimo	410 MPA 58 ksi
Resistencia a la tracción	MIN	MÁX	U
	58000	80000	Psi
	400	550	MPA

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

Para la conexión de miembros estructurales de acero A36 se utiliza sistemas de empernado o procedimientos de soldadura. Este material se presenta de distintas formas como en planchas, tubos, perfiles estructurales.



Figura 1-4: Presentaciones del acero estructural

Fuente: http://www.inamesa.pe/planchas_de_acero_inoxidable.html

Tanto vigas como columnas de la estructura son elementos armados mediante soldadura o también conocidos como “perfiles soldados”. Las vigas están formadas por 3 planchas de acero, una para el alma y dos para los patines, como se indica en la imagen, unidas mediante cordones de soldadura alternados a lo largo del elemento.

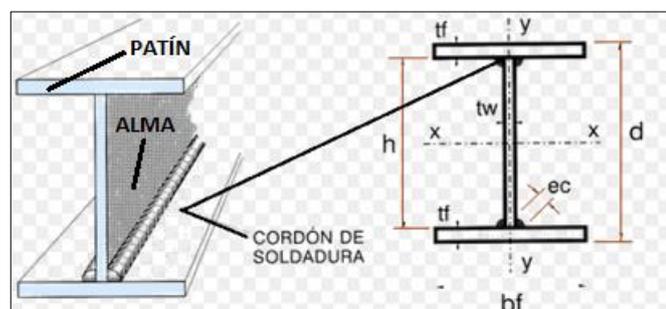


Figura 1-5: Detalle de viga armada I con soldadura de filete

Fuente: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/01-introduccion/1-11.html>



Figura 1-6: Cordones de soldadura alternados en viga tipo I en obra

Fuente: Autor

Las columnas son formadas por 2 perfiles, en este caso tipo C, de esta manera logrando una sección rectangular o cuadrada. Estas son armadas mediante soldadura continua a lo largo de la unión.

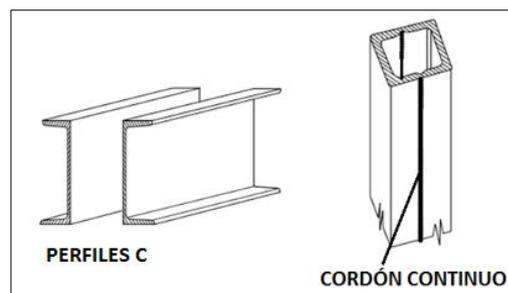


Figura 1-7: Sección rectangular compuesta

Fuente: <http://concretoerikagm.blogspot.com/2012/03/uniones-y-columnas-de-acero.html>

En la siguiente imagen se aprecia cómo están armadas las columnas de la estructura, uniendo los dos perfiles C. Los ángulos que se encuentran ubicados al borde de la columna son colocados durante el armado, debido a que al aplicar la soldadura los perfiles C tienden a desplazarse alterando la simetría y la uniformidad de la sección causados por el aumento de la temperatura sobre los mismos.



Figura 1-8: Rigidizadores de montaje para columna compuesta

Fuente: Autor

En la siguiente imagen se indica una estructura tipo para las losas; cada uno de los pisos están compuestos por Acero A36 en todos sus elementos, como: columnas, vigas cargadoras, vigas principales, vigas secundarias.



Figura 1-9: Detalle de montaje de vigas y columnas de acero

Fuente: Autor

1.3.2 Conexión entre miembros estructurales

Entre las conexiones más importantes o críticas dentro de una estructura son las juntas viga-columna y placa-columna, debido a que estas deberán resistir los esfuerzos causados por los miembros estructurales en caso de solicitaciones sísmicas. La conexión entre los miembros estructurales de toda la edificación se lo ha realizado aplicando soldadura, logrando uniones rígidas mediante el proceso SMAW (soldadura por arco con electrodo metálico revestido).

La conexión de viga-columna es una junta en T o junta soldada plana con soldadura de filete. En la figura se observa la conexión que va a ser realizada por el operador aplicando electrodo E-7018, en donde el alma de cada viga forma una junta en T con la columna.



Figura 1-10: Conexión de viga y columna de acero con soldadura de filete en obra

Fuente: Autor

En la imagen se indica el instante de la ejecución de la soldadura por parte del operador, construyendo un cordón de soldadura de filete. Con respecto a las juntas placa-columna de la estructura cuentan con una placa metálica anclada a la cimentación. Estos elementos están conectados con soldadura continua a lo largo del contorno de la columna; son construidas con cordones sobrepuestos o escalonados de acuerdo a lo planteado por la constructora a cargo de la estructura de acero.



Figura 1-11: Detalle de conexión columna-placa de anclaje en obra

Fuente: Autor

La construcción de los cordones superpuestos o escalonados es el proceso de depositar un cordón de soldadura sobre otro para obtener un área suficiente de conexión entre los elementos.



Figura 1-12: Sección de cordones superpuestos o escalonados

Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/soldadura-angulo-posicion-plana-horizontal>

En la siguiente imagen se observa el diseño de la cimentación para cada columna obtenido de los planos estructurales.

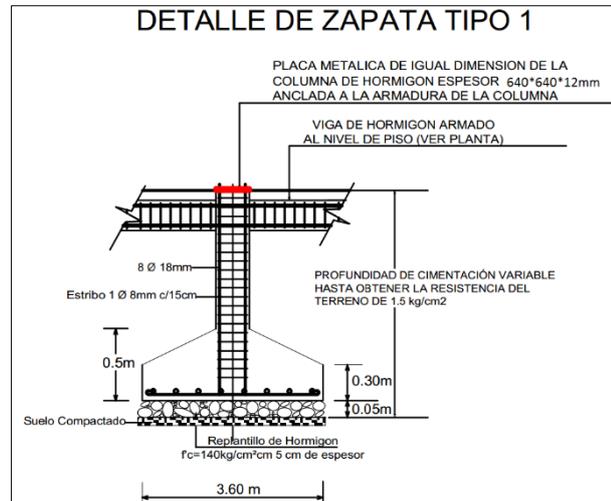


Figura 1-13: Detalle de zapata tipo 1

Fuente: Planos estructurales de la constructora Terán

Es muy importante constatar que la junta placa-columna esté correctamente construida al ser una junta crítica, razón por la que se realiza la inspección de la soldadura para verificar si el metal base cuenta con una preparación adecuada antes de soldar, como biselado y una penetración completa después de aplicar el proceso de la soldadura.

1.3.3 Equipo de soldadura empleado

Es un equipo marca Arcweld con el que se está ejecutando la soldadura tanto con electrodo E-6011 como con E-7018; son muy compactos, livianos y de gran portabilidad, características esenciales para trabajar en altura.

Tabla 1-3: Características del equipo Arcweld

CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO ARCWELD		
VOLTAJE	110-220 Voltios	Reconocimiento automático de voltaje
ELECTRODOS	E-6011, E-6013 y E-7018	Diámetro de electrodo de 4-4.8 mm
PROCESO	SMAW	

Fuente: <http://www.lincolnelectric.com.ve/lincolnelectric/promocion.php?id=6>



Figura 1-14: Soldadora marca Arcweld empleada en obra

Fuente: Autor

1.3.4 Electrodo utilizados en proceso de soldadura

E-6011: Este tipo de electrodo está siendo utilizado para la etapa de pre-armado de vigas y columnas; de igual manera se lo emplea para el montaje de estos elementos estructurales como soldadura previa a la suelda con electrodo E-7018.



Figura 1-15: Electrodo E-6011

Fuente: Autor



Figura 1-16: Aplicación de electrodos E-6011 para montaje viga-columna en obra

Fuente: Autor

El electrodo E-6011 es empleado para soldar todo tipo de acero de bajo carbono en estructuras, tuberías, recipientes que estén expuestos a presión y trabajos que requieren penetración de soldadura; se lo puede utilizar con corriente alterna y también con corriente continua; es un electrodo de rápida solidificación por lo que su suelda se lo realiza de forma vertical y sobrecabeza. (Indura, 2009)

El electrodo E-7018 durante la construcción de la estructura es utilizado para el armado final de las vigas I en la unión alma-patín; también de las columnas que están conformadas por dos perfiles tipo C. Con este electrodo finalmente se lleva a cabo la soldadura de las conexiones viga-columna y vigas principales-vigas secundarias durante el montaje de los elementos estructurales.



Figura 1-17: Electrodos E-7018

Fuente: Autor



Figura 1-18: Aplicación de electrodos E-7018 para montaje viga-columna en obra

Fuente: Autor

Este tipo de electrodo es diseñado para soldaduras que requieren un estricto control con métodos volumétricos como: radiografía industrial o ultrasonido; es recomendado también para la construcción de calderas y cañerías de alta presión. (Indura, 2009)

1.4 Estudio de documentos de diseño

Este estudio comprende una breve descripción de los documentos precontractuales como son los planos de diseño estructural, facilitados por la empresa constructora Tosi Moreno, como material para la elaboración del presente trabajo de investigación.

1.4.1 Diseño Estructural

La constructora Construcciones Terán tuvo la gentileza de facilitarnos el archivo digital del modelo estructural de la edificación; de este documento determinaremos las diferentes secciones de acero A36 tanto en vigas como columnas utilizados en la construcción. El diseño estructural fue realizado en el software SAP2000; a continuación se presenta una vista en 3D del modelo de la estructural.

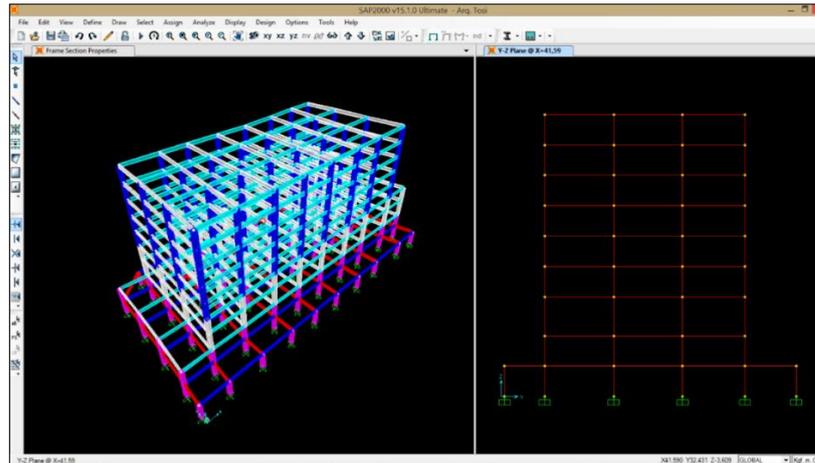


Figura 1-19: Modelo estructural de edificación

Fuente: SAP 2000

Para la construcción de los miembros estructurales como vigas y columnas el diseño está compuesto por 7 tipos de secciones, del cual se obtiene sus características geométricas y propiedades mecánicas. En la gráfica se presenta los nombres asignados a las secciones de los diferentes elementos estructurales.

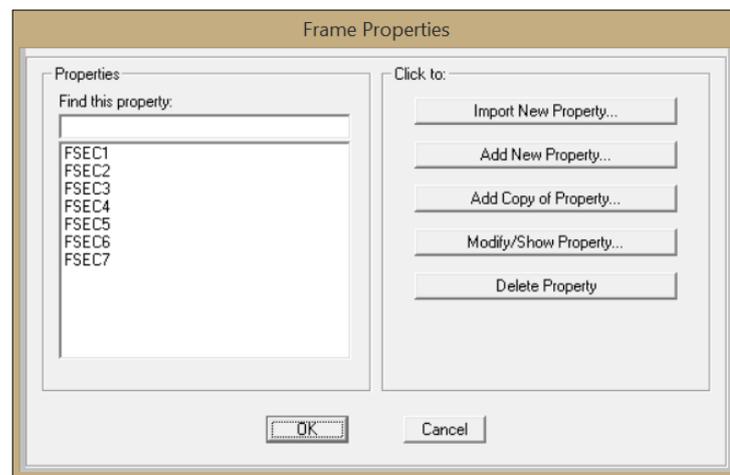


Figura 1-20: Propiedades de los materiales

Fuente: SAP 2000

A continuación se indican las características geométricas de la sección de uno de los elementos, en este caso de la viga FSEC1.

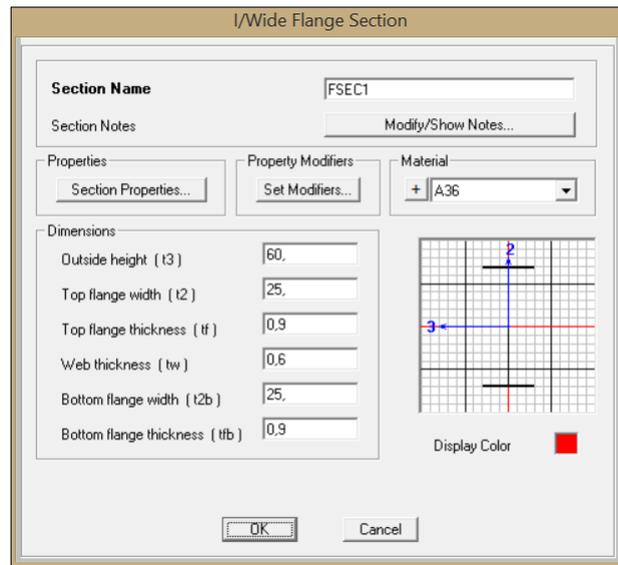


Figura 1-21: Sección de los perfiles estructurales

Fuente: SAP 2000

Tabla de las propiedades mecánicas de la sección de uno de los elementos, en este caso de la viga FSEC1.

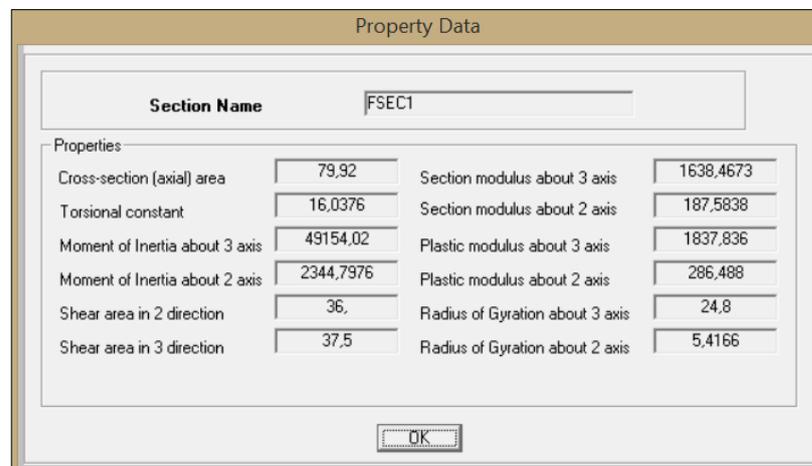


Figura 1-22: Propiedades mecánicas de los materiales

Fuente: SAP 2000

En las tablas a continuación se presentan las características geométricas y propiedades mecánicas de todos los elementos componentes de la estructura, datos obtenidos del modelo realizado por la constructora a cargo del diseño estructural.

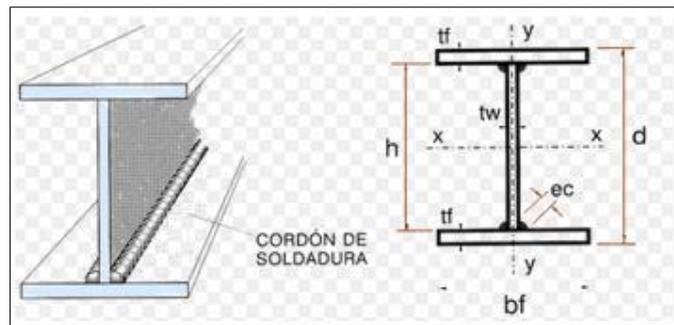


Figura 1-23: Sección I de viga armada

Fuente: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/01-introduccion/1-11.html>

Tabla 1-4: Características geométricas y propiedades mecánicas de vigas

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE VIGAS																				
DESCRIPCIÓN	POSICIÓN	h (cm)	bf (cm)	tf (cm)	tw (cm)	bf (cm)	tf (cm)	A (cm ²)	COLOR	eje X-X			eje Y-Y			MÓDULO PLÁSTICO		cte. torsional	ÁREA DE CORTANTE	
										Ix (cm ⁴)	Sx (cm ³)	rx (cm)	Iy (cm ⁴)	Sy (cm ³)	ry (cm)	Zx (cm ³)	Zy (cm ³)		Ax (cm ²)	Ay (cm ²)
FSEC1	VIGA	60	25	0,9	0,6	25	0,9	79,9	Rojo	49154,02	1638,46	24,8	2344,79	187,58	5,41	1837,83	286,48	16,03	37,5	36
FSEC2	VIGA	60	25	0,9	0,6	25	0,9	79,9	blanco	49154,02	1638,46	24,8	2344,79	187,58	5,41	1837,83	286,48	16,03	37,5	37,5
FSEC3	VIGA	60	20	0,6	0,4	20	0,6	47,5	morado	27947,46	931,58	24,25	800,31	80,03	4,1	1058,54	122,35	4,07	20	24
FSEC4	VIGA	60	20	0,6	0,4	20	0,6	47,5	celeste	27947,46	931,58	24,25	800,31	80,03	4,1	1058,54	122,35	4,07	20	24

Fuente: SAP 2000

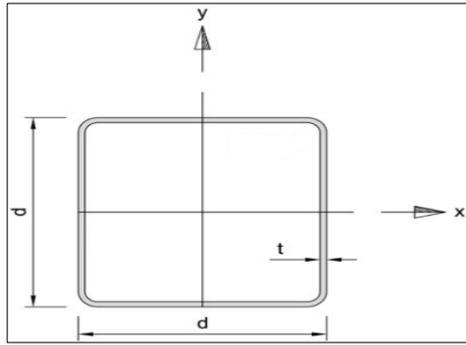


Figura 1-24: Sección de columna de acero

Fuente: http://www.metalco.net/largos_tuberia_estructural.php

Tabla 1-5: Características geométricas y propiedades mecánicas de columnas

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE COLUMNAS											
DESCRIPCIÓN	POSICIÓN	d (cm)	t (cm)	color	ÁREA (cm ²)	eje X-X=eje Y-Y			MÓDULO PLÁSTICO Z _x =Z _y (cm ³)	cte torsional	ÁREA DE CORTANTE A _x =A _y (cm ²)
						I _x (cm ⁴)	S _x (cm ³)	r _x (cm)			
FSEC5	COLUMNA	60	1	celeste	236	136958,6	4565,2	24	5222	205379	120
FSEC6	COLUMNA	60	0,8	blanco	189,4	110673,3	3689,1	24,1	42,05	165979,7	96
FSEC7	COLUMNA	60	0,6	morado	142,56	83842,3	2794,7	24,2	3175,6	125750,7	72

Fuente: SAP 2000

La estructura se encuentra compuesta por 7 niveles como se indica en uno de los cortes del plano estructural.

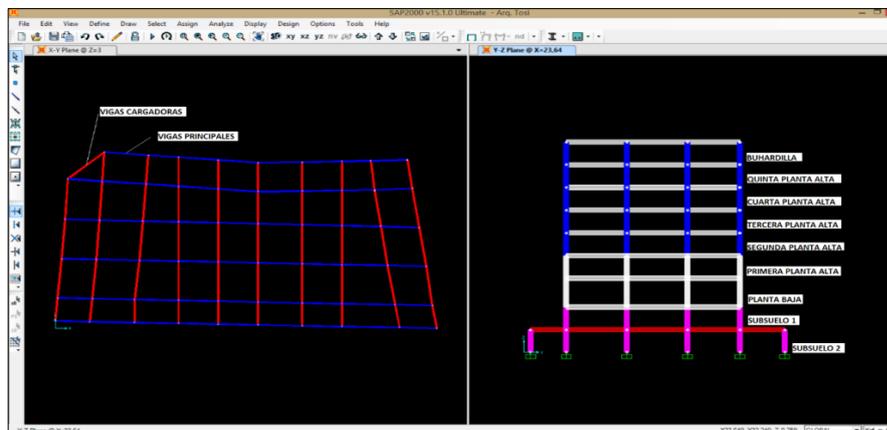


Figura 1-25: Elevación lateral y vista superior de la estructura

Fuente: SAP 2000

En la siguiente tabla se muestran datos del nivel de cada planta así como la sección correspondiente de los elementos asignados de acuerdo al diseño estructural. Por ejemplo el subsuelo 2 está compuesto por columnas de sección FSEC5 (nombre asignado a la sección de la tabla), vigas cargadoras de sección FSEC1 y vigas principales de sección FSEC3.

Tabla 1-6: Resumen de perfiles

RESUMEN DE PERFILES				
NIVEL	ALTURA DE NIVEL	VIGA CARGADORA	VIGA PRINCIPAL	COLUMNAS
Subsuelo 2	0			
Subsuelo 1	3	FSEC1	FSEC3	FSEC5
Planta Baja	6	FSEC2	FSEC4	FSEC6
Primera Planta Alta	9,8	FSEC2	FSEC4	FSEC6
Segunda Planta Alta	12,8	FSEC2	FSEC4	FSEC7
Tercera Planta Alta	15,8	FSEC2	FSEC4	FSEC7
Cuarta Planta Alta	18,8	FSEC2	FSEC4	FSEC7
Quinta Planta Alta	21,8	FSEC2	FSEC4	FSEC7
Buhardilla	24,8	FSEC2	FSEC4	FSEC7

Fuente: SAP 2000

CAPITULO II

SOLDADURA EN ESTRUCTURAS DE ACERO

2.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza un breve análisis sobre los tipos de soldaduras, tipos de juntas, tipos de fallas en una junta soldada y los distintos procesos de soldadura que se emplean en la construcción de las estructuras de acero a fin de comprender y familiarizarse con los términos necesarios que se requieren para alcanzar un mejor entendimiento de las técnicas y procesos de la soldadura, debido a que en el campo de la ingeniería civil es bastante empleado en la construcción pero de la cual se tiene muy poco conocimiento.

2.2 Soldadura en estructuras de acero

2.2.1 Definición

La soldadura es la unión de dos materiales obtenido de un proceso de fusión mediante temperatura añadiendo un material de aporte que al fundirse conforman una sola pieza, reemplazando al remachado que se utilizaba en los procesos industriales y la construcción de edificaciones años atrás. Existen varios procesos de soldadura que han venido evolucionando a lo largo de estos últimos años como: suelda eléctrica, gas inerte de metal (MIG), arco sumergido, entre otras; mejorando la calidad de los materiales de aporte, así como sus técnicas de soldadura manual.

En la gráfica siguiente se indica brevemente el principio general de la soldadura; este está compuesto por cuatro componentes básicos como son:

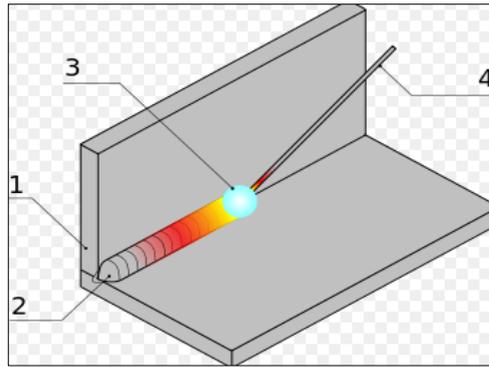


Figura 2-1: Detalle de aplicación de soldadura

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>

Tabla 2-1: Componentes básicos en una unión soldada

ELEMENTO	COMPONENTE
1	Metal base
2	Cordón de soldadura
3	Fuente de energía
4	Metal de aporte

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>

Metal base: Es el elemento que forma parte de la unión a la cual se va aplicar la soldadura. En otras palabras son las piezas a unir; a estas se las debe realizar su respectiva preparación antes de soldar como limpieza de impurezas, biselados de acuerdo al diseño, entre otras.

Cordón de soldadura: Es un depósito de metal fundido que resulta de la progresión longitudinal de un proceso de soldadura en una junta. Existe una variedad de cordones que se clasifican por el tipo de unión, tipo de proceso. En la figura 27 se indica los cordones más comunes que se realizan por el proceso de arco con metal protegido.

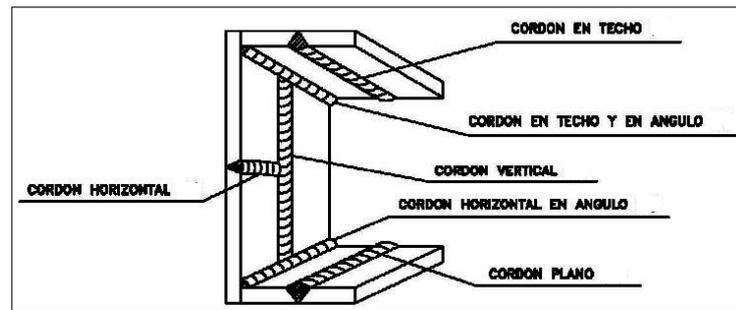


Figura 2-2: Cordones de soldadura

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn40.html>

Fuente de energía: Es la energía que se requiere para lograr la unión entre dos piezas como: llama de gas, arco eléctrico, laser, entre otras.

Metal de aporte: Es el metal depositado en la unión proveniente de la fusión de un electrodo o varilla de soldar.

2.2.2 Tipos de soldadura

Los tipos de soldadura están definidos según la forma, la sección transversal del metal base, el diseño de la junta, entre otras características. Existen varios tipos de soldadura pero las de mayor interés para el campo de la ingeniería civil en la construcción de edificios de acero estructural son las siguientes:

2.2.2.1 Soldadura de ranura

En el siguiente gráfico, podemos identificar cuáles son las partes principales de este tipo de cordón de soldadura, principalmente es empleado para juntas de ranura a tope; el cual es uno de los más empleados en la construcción de estructuras de acero, se lo encuentra principalmente en los empalmes de vigas o columnas por tal razón debemos conocer cada uno de sus componentes para que al realizar los END se tenga bien clara la ubicación y definición de cada uno.



Figura 2-3: Cordón de soldadura de ranura, empalme viga-viga

Fuente: Autor



Figura 2-4: Cordón de soldadura de ranura, empalme columna-columna

Fuente: Autor

A continuación se describe cada una de las partes principales de una soldadura de ranura con junta a tope.

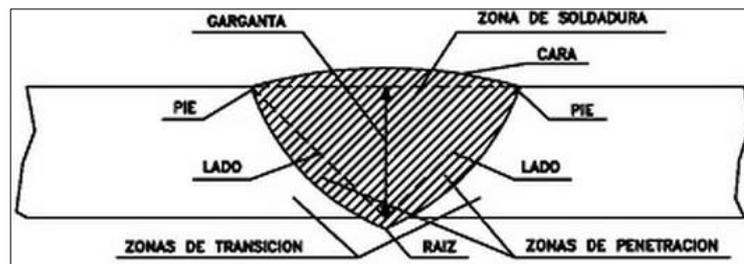


Figura 2-5: Partes de una soldadura de ranura con junta a tope:

Fuente: <http://www.smaw.cl/ejercicios-soldadura/>

Zona de soldadura: Es el espacio donde se depositará la soldadura.

Zona de penetración: Es aquella donde se fundirán el metal base conjuntamente con el material de aporte o electrodos.

Zona de transición: Es la zona más cercana a la zona de penetración, esta no se llega a fusionar o fundir pero si alcanza altas temperaturas durante el proceso de soldado.

Pie: Extremo del borde del metal base.

Raíz: Punto donde se intersectan los lados del metal base; en este punto inicia el depósito del cordón de soldadura.

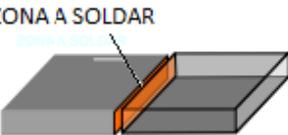
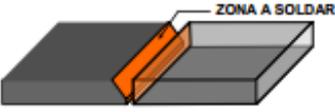
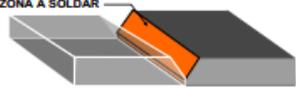
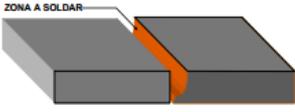
Garganta: es la altura del triángulo isósceles formado por los lados y los pies de las piezas a unir.

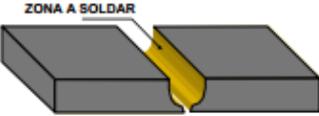
Lado: superficie que se funde con la soldadura.

Cara: superficie expuesta del cordón de soldadura.

Entre los diferentes tipos de soldaduras de ranura a tope, a continuación se indica las más empleadas en la construcción de estructuras de acero.

Tabla 2-2: Tipos de soldadura de ranura

DENOMINACIÓN	MODELO	DESCRIPCIÓN
RANURA A ESCUADRA		Es empleado para unir metal base de espesores delgados. Es el más sencillo de aplicar, debido a que no requiere una mayor preparación de la junta.
RANURA EN BISEL SENCILLO		Se lo emplea para economizar soldadura. La junta, requiere preparación, como un biselado de una de las caras del metal base a unir.
RANURA EN "V"		Es el tipo de ranura más utilizado. El ángulo que forman las caras del metal base a unir, puede variar desde 15 a 60°. la preparación de esta junta es fácil de realizarlo
RANURA EN "J"		Se lo realiza cuando el diseño de soldadura lo requiere. Es muy similar al bisel sencillo.

RANURA EN “U”		<p>Se lo utiliza para soldadura especiales o cuando el metal base a unir es de grandes espesores. Reduce la cantidad de soldadura que se va a depositar.</p>
---------------	--	--

Fuente: Libro Inspector de soldadura AWS QC1: 2007

2.2.2.2 Soldadura de filete

Este es otro de los tipos de soldaduras más empleado en la construcción de edificios estructurales, se lo utiliza para construir vigas armadas así como para el montaje de vigas principales con secundarias.



Figura 2-6: Soldadura de filete en obra

Fuente: Autor

A continuación se describe cada una de las partes principales de una soldadura de filete:

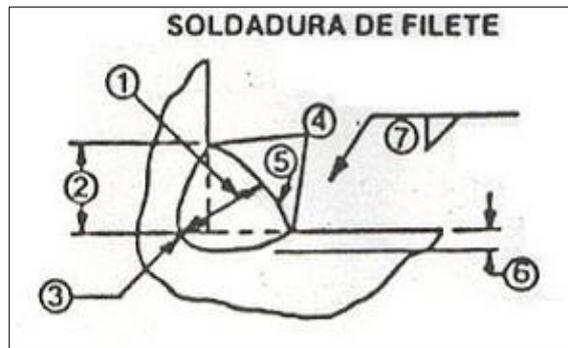


Figura 2-7: Secciones de soldadura de filete

Fuente: <http://welder-mex.blogspot.com/2012/08/curso-de-soldadura-smaw.html>

Los nombres de las partes componentes de una soldadura de filete son semejantes a la de una soldadura de ranura. (Vasquez, 2012)

- 1) Garganta: distancia más corta de la raíz a la cara del cordón.
- 2) Lado de filete: distancia que existe entre la raíz hacia el borde de la soldadura de filete.
- 3) Raíz: punto donde se intersectan los lados del metal base; en este punto inicia el depósito del cordón de soldadura.
- 4) Pie: unión de la cara de la soldadura de filete y el metal base. Similar al pie de una soldadura de ranura.
- 5) Cara: superficie expuesta del cordón de soldadura.
- 6) Altura de fusión: distancia en la que se fusiona el metal de aporte con el metal base.
- 7) Tamaño de soldadura: nomenclatura empleada para identificar el tamaño del lado del filete.

2.2.2.3 Soldadura de tapón

Este tipo de soldadura se lo emplea principalmente para unir elementos traslapados mediante una perforación en uno de ellos, en la cual se depositará la soldadura obteniendo una suelda perdida como se indica en la figura.

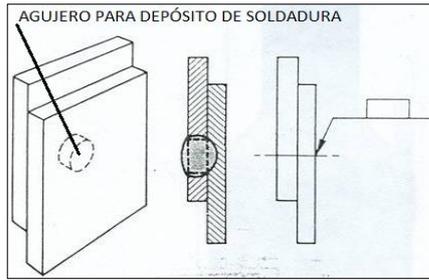


Figura 2-8: Detalle de soldadura de tapón

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~azapata/simbologia.htm>

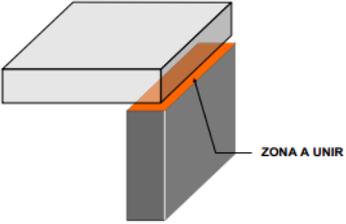
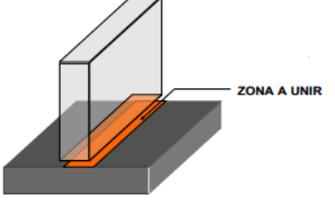
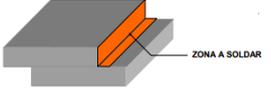
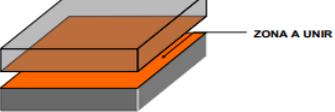
La soldadura de tapón es muy poco empleada en la unión de elementos estructurales para edificios por la poca área de soldadura que esta cubre; su utilización está más ligada a piezas pequeñas o mecanismos de maquinaria industrial por el excelente acabado superficial que se obtiene. En el caso de las edificaciones de acero estructural esta es remplazada por una unión mediante pernos o remaches que alcanzan mayor superficie de apoyo entre los elementos y una mayor resistencia a cortante.

2.2.3 Tipos de juntas

Una junta es la unión de los miembros o de uno de los extremos de un elemento mediante procesos de soldadura; de entre las juntas más utilizadas en las estructuras de acero tenemos:

Tabla 2-3: Tipos de juntas de soldadura

DENOMINACIÓN	MODELO	DESCRIPCIÓN
JUNTA A TOPE		Los materiales se unen de acuerdo a su espesor. Es mínima la preparación de la junta.

JUNTA EN ESQUINA		Se le aplica la soldadura a la esquina formada por el metal base.
JUNTA EN "T"		La zona a soldar es una de las caras de las piezas con el borde de la otra.
JUNTA A TRASLAPE		Los elementos se encuentran sobre-montados, prácticamente se vuelve una soldadura de filete.
JUNTA DE ORILLA		Se lo emplea para soldar superficies, una pieza sobre la otra; la soldadura está aplicada en las caras de los elementos.

Fuente: Libro Inspector de soldadura AWS QC1: 2007

2.3 Procesos de soldadura en elementos estructurales

Actualmente existe una gran variedad de procesos de soldadura que son empleados en varios campos de ingenierías técnicas como: ingeniería civil, industrial, mecánica, automotriz, producción, entre otras. En la siguiente tabla se indica los procesos más comunes utilizados en nuestro país y su campo de aplicación. Los procesos según el manual de soldadura de la AWS (Society, 1996) están divididos en siete grupos como son:

- Soldadura por arco (AW)
- Soldadura por resistencia (RW)
- Soldadura blanda (S)
- Soldadura en estado sólido (SSW)
- Soldadura con oxígeno y gas combustible (OFW)

- Soldadura fuerte (B)

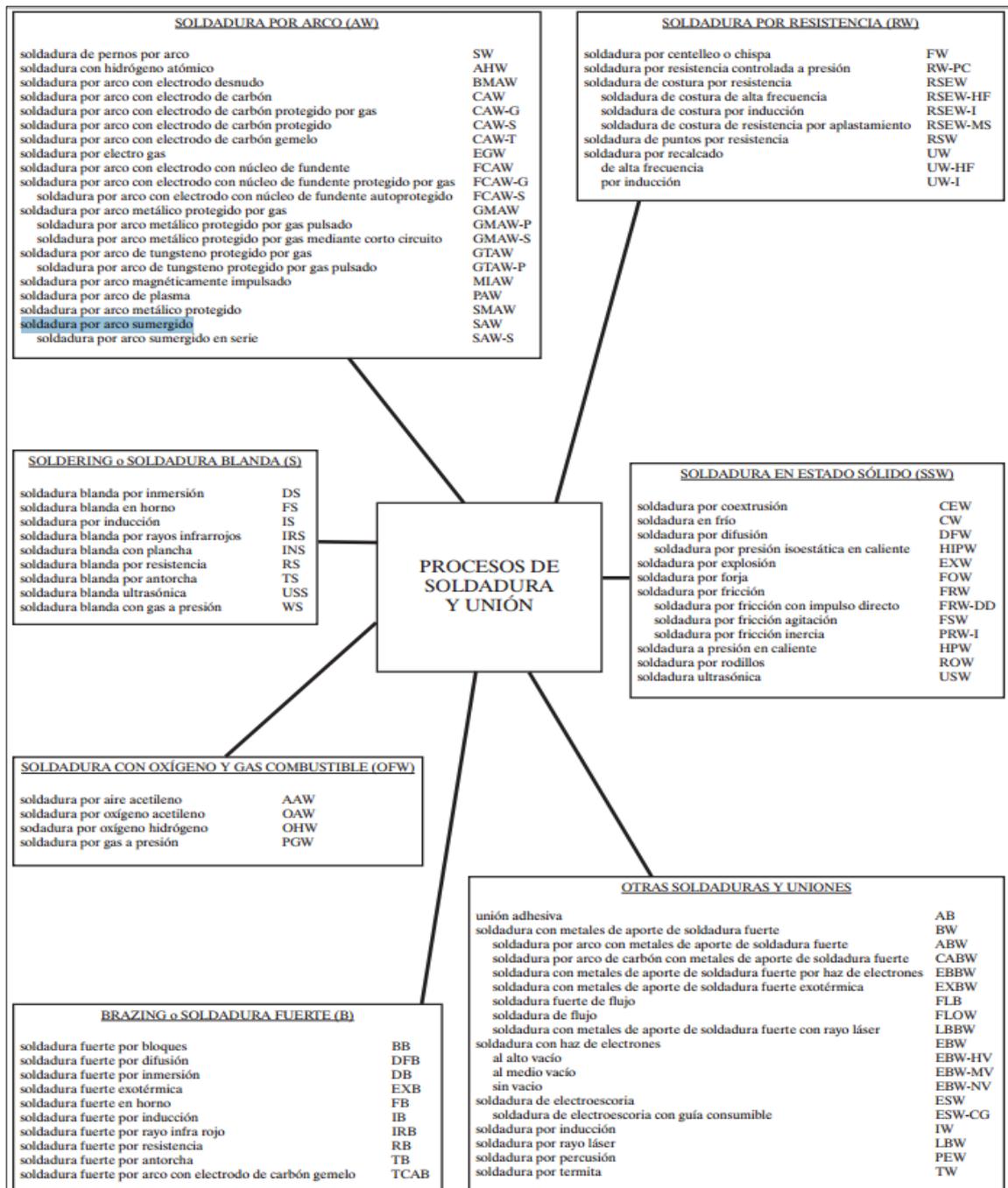


Figura 2-9: Procesos de soldadura y unión

Fuente: Libro de Inspector de soldadura AWS QC1: 2007

Los procesos de nuestro interés en el ámbito de la construcción de edificios de acero estructural son los procesos de soldadura por arco eléctrico (AW) Arc Welding, indicados en la *NEC 11* (Comite Ejecutivo, 2011) que se muestran en la tabla a continuación:

Tabla 2-4: Procesos de soldadura por arco

PROCESO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
FCAW	Soldadura por arco con alambre tubular.	Proceso de soldadura al arco, se lo realiza empleando un gas de protección, con el fundente contenido en el electrodo tubular. No se aplica presión.	Se lo emplea para soldar aceros al carbono, aceros inoxidables y aceros de baja aleación. Es muy utilizado para trabajos de taller en elementos estructurales.
FCAW-S	Soldadura por arco con alambre tubular autoprotegida	Es un proceso de soldadura por arco, en el que la protección al fundente se lo realiza mediante un electrodo tubular.	Como este tipo de proceso no requiere gas protector, es muy eficiente para trabajos en altura, debido a que no se será afectado por la presencia de viento.
FCAW-G	Soldadura por arco con alambre tubular protegida por gas.	Es una variación de un FCAW; cuenta con una protección adicional compuesta de una mezcla de gases externamente.	
SMAW	Soldadura por arco con electrodo metálico revestido.	Proceso de soldadura al arco, se ejecuta mediante la utilización de un electrodo revestido que proporciona el material de aporte, formando un arco entre el electrodo y el Weld pool (baño de soldadura). No se emplea presión.	Se lo utiliza para soldar aceros al carbono y aceros de baja aleación. Este es el proceso más común empleado en diferentes áreas, desde carpintería metálica, hasta la construcción de estructuras de acero para edificaciones, con acero A36.
GMAW	Soldadura por arco de metal con gas.	Proceso de soldadura al arco, se ejecuta	Se lo emplea para soldar aceros ordinarios

		<p>mediante la utilización de un electrodo continuo (alambre), que proporciona el material de aporte, formando un arco entre el electrodo y el Weld pool (baño de soldadura). Se lo ejecuta con protección de gas externo. No se emplea presión.</p>	<p>al carbón, otros aceros inoxidables y aluminio. Es más conocido en el campo comercial como MIG (soldadura con gas inerte de metal), en la actualidad reemplaza al proceso SMAW, en trabajos de taller, para armar elementos estructurales soldados, como vigas y columnas. No es muy utilizado en el montaje de elementos estructurales, por la presencia de viento en la altura.</p>
GMAW-S	Soldadura por arco de metal con gas por corto circuito.	<p>Es una variación del proceso GMAW; en este caso el electrodo consumido se va depositando mediante cortocircuitos.</p>	<p>Su empleo es mayormente para soldaduras superficiales, a causa de que la penetración en metal base de espesores gruesos es muy baja.</p>
SAW	Soldadura por arco sumergido.	<p>Proceso de soldadura por arco, mediante electrodos continuos. El arco y el metal fundido son protegidos de la contaminación atmosférica por mantos granulares.</p>	<p>Se lo utiliza para soldar aceros de baja aleación e incluso para cobre, aleaciones de aluminio y titanio e incluso aceros inoxidables. En el campo de la construcción se lo utiliza para armar elementos estructurales</p>

			como vigas y columnas, con cordones de filete largos y continuos.
--	--	--	---

Fuente: American Welding Society 2010

2.3.1 Proceso SMAW (soldadura por arco con electrodo metálico revestido)

2.3.1.1 Generalidades

Este tipo de soldadura por arco se ejecuta por coalescencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico entre la punta de un electrodo y el metal base a unir mediante un circuito eléctrico. Es el proceso más aplicado en nuestro medio.

2.3.1.2 Principios del funcionamiento

En este proceso principalmente se aprovecha el calor para derretir el metal base y el borde del metal recubierto o electrodo. El electrodo y el metal base forman un circuito que fusiona el material de aporte del electrodo con el metal base como se indica en la figura 35. Este circuito inicia desde la fuente de potencia que transmite la energía por medio de los cables hacia la pieza a soldar; uno de estos cables va conectado al trabajo o metal base y el otro a un portaelectrodos. El proceso de soldadura inicia al encender el arco entre la punta del electrodo y el trabajo; el calor concentrado derrite el borde del electrodo y parte de la superficie de trabajo, la temperatura alcanzada en el arco puede llegar a los 5000°C. De esta manera es como se deposita el metal de aporte conforme se produce el avance del electrodo y su consumo. (Society, 1996)

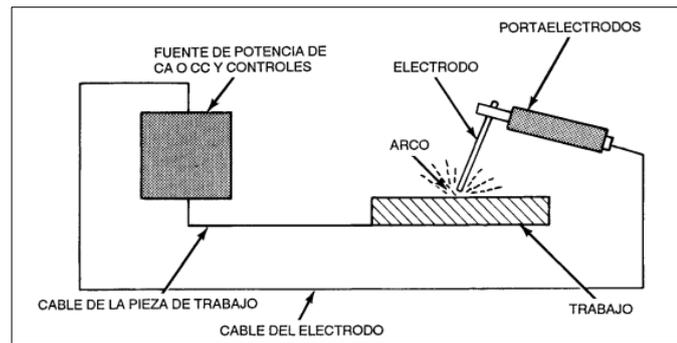


Figura 2-10: Representación gráfica de soldadura por arco eléctrico

Fuente: Manual de soldadura de AWS Tomo I

2.3.1.3 Aplicaciones

En definitiva es el proceso más empleado debido a su eficacia, portabilidad y un costo relativamente económico; utilizado principalmente en aceros aleados y al carbono. Su campo de aplicación es muy amplio, entre los más importantes tenemos: fabricación montaje y mantenimiento de miembros estructurales de edificaciones, fabricación de tanques y conducciones a presión. En la actualidad está siendo remplazado por los procesos MGAW y SAW.

2.3.1.4 Ventajas

- Se lo aplica en cualquier posición de soldeo.
- Es portátil, característica fundamental para emplearlo en taller o en obra. En obra es muy versátil para trabajos de altura.
- Con un correcto diseño de soldadura se lo puede emplear para construir uniones con metal base de grandes espesores; a su vez estos de alta calidad y excelente resistencia.

2.3.1.5 Limitaciones

- Como sus electrodos son de dimensión standard no se puede lograr una soldadura continua, lo que puede provocar discontinuidades como cráteres durante el cambio de electrodo.
- No se lo emplea para soldar algunos materiales no ferrosos.

- El depósito de metal de aporte es relativamente bajo con respecto a otros procesos.
- La calidad final de la unión en su gran mayoría dependerá de la experiencia, habilidad y pericia del operador.

2.3.2 Electrodo

A parte de proporcionar el metal de aporte y formar el arco, los electrodos están compuestos por varias funciones que ayudan desarrollar el proceso de soldadura de acuerdo al tipo de electrodo estas funciones ayudan a:

- Proveer un gas para la protección del metal de aporte y evitar la contaminación atmosférica.
- Suministran limpiadores y desoxidantes durante el proceso.
- Provee al proceso un manto de escoria que protege del aire al material de aporte depositado.
- Sirven como medio para añadir componentes de aleación que mejoran las propiedades mecánicas del metal de aporte.

En la figura 2-11 se indica los componentes más representativos de un electrodo y su comportamiento durante la soldadura.

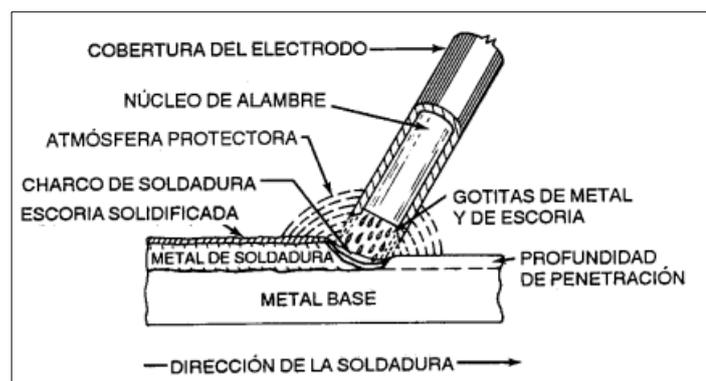


Figura 2-11: Componentes de una soldadura por arco de metal protegido

Fuente: Manual de soldadura de AWS Tomo I

El núcleo metálico o de alambre cumple funciones como: conducir la corriente para establecer el circuito y proporciona la mayor cantidad de metal de aporte para conformar la unión soldada. La cobertura del electrodo está conformada por compuestos orgánicos de elementos de ionización como el sodio y el potasio. Todos los electrodos tienen similar composición, pero las propiedades requeridas y su calidad estarán determinadas por el recubrimiento.

Las funciones principales que efectúa el recubrimiento son: formar una atmósfera inerte que evite el contacto entre el aire y el metal de aporte depositado proporciona aleaciones desoxidantes que mejoran la calidad del metal de aporte y además producen una reacción química que genera una capa de escoria protectora del metal fundido ayudando a controlar el enfriamiento, evitando cambios bruscos de la temperatura durante el proceso.

2.3.2.1 Clasificación

Los electrodos están clasificados de la siguiente manera:

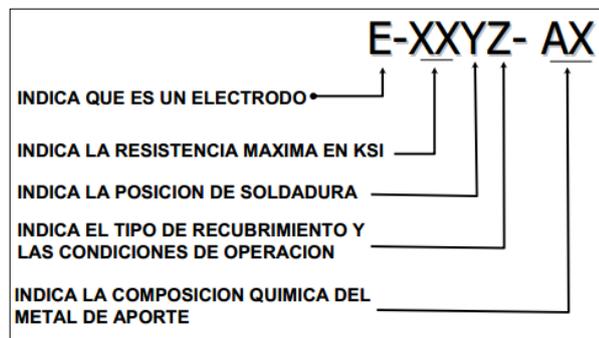


Figura 2-12: Nomenclatura de electrodos

Fuente: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1>

E-XXYZ			
Los dígitos indican la resistencia máxima del metal depositado.			
Si los dígitos son:		Significan que el metal tiene una resistencia mínima de:	
60		60,000 libras por pulgada cuadrada (psi)	
70		70,000 libras por pulgada cuadrada (psi)	
80		80,000 libras por pulgada cuadrada (psi)	
90		90,000 libras por pulgada cuadrada (psi)	
100		100,000 libras por pulgada cuadrada (psi)	
120		120,000 libras por pulgada cuadrada (psi)	
Interpretación de los primeros dígitos de la clasificación AWS			

E-XXYZ			
El dígito puede ser del 1 al 8 e indica las características del recubrimiento y la polaridad con la que se puede emplear el electrodo			
Si el dígito es:	Significan que el recubrimiento principalmente es:	corriente emplear:	a la polaridad debe ser:

E-XXYZ	
El dígito indica la posición en la que se puede emplear el electrodo	
Si el dígito es:	Significa que el electrodo sirve para:
1	Soldar ranuras y filetes en toda posición (plana, horizontal, vertical y sobrecabeza)
2	Soldar ranuras en posición plana y filetes en posición plana y horizontal
4	Soldar ranuras y filetes únicamente en la posición plana
Interpretación del 3º dígito de la clasificación AWS.	

Figura 2-13: Dígitos indicadores de nomenclatura I

Fuente:<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1>

0	Sódico celulósico	DC corriente rectificadora	EP Electrodo a positivo
1	Potásico celulósico	AC/DC alterna o rectificadora	EP Electrodo a positivo
2	Rutílico sódico	AC/DC alterna o rectificadora	EN Electrodo a negativo
3	Rutílico potásico	AC/DC alterna o rectificadora	EN Electrodo a negativo
4	Rutílico con polvo de Fe	AC/DC alterna o rectificadora	EN Electrodo a negativo
5	Bajo hidrógeno sódico	DC rectificadora	EP Electrodo a positivo
6	Bajo hidrógeno potásico	AC/DC alterna o rectificadora	EP Electrodo a positivo
7	Oxido de hierro sódico	AC/DC alterna o rectificadora	
8	Bajo hidrógeno con polvo de Fe.	AC/DC alterna o rectificadora	EP Electrodo a positivo
Significado del 4º dígito de la clasificación de AWS			

Figura 2-14: Dígitos indicadores de nomenclatura II

Fuente:<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1>

En resumen, por ejemplo para el electrodo E-6011 se tiene sus características mecánicas siguiendo cada una de las tablas presentadas.

E: indica que es un electrodo.

60: indica que tiene una resistencia máxima de 60.000 libras por pulgada cuadrada.

1: indica que las soldaduras de ranura y filete se las puede realizar en todas las posiciones como: plana, horizontal, vertical y sobre cabeza.

1: indica que está compuesto por un recubrimiento sódico celulósico; se debe emplear con corriente alterna o rectificadora además la polaridad debe ser de electrodo a positivo.

2.3.3 Intensidad de la corriente de soldadura

El amperaje de soldadura está directamente relacionado con el diámetro del electrodo, cada fabricante establece un rango para cada electrodo como se indica en la siguiente tabla. Por ejemplo para el electrodo de 1/8" requiere un amperaje promedio de 125 amperios, este mismo establecido en un rango de 100-150 amperios.

Diámetro	Diámetro en milésimas in.	Amperaje promedio	Valor mínimo recomendado	Valor máximo recomendado
1/8	125	125	100	150
5/32	156	160	130	190
3/16	187	150	190	225
1/4	250	250	200	300
Selección del amperaje de operación de los electrodos según su diámetro nominal.				

Figura 2-15: Diámetros de electrodos

Fuente:<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1>

2.4 Defectos y discontinuidades de soldadura

2.4.1 Defectos a causa de una preparación incorrecta de materiales

Es muy importante que se le dé una correcta preparación al metal base antes de soldar considerando actividades como: separación entre piezas a soldar, biselado, limpieza de impurezas y fundamentalmente un diseño de soldadura adecuado. Si antes de realizar la soldadura se tiene una correcta preparación de la soldadura, esta nos ayudará a prevenir la presencia de futuros defectos.

2.4.1.1 Geometría incorrecta del cordón de soldadura

Básicamente se refiere a las dimensiones incorrectas del espesor de garganta y a la forma del perfil del cordón de soldadura. Las causas para que el espesor del cordón de soldadura sea inferior al mínimo serán:

- Uso de electrodos con diámetros excesivos.
- No hay preparación de los bordes del metal base para la unión
- El operador maneja de forma inadecuada la pinza portaelectrodos.
- Velocidad de avance excesiva en la construcción del cordón.
- Intensidad de corriente del equipo demasiado baja.

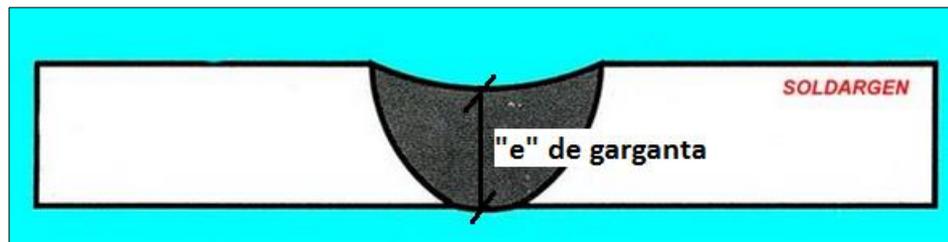


Figura 2-16: Falta de material de aporte en sección de soldadura

Fuente: <http://soldargen.blogspot.com/2012/05/fisuras-causas-y-soluciones-las-fisuras.html>

Lo recomendable en este tipo de defecto:

- Cumplir con los parámetros de diseño de soldadura, es fundamental la elección correcta del diámetro del electrodo, de esto dependerá en gran parte que no exista falta de material de aporte.
- El obrero durante la operación de soldadura observará continuamente que el depósito de material de aporte sea el requerido mediante un equilibrio en la velocidad de avance.

De igual forma las causas para que exista un sobredimensionamiento del cordón de soldadura serán:

- Realizar un número innecesario de pasadas sobre un cordón ya construido.
- Uso de electrodos con diámetros gruesos.
- Un avance en la construcción del cordón demasiado lento.

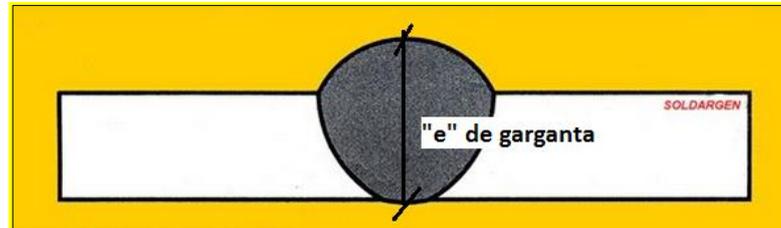


Figura 2-17: Sobre espesor de soldadura en la sección

Fuente: <http://soldargen.blogspot.com/2012/05/fisuras-causas-y-soluciones-las-fisuras.html>

Lo recomendable en este tipo de defecto:

- Cumplir con los parámetros de diseño de soldadura; es fundamental la elección correcta del diámetro del electrodo, de esto dependerá en gran parte que no exista un excesivo depósito del material de aporte.
- El obrero durante la operación de soldadura observará continuamente que el depósito de material de aporte sea el requerido mediante un equilibrio en la velocidad de avance.

El perfil de un cordón de soldadura depende principalmente de la pericia y experiencia del operador. A continuación se indican los distintos tipos de perfiles en una soldadura de filete y de una de ranura a escuadra.

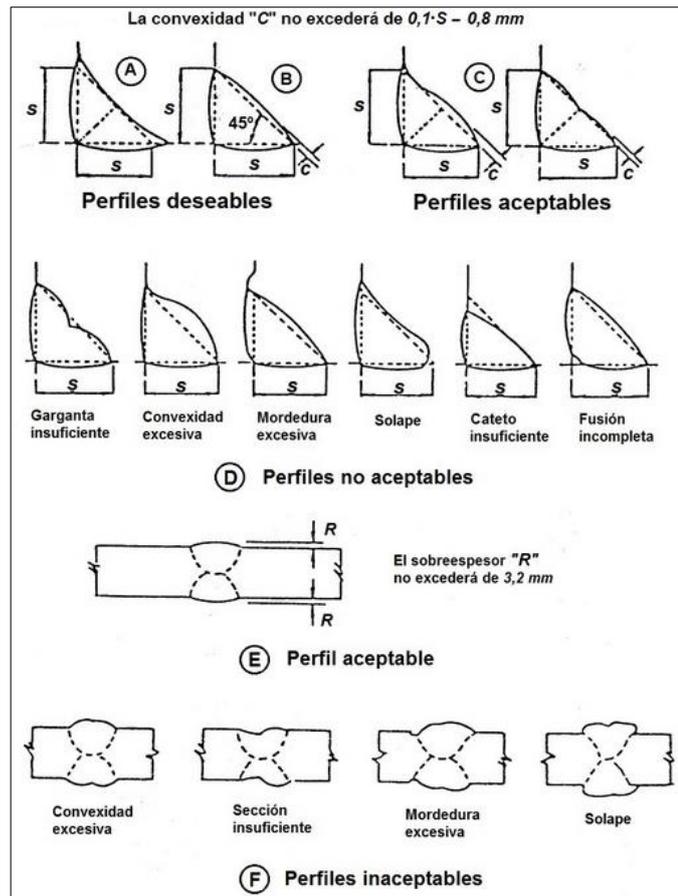


Figura 2-18: Geometría de los cordones

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

Tabla 2-5: Perfiles de los tipos de soldadura de ranura y filete, aceptables y no aceptables

DENOMINACIÓN	TIPO DE SOLDADURA	DESCRIPCIÓN
A	FILETE	Perfil de cordón correctamente construido.
B	FILETE	Perfil de cordón correctamente construido.
C	FILETE	Perfil de cordón que no cumple con los requerimientos en su totalidad, pero son aceptables.
D	FILETE	Distintos perfil de cordón que forman parte de un defecto o discontinuidad, no son aceptables.

E	RANURA	Perfil correctamente construido que cumple con los ciertos requerimientos, por tanto es aceptable.
F	RANURA	Distintos perfiles de cordones que forman parte de un defecto o discontinuidad, por lo tanto no son aceptables.

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

En el caso de que el inspector de soldadura lo admita se puede corregir la superficie del cordón con una amoladora, siempre y cuando no se altere la estructura de esta.

2.4.1.2 Falta de alineación

Se presenta en una junta a tope cuando los bordes A y B de las piezas a unir indicados en la figura, no se encuentran en un solo plano. Este tipo de defecto si no se lo controla a tiempo puede afectar en el comportamiento mecánico o resistente del cordón de soldadura, ya que en estas desalineaciones se pueden concentrar tensiones que fragilizan la soldadura.

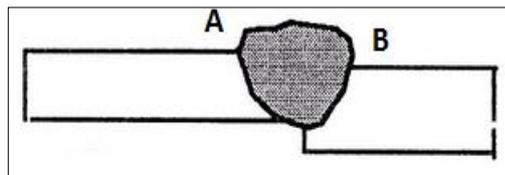


Figura 2-19: Falta de alineación de metal base

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

La falta de alineación se puede producir por varias razones como:

- No emplear las herramientas necesarias para construir la unión por lo que no se controla el posicionamiento correcto de las piezas.
- No se controla el desplazamiento de las piezas provocada por deformaciones excesivas a causa de la dilatación de estas durante la soldadura.

Lo que se recomienda para evitar este tipo de defecto es principalmente dar un tiempo necesario para preparar la junta y lograr una alineación correcta.

2.4.1.3 Distorsiones

Son deformaciones o alabeos que por lo general se presentan en el momento que se está aplicando la soldadura; se lo puede identificar por una deformación que se ocasiona por el calentamiento irregular del metal base, contracción del metal de aporte o por no tener un orden durante la operación del proceso de soldadura.

Causas probables

- Calentamiento irregular de metal base.
- Alto porcentaje de contracción del metal de aporte

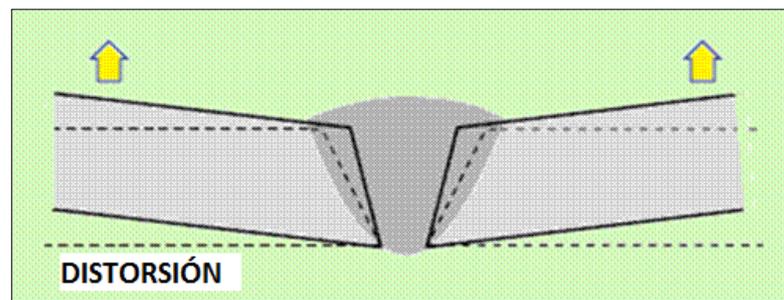


Figura 2-20: Distorsión del metal base

Fuente: <http://www.tecnologia->

[technica.com.ar/soldaduraporarco/index%20soldadura%20por%20arco_archivos/Page1003.htm](http://www.tecnologia-technica.com.ar/soldaduraporarco/index%20soldadura%20por%20arco_archivos/Page1003.htm)

Para determinar las imperfecciones producidas por las desviaciones del metal base el inspector empleará instrumentos de precisión a fin de obtener las características geométricas de la distorsión. Lo recomendable para evitar este tipo de distorsiones es:

- Sujetar las piezas antes de soldar.
- Distribuir puntos de suelda en distintas zonas del metal base con la finalidad de que el calentamiento se uniforme.

2.4.1.4 Cebado inadecuado del arco

Un proceso de soldadura inicia con una operación denominada cebado o establecimiento del arco; es el arranque del arco eléctrico entre el electrodo y la pieza a soldar. El cebado se lo debe hacer de forma adecuada para no formar irregularidades como picaduras sobre las piezas del metal base antes de iniciar el proceso de soldadura. Es recomendable eliminar las picaduras que se forman durante el cebado del arco mediante un esmerilado de las piezas, a fin de evitar daños en la soldadura a aplicar.

2.4.1.5 Descuelgues

Se forman en los cordones principalmente por excesiva fusión entre el metal base y el material de aporte.

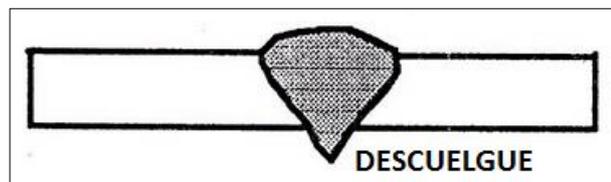


Figura 2-21: Descuelgue del material de aporte

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

Existen otros parámetros que influyen en la aparición de estos defectos, como:

- La intensidad de la corriente es elevada
- La velocidad de avance es demasiado lenta
- La posición de soldeo también influye en la formación de descolgadas, posiciones como cordones sobre cabeza y cordón vertical.

Una vez detectadas las descolgadas en el cordón se recomienda que estas sean eliminadas para evitar posibles defectos en el conjunto soldado.

2.4.2 Defectos superficiales

Dentro de los defectos superficiales se encuentran distintas patologías que afectan el aspecto visual de la soldadura, estas pueden considerarse una discontinuidad o un defecto dependiendo del caso, ya que no todas las veces se las considera defectos. A continuación se indica los defectos superficiales más comunes existentes.

2.4.2.1 Mordeduras o socavación

Es un defecto que se presenta generalmente por llevar a cabo soldaduras sin ningún control técnico o que son ejecutadas por personal poco capacitado. Se presentan a causa de factores como:

- Inclinación incorrecta del electrodo.
- Electrodo con diámetro excesivo, mayor al requerido por el diseño.
- Mala calibración de amperaje de los equipos de soldadura. Una alta intensidad de la corriente eléctrica puede fundir el metal base excesivamente.
- La velocidad de avance del electrodo es incorrecta.

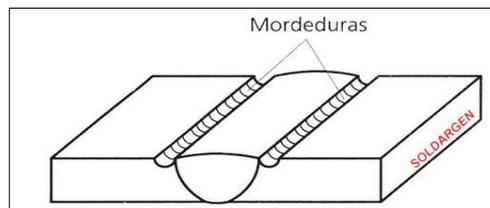


Figura 2-22: Mordeduras superficiales

Fuente: <http://soldargen.blogspot.com/2012/05/fisuras-causas-y-soluciones-las-fisuras.html>

Si este tipo de defecto no es corregido tendrá incidencia en el comportamiento mecánico y resistente de la soldadura, puesto que las mordeduras generan puntos de concentración de tensiones y vuelven frágil a la soldadura. Para evitar defectos como las mordeduras se recomienda:

- Trabajar con personal calificado para ejecutar la soldadura.
- Cumplir con los parámetros de diseño de soldadura.

Lo recomendable cuando se presenta este tipo de defecto es remover el cordón de soldadura y volverlo a ejecutar correctamente.

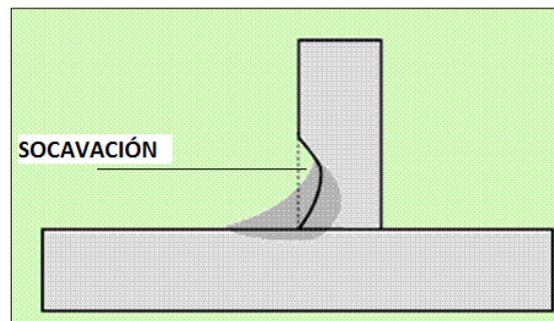


Figura 2-23: Socavación en una unión T

Fuente: http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/soldaduraporarco/index%20soldadura%20por%20arco_archivos/Page1003.htm

2.4.2.2 Cráteres

Este tipo de defecto se genera cuando existe una interrupción brusca del arco entre el metal base y el electrodo, provocando en el metal base una especie de hondonada. Es una zona propensa a concentrar tensiones, razón suficiente por la que en este punto se generan grietas.

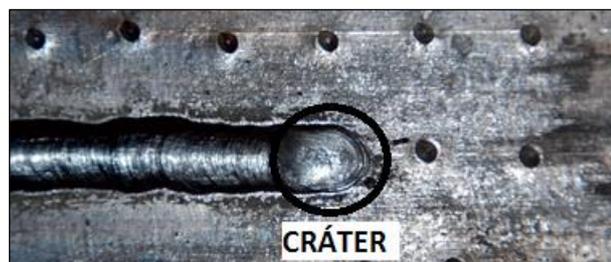


Figura 2-24: Cráter presente en la soldadura

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

Lo que se recomienda cuando se presente este tipo de defecto es:

- Rellenar el cráter con deposiciones de soldadura, debido a que estas están propensas a la aparición de futuras grietas.
- El operador debe estar en capacidad de manejar la pinza portaelectrodo de forma correcta para evitar interrupciones en el cordón, las cuales generan este tipo de defecto.

2.4.2.3 Poros

Son defectos que se pueden presentar como pequeños agujeros en la superficie de la soldadura, por razones como:

- Mala calibración de amperaje de los equipos de soldadura. Una intensidad de corriente mayor a la que le corresponde.
- Emplear electrodos húmedos.
- El metal contiene un alto porcentaje de carbono, azufre o fósforo, los cuales forman gases durante su combustión.

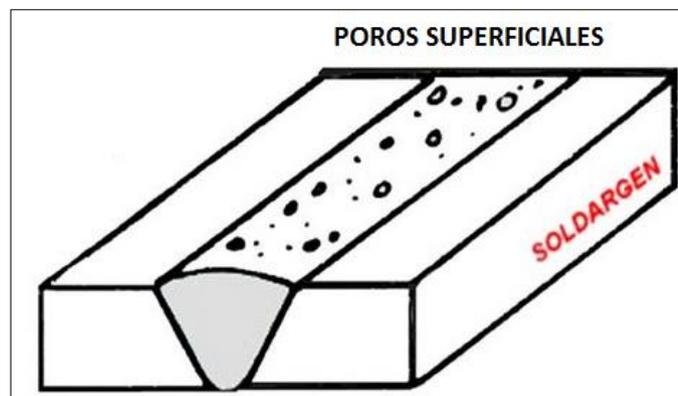


Figura 2-25: Porosidad en la soldadura

Fuente: <http://soldargen.blogspot.com/2012/05/fisuras-causas-y-soluciones-las-fisuras.html>

Lo que se recomienda para evitar la aparición de poros es:

- Calibrar la intensidad de corriente de o los equipos de soldadura, si es el caso disminuir la intensidad.
- Si se trabaja en zonas húmedas, secar los electrodos antes de utilizar.

- En el caso de que los cordones que contengan poros van a ser rellenados por otros, es necesario que estos poros sean eliminados para evitar futuras discontinuidades internas en la soldadura.

2.4.3 Defectos internos

Este tipo de defectos se encuentran presentes dentro del cordón de soldadura y no pueden ser observados a simple vista. Para su inspección se requiere de equipos más sofisticados como: rayos x o ultrasonido. Los defectos internos más comunes son los siguientes:

2.4.3.1 Grietas

“Las grietas son discontinuidades producidas por una rotura localizada, debido a que en ese punto las tensiones locales que se producen son superiores a la carga de rotura del material”. (Galbarro, 2014)

En un cordón de soldadura se pueden generar distintos tipos de grietas, como:

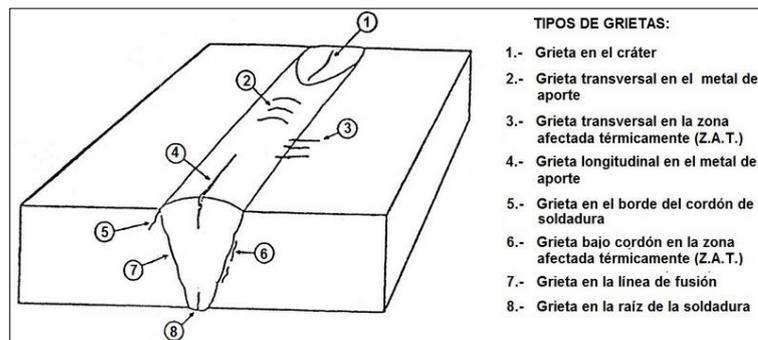


Figura 2-26: Tipos de grietas

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html#seccion3>

Grietas localizadas en el metal de aporte:

Son grietas que se forman luego de ejecutar la soldadura, pueden ser transversales o longitudinales; estas determinan tanto la calidad del metal de aporte como de la soldadura. Una grieta transversal es aquella que se forma en sentido perpendicular al

eje de soldadura como se indica en el punto 2 de la figura. Si la grieta es causada por el metal de aporte es un indicador de la falta de homogeneidad del mismo; por lo contrario si la grieta se produce por la soldadura, esta será causada por una incorrecta ejecución del proceso como una alta velocidad de avance o falta de precalentamiento del electrodo.

Una grieta longitudinal es aquella que se forma en sentido paralelo al eje de soldadura como se indica en el punto 4 de la figura; pueden estar localizadas en el centro del cordón y en la mayoría de los casos se presentan cuando: existe una rigidez excesiva en el conjunto soldado (por lo general en aceros aleados o en aquellos que contienen un alto porcentaje de carbono), por ejecutar el proceso con electrodos que contienen humedad en su revestimiento o también por someter al cordón a un enfriamiento brusco.

Adicionalmente se presentan grietas en el cráter del cordón como se indica en el punto 1 de la figura; estas son causadas por una mala ejecución del proceso por parte del operador como: enfriamiento brusco del cordón, alta velocidad de avance. Una solución relativamente fácil que se puede implementar para evitar este tipo de grieta es rellenando el cráter del cordón luego de la interrupción del arco.

Grietas localizadas en el metal base:

Este tipo de grieta nos servirá como indicador para determinar la calidad del metal base y del proceso de soldadura; se presentan de distintas formas como se indica en los puntos de la figura 2-26.

Punto 3: Grieta transversal en la zona afectada térmicamente.

Punto 5: Grieta en el borde el cordón de soldadura.

Punto 6: Grieta bajo el cordón en la zona afectada térmicamente.

Punto 7: Grieta en la línea de fusión.

Estos cuatro tipos de grietas localizados en el metal base se presentan generalmente por defectos propios del metal como: falta de homogeneidad en su aleación que se presentó durante el proceso metalúrgico del acero, lo que conlleva a reducir el grado

de soldabilidad del metal; otro factor que determina la aparición de estos tipos de grietas es la falta de preparación del metal base por parte del operador antes de ejecutar la soldadura.

2.4.3.2 Inclusiones de escorias

Son inclusiones de material sólido, en este caso se trata de escoria atrapada en el cordón durante la soldadura. La presencia de estas inclusiones puede ser causa de factores como:

- Ejecutar el proceso de soldadura con una baja intensidad de corriente.
- No existe limpieza del cordón durante el proceso; aún más si se trata de cordones superpuestos.
- El operador lleva un manejo incorrecto del electrodo.
- Electrodo con diámetro excesivo, mayor al requerido por el diseño.
- El bisel o chaflán del borde de metal base no tiene una preparación adecuada.



Figura 2-27: Inclusiones de escoria

Fuente: <http://soldargen.blogspot.com/2012/05/fisuras-causas-y-soluciones-las-fisuras.html>

Lo que se recomienda para evitar estas inclusiones es:

- Para el caso de cordones superpuestos se debe limpiar la escoria del cordón antes de depositar el siguiente.
- Contar con operadores lo suficientemente capacitados para llevar a cabo una correcta preparación y ejecución de la soldadura.

2.4.3.3 Porosidades

Este tipo de discontinuidad o defecto interno se presenta principalmente por la formación de gases durante el proceso o también por realizar un enfriamiento brusco de la soldadura provocando que las burbujas de gas formadas no tengan el tiempo suficiente para escapar hacia la superficie; otros factores que causan porosidad son:

- Llevar a cabo el proceso con electrodos inadecuados.
- La velocidad de avance del electrodo es incorrecta, en este caso demasiado alto.
- Deficiente preparación de la junta a soldar; no existe la limpieza de impurezas superficiales.
- El bisel o chaflán del borde de metal base no tiene una preparación adecuada.
- Uso de electrodos húmedos.
- Alto contenido de carbono y azufre en la estructura química del metal base.

Lo que provocan estas porosidades es ser el centro de la formación de grietas, causando el colapso de la soldadura por la reducción de la resistencia mecánica para la cual fue diseñado.

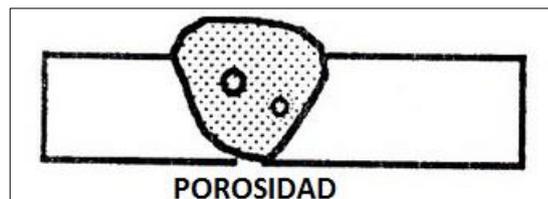


Figura 2-28: Porosidad

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

Lo que se recomienda para evitar la porosidad es:

- Secar los electrodos antes de usar.
- Contar con operadores lo suficientemente capacitados para llevar a cabo una correcta preparación y ejecución de la soldadura.
- Disminuir la intensidad de la corriente.

CAPITULO III

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

3.1 Introducción

Sirven como herramienta para llevar a cabo el control de calidad de un material sin afectar sus dimensiones, forma, propiedades físicas, químicas o mecánicas; con la finalidad de obtener información sobre las propiedades, estructura y condiciones de la muestra analizada. Para la fiscalización de la soldadura existen normas que indican los procedimientos técnicos a seguir para su calificación, ejecutados por inspectores certificados que realizan las pruebas de control, ensayos END y registros de la soldadura aplicada a las estructuras, la cual es aceptada o rechazada en base a los criterios de aceptación indicados en la norma AWS D1.1.

En el presente capítulo también se describen los distintos END requeridos por el fiscalizador de estructuras de acero para la elaboración del plan de garantía de calidad (PGC) según NEC (Comite Ejecutivo, 2011) como son: inspección visual, tintas penetrantes, partículas magnéticas, ultrasonido, radiografía industrial. De igual manera se indica su campo de aplicación, ventajas y desventajas de cada uno y los procedimientos técnicos que requieren para ser ejecutados.

Como los END se los puede aplicar con diferentes finalidades, por ejemplo para analizar las propiedades de los metales en su proceso de producción, entre ellos el aluminio, cobre, acero; el presente documento tiene por objeto realizar el estudio de los END aplicados netamente a la soldadura de estructuras de acero, mas no a los características y propiedades de los materiales.

3.2 Objetivos de los END

- Detectar discontinuidades en materiales y estructuras sin destrucción de los mismos (**DETECCIÓN**).

- Determinar la ubicación, orientación, forma, tamaño y tipo de discontinuidades (**EVALUACIÓN**).
- Establecer la calidad del material, basándose en el estudio de los resultados y en la severidad de las discontinuidades y/o defectos de acuerdo a las normas de calidad y los objetivos del diseño (**CALIFICACIÓN**) (Serrano, 2010)

Existen varios métodos de END aplicados a la soldadura que son ejecutados mediante fenómenos físicos como: ondas electromagnéticas, elásticas, acústicas, así como por capilaridad y absorción; con la finalidad de encontrar discontinuidades internas o superficiales en la soldadura para determinar si la suelda analizada contiene fisuras o por lo contrario es completamente homogénea. Estos métodos y procesos están descritos en diferentes normas como: AWS, ASTM, ASME, API, las cuales indican los criterios técnicos para realizar la detección, evaluación y calificación de la soldadura aplicada.

Para la ejecución correcta de los END se debe tomar en cuenta algunos factores que hacen efectivo el uso de estos métodos durante la inspección de la soldadura en una estructura como:

- Los END no son de aplicabilidad general, no solo un método puede lograr obtener la información requerida para la inspección.
- Cada uno de los métodos tiene su ámbito específico, por lo que serán utilizados de acuerdo al alcance de información que se requiere de la soldadura.
- Todos los métodos tienen sus ventajas y limitaciones y cada uno de ellos deberá ser estrictamente ejecutado de acuerdo a la norma correspondiente.

3.3 Beneficio del empleo de los END

Cada uno de los END empleados en la inspección de soldadura presenta varios beneficios al ser aplicados como por ejemplo:

- Se puede detectar y corregir a tiempo discontinuidades en la soldadura de la estructura, evitando futuros riesgos en las conexiones de la edificación durante su vida útil.
- Ayuda a mantener una soldadura de óptima calidad durante el proceso de construcción de las estructuras, lo que implica reducción de costos innecesarios en operaciones de reparación.
- Una correcta aplicación de los END controla el proceso de soldadura durante su ejecución, garantizando la calidad de la misma y evitando retrasos en la construcción de la estructura.
- En el caso del Ecuador, uno de los beneficios más importantes es que promueve la correcta aplicación de la soldadura a las estructuras de acero con estándares de calidad internacionales, debido a que en la actualidad muy poco se los utiliza en esta área de la construcción

3.4 Limitaciones de los END

Al realizar los END existen algunas limitaciones que pueden restringir su aplicación como por ejemplo: una inversión inicial relativamente alta, se requiere de personal altamente calificado para realizar estos tipos de ensayos, los resultados de los ensayos pueden ser interpretados de forma distinta por dos o más inspectores en la misma obra. A estas limitaciones por parte de los usuarios se las debería considerar más como una inversión a largo plazo que un costo de poca importancia.

3.5 Técnicas de inspección

Dentro de los END se tiene diferentes técnicas para inspección como las que se indican a continuación:

- Técnicas de inspección superficial
- Técnicas de inspección volumétrica

De la misma forma cada una de estas técnicas están compuestas por métodos de END, de los cuales existen una gran variedad; a continuación se indica los más utilizados para la inspección de soldadura en edificaciones construidas con acero estructural.

3.6 Técnicas de inspección superficial

Con el uso de estas técnicas se comprueba la integridad superficial de la soldadura; es conveniente aplicarlas cuando se requiere detectar discontinuidades localizadas en la superficie como fisuras de hasta 3mm de profundidad. Los END requeridos para la inspección superficial de soldadura aplicada a edificaciones conformadas con acero estructural, son:

- Inspección visual (VT)
- Líquidos penetrantes (PT)
- Partículas magnéticas (MT)

Este documento de investigación está dirigido a la inspección visual y líquidos penetrantes debido a varias razones entre ellas: la falta de profesionales capacitados en el área y la difícil accesibilidad a los instrumentos de partículas magnéticas.

3.6.1 Inspección visual (VT)

Este tipo de inspección es una técnica con la que se inicia un proceso de control de calidad de soldadura, es la más antigua y la de menor costo ya que un 80% de las discontinuidades y defectos localizados son detectados con este método. Esta técnica fundamentalmente ejecutan los profesionales con un “ojo entrenado”, que es la experiencia, habilidad, formación y capacidad del inspector especializado para detectar y juzgar una soldadura mal elaborada; simplemente con la observación puede conocer a detalle las características de una soldadura, calificarlas y dar con las discontinuidades superficiales, con o sin el uso de herramientas que complementan esta técnica, dependiendo el caso.

La inspección visual se define como “el método de prueba no destructiva que emplea la radiación electromagnética en las frecuencias visibles. Los cambios en las propiedades de la luz después de su contacto con el objeto inspeccionado pueden ser detectados por la visión humana o por medios mecanizados”. (Oliva, 2007)

3.6.1.1 Principios y descripción de la técnica

Consiste fundamentalmente en el seguimiento de las diferentes etapas de un proceso mediante la observación, desde que ingresan los materiales a la construcción hasta su montaje final. En su mayor parte esta técnica se la ejecuta visualmente pero se presentarán instancias en las que se requiera de herramientas o instrumentos adicionales que refuerzan y complementan la inspección visual. Para que este tipo de inspección sea garantizado, el inspector encargado de ejecutarlo deberá contar con su respectiva certificación, experiencia, conocimiento y habilidades que esta requiere.

3.6.1.2 Requisitos

- El personal encargado de ejecutar la VT deberá someterse un examen de agudeza visual cada 6 o 12 meses y el usar de lentes de aumento bajo prescripción médica, en caso de ser necesario.
- Dependiendo del nivel de inspección y su precisión en algunos casos el inspector también se someterá a un examen de discriminación cromática, que es la comprobación de que el individuo pueda detectar las variaciones del color o tonos cromáticos. Estos exámenes se los realiza en su mayor parte cuando se requiere inspección en la industria aeronáutica, naval o nuclear; se lo realizará una sola vez en la vida debido a que el daltonismo se presenta como una alteración genética y no puede ser corregida con ningún procedimiento médico.
- El inspector deberá tener la capacidad para conocer e identificar visualmente los tipos de discontinuidades y defectos que aparecen con más frecuencia en los cordones de soldadura luego de construir una junta.
- El inspector deberá contar con una certificación ASNT Nivel II en inspección visual.

3.6.1.3 Aplicaciones

Se lo emplea principalmente para determinar discontinuidades y defectos externos, tanto en procesos industriales como en procesos constructivos; al mismo tiempo nos proporcionan información que ayuda a identificar las causas que las generan.

3.6.1.4 Equipo

Determinar las dimensiones: En esta etapa de la inspección visual se emplean herramientas para obtener las dimensiones de los diferentes tipos cordones de soldadura mediante el cual se comprobarán con las especificaciones técnicas de diseño.

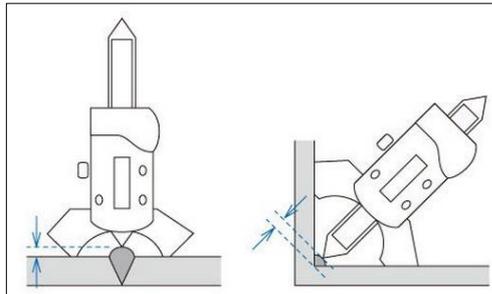


Figura 3-1: Calibradores digitales para soldadura de filete

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-tp/welding-gauges-dwg-20-easy-to-read-with-digital-display-133216169.html>

3.6.1.5 Instrumentos y herramientas

Previo al uso de las herramientas de inspección visual es necesario que el inspector obtenga datos de la estructura como: procesos de soldadura empleados, tipos de electrodos, amperaje del equipo de suelda, así como especificaciones técnicas diseño de la unión de los miembros estructurales; a fin de tener una idea breve de los tipos de discontinuidades con los que se puede encontrar. Un alto porcentaje de este método se lo realiza a simple vista, siempre y cuando el inspector tenga la suficiente experiencia, el conocimiento de especificaciones técnicas y la habilidad para ejecutarlo; sin embargo para complementar este procedimiento se requiere de instrumentos adicionales cuando el ojo humano no logra percibir algunas discontinuidades presentes en la soldadura. Principalmente estos instrumentos pueden ser:

Lentes de aumento o lupas

Las más utilizadas son aquellas de un aumento 5x y 10x, su finalidad es ampliar la imagen del cordón de soldadura para determinar discontinuidades superficiales que no se observan a simple vista.



Figura 3-2: Lupa de inspección 10x

Fuente: <http://www.astroshop.es/schweizer-lupa-de-mano-tech-line-10x/p,23343>

Instrumentos de medición

El instrumento para la toma de dimensiones estará de acuerdo al tipo de cordón, unión soldada o proceso de soldadura. De la alta variedad de instrumentos que existen, a continuación se indican los más empleados en las uniones construidas con miembros estructurales de edificaciones.

3.6.1.6 Indicadores de soldadura

Son utilizados para medir el bisel elaborado en el metal base, el cual servirá para construir una soldadura de ranura, estos están formados por ángulos estándares establecidos en las distintas normas y especificaciones; estas herramientas son empleadas principalmente en los trabajos realizados en taller.

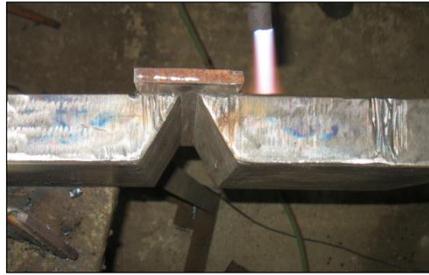


Figura 3-3: Preparación de bisel para soldadura de ranura

Fuente: <https://arcoindustrial.wordpress.com/2014/09/13/guia-de-herramientas-y-tecnicas-para-el-inspector-visual-de-soldaduras/>

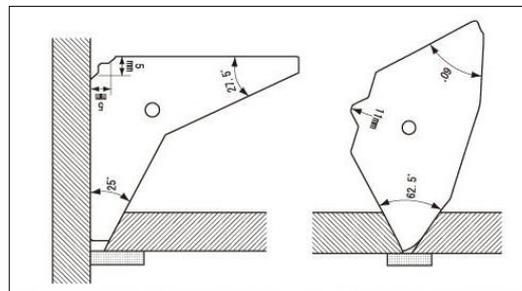


Figura 3-4: Calibradores de bisel en el metal base

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-tp/welding-gauges-wal2542-wal4562-for-measuring-bevel-angle-133218079.html>

La herramienta de la figura 3-5, se la conoce como calibre de filetes, cuenta con un juego de galgas de distintas dimensiones que sirven para medir el tamaño de pierna y garganta de una soldadura de filete, es una herramienta altamente empleada durante la inspección visual de juntas soldadas como viga-columna.

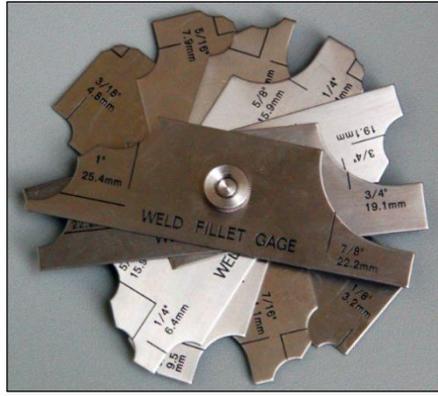


Figura 3-5: Calibre para soldadura de filete

Fuente: <https://arcoindustrial.wordpress.com/2014/09/13/guia-de-herramientas-y-tecnicas-para-el-inspector-visual-de-soldaduras/>

La siguiente herramienta es denominada como calibre universal, se lo emplea durante la inspección visual para determinar: garganta, sobre espesor, socavación y ángulos. Además se la utiliza para calificar una soldadura luego de realizar la inspección por tintas penetrantes, determinando falta de espesor de material de aporte o mordeduras.

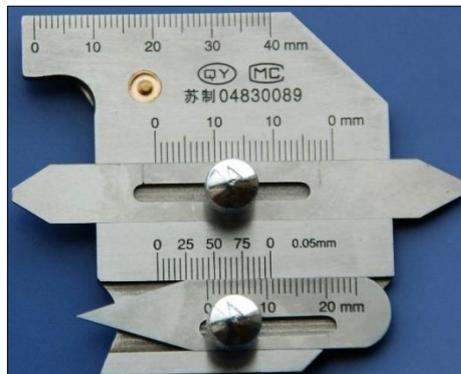


Figura 3-6: Calibre universal

Fuente: <https://arcoindustrial.wordpress.com/2014/09/13/guia-de-herramientas-y-tecnicas-para-el-inspector-visual-de-soldaduras/>

3.6.1.7 Ventajas:

- Este tipo de inspección se lo puede realizar en cualquier etapa del proceso de soldadura, antes, durante y después.
- Nos indica los defectos o discontinuidades más relevantes de una unión soldada, rechazándola sin necesidad de ejecutar otro ensayo como PT y MT.

- Sirven como herramienta para detectar discontinuidades que de alguna manera podrían convertirse en defectos, logrando ejecutar una reparación de la soldadura de forma inmediata.
- El ensayo de VT es el más económico de realizar entre todos los ensayos.
- Brinda la posibilidad de reducir costos innecesarios de reparación.
- Nos brinda información de posibles discontinuidades formadas en la estructura de la soldadura, las cuales en caso de existir serán confirmadas con otro tipo de ensayo.

3.6.1.8 Limitaciones

- Está limitado principalmente a detectar defectos o discontinuidades netamente superficiales.
- Los resultados con este tipo de ensayo están directamente vinculados con el conocimiento y experiencia que posea el inspector.
- El inspector deberá contar con una agudeza visual excepcional para realizar los ensayos.

3.6.2 Líquidos penetrantes (PT)

Este tipo de ensayo, igual que el de VT también fue uno de los primeros en emplearse a lo largo del desarrollo de técnicas de inspección superficial, tanto para soldadura como para verificar fallas en piezas de diferentes materiales o mecanismos de maquinaria. Este ensayo consiste en aplicar un líquido penetrante sobre la superficie a examinar para que este se introduzca en las posibles discontinuidades; posteriormente se extrae el penetrante excedente y se aplica un revelador, como polvo absorbente, el mismo que permitirá identificar visiblemente las discontinuidades o defectos existentes.

Existen dos tipos de procedimientos con tintas penetrantes; un ensayo con tintas fluorescentes que son realizados en laboratorios mediante luz ultravioleta y otro por contraste de color que es visible a simple vista. Para nuestro caso de estudio y aplicación de PT emplearemos directamente uno por contraste de color, debido a que

este no requiere de laboratorio y se lo puede efectuar en su totalidad en la obra. En la siguiente imagen se puede visualizar un esquema general del procedimiento.

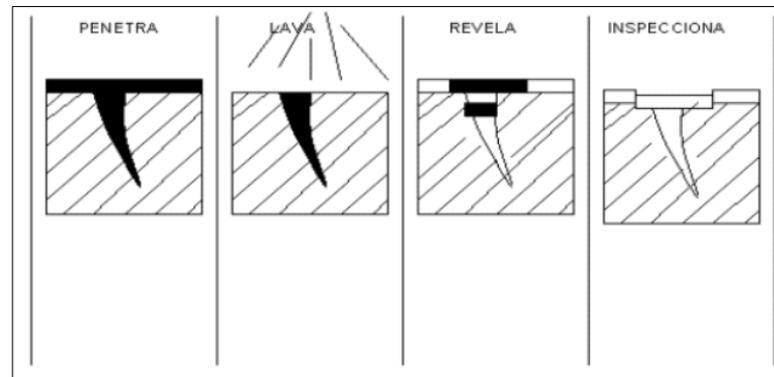


Figura 3-7: Principio básico de la técnica de tintas penetrantes

Fuente: Libro Inspector de Soldadura AWS: QC1, Carlos Oliva

Penetra: Una vez limpia la superficie del elemento analizar, se aplica el penetrante.

Lava: Luego de esperar un tiempo establecido, se retira el excedente de penetrante.

Revela: Aplicación del revelador en forma de polvo absorbente.

Inspecciona: Se determina las discontinuidades y defectos presentes.

3.6.2.1 Principios y descripción de la técnica

Esta prueba está basada principalmente en aprovechar las propiedades de algunos líquidos para penetrar (capilaridad) en las discontinuidades superficiales. Es fundamental destacar las propiedades que tienen estos líquidos para ejecutar un correcto ensayo, estas son: densidad adecuada, adherencia, baja viscosidad, cohesión y la más importante, capilaridad. La secuencia general a seguir para efectuar el ensayo es la siguiente:

- a) Limpieza previa: para proceder a ejecutar este método se deberá dejar completamente limpia la zona a inspeccionar, liberar a esta de impurezas como: escoria, grasa, pintura que pueden afectar el proceso; para facilitar la limpieza se utiliza un líquido conocido como removedor.

- b) Aplicación de penetrantes: una vez limpia la zona a inspeccionar se procede a aplicar el penetrante a lo largo del cordón de soldadura; este tendrá un tiempo de exposición de 5 a 10min.
- c) Eliminación o remoción del exceso de penetrante: se procede a remover con una toalla húmeda de removedor, este exceso será retirado cuidadosamente, evitando retirar el penetrante que se encuentra en las discontinuidades presentes.
- d) Aplicación del revelador: al aplicar el revelador, este deberá contar con un tiempo de exposición de 3 a 5 min para detectar las discontinuidades o defectos.
- e) Interpretación y evaluación: finalmente saldrán a la luz las discontinuidades o defectos, las mismas que serán evaluadas y calificadas por el inspector de acuerdo a la normativa aplicada, pericia y experiencia del mismo.

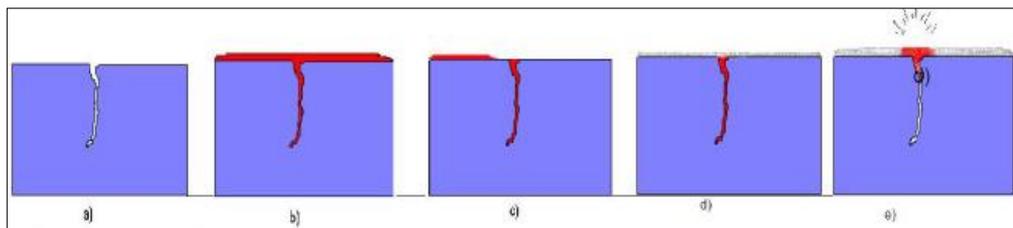


Figura 3-8: Procedimiento de la técnica de tintas penetrantes

Fuente: <https://sites.google.com/site/laboratorioensmateriales/ensayo-de-tintas-penetrantes>

3.6.2.2 Requisitos:

Para proceder a realizar el ensayo se deberá considerar y tener presente los siguientes factores:

- Una vez efectuada la VT será muy importante definir los tipos de discontinuidades que se pueden presentar así como el nivel de sensibilidad requerido para llevar a cabo el ensayo, mediante penetrantes visibles. En situaciones de que se requiera analizar discontinuidades extremadamente finas o delgadas, será necesario emplear penetrantes fluorescentes, caso poco habitual en inspección de estructuras de acero debido a que se requiere herramientas de laboratorio.

- Tener presente en qué tipo de superficie se va a realizar el ensayo; si es el caso de una superficie áspera como la soldadura, el penetrante puede ser líquido removible con agua; por lo contrario si se va analizar piezas con superficies pulidas, estas requerirán de un penetrante removible con agua.
- Antes de adquirir los líquidos el inspector deberá confirmar la calidad mediante los catálogos de los proveedores, así como los códigos y especificaciones a las cuales se rigen su aplicación.
- El inspector no deberá utilizar los líquidos de marcas distintas por ejemplo un revelador de marca X y un penetrante de marca Y, a fin de garantizar la inspección.
- El inspector deberá contar con una certificación ASNT Nivel II en tintas penetrantes.

3.6.2.3 Aplicaciones

Este ensayo es empleado en distintas áreas de producción, así como en diferentes materiales por su versatilidad y su bajo costo en equipos y materia prima. Actualmente es empleado en soldadura, conducciones de fluidos, componentes de maquinarias, entre otros. A parte de que sirve como herramienta para la inspección y control de calidad de soldadura durante la construcción y montaje de elementos estructurales en edificaciones, se lo puede emplear también como herramienta para dar mantenimiento a miembros estructurales y sus conexiones durante su vida útil.

Con lo que respecta a la inspección de soldadura este método es empleado para detectar: porosidad, grietas, mordeduras, defectos en el metal base, entre otras; todas estas siempre y cuando se encuentren expuestas a la superficie.

3.6.2.4 Equipo:

A demás de las herramientas básicas que sirven para limpieza de la junta soldada, se requieren de otros elementos con los que se procede a desarrollar esta técnica de inspección, estos son:

Removedor: Una vez retiradas las impurezas como: escoria, pintura, residuos de metal base, u otros elementos la superficie a inspeccionar, se procederá a aplicar un removedor; este está provisto de compuestos químicos no coloridos que retiran tanto los componentes orgánicos: polvo y componentes inorgánicos (pintura, aceite, grasa) que puede encontrarse sobre la superficie a inspeccionar. Su aplicación para la inspección de soldadura en estructuras de acero es conveniente realizarlo mediante un aerosol como se indica en la figura.



Figura 3-9: Líquido removedor de impurezas

Fuente: <http://prueba-de-tintas-magnaflux.blogspot.com/2011/02/liquido-limpiador-removedor-sk-s.html>

Penetrante: Una vez limpia la superficie a inspeccionar se procede a aplicar el penetrante, el mismo que se introducirá en discontinuidades o defectos existentes. Existen varias formas de aplicar el penetrante, estas pueden ser por:

Inmersión: Esta técnica se suele emplear para analizar piezas pequeñas, en el caso de miembros estructurales, esta nos podrá servir para analizar muestras o probetas tomadas en el taller. No se empleará para realizar la inspección en obra, es prácticamente imposible emplear.

Brocha: Esta técnica es muy tradicional, por lo que ya no es empleada en la actualidad, puede generar desperdicio o excesiva acumulación del penetrante en ciertas zonas de la soldadura a inspeccionar.

Pulverización: Este tipo de aplicación es el más empleado en la inspección de conexiones de miembros estructurales de acero en las edificaciones, por su

versatilidad, rapidez y comodidad. Esta consiste en aplicar el penetrante por presión mediante un aerosol con un tono de contraste rojo como el que se indica en la figura.



Figura 3-10: Líquido penetrante en las discontinuidades existentes

Fuente: <http://prueba-de-tintas-magnaflux.blogspot.com/2011/02/liquido-penetrante-visible-removible.html>

Revelador: Al emplear este líquido lo que se logra es extraer el penetrante atrapado en las discontinuidades superficiales, lo que implica una formación de una película para que a su vez estas sean visibles al ojo humano. Los reveladores se pueden presentar en un polvo como sustancia mineral fina o en una sustancia acuosa. Se presenta en forma de líquido aplicado por medio de presión mediante un aerosol con un tono de color blanco.



Figura 3-11: Líquido revelador de discontinuidades existentes

Fuente: <http://www.jausolda.com.br/promocoes/revelador-spotcheck-skd-s2>

Ventajas:

- Es altamente sensible a las discontinuidades expuestas a la superficie.
- El uso de los materiales como tintas para realizar la inspección son relativamente sencillos.
- El costo de los materiales es sumamente económico.
- Se requiere de un corto tiempo para la ejecución del ensayo.
- Los equipos son portátiles, esenciales para trabajos en altura.

Limitaciones:

- No se lo puede emplear en materiales porosos.
- Son netamente aplicables para inspección superficial.
- Los profesionales encargados de la inspección deberán contar con una amplia experiencia y pericia para ejecutar este método.

3.7 Técnicas de inspección volumétrica

Al aplicar estas técnicas se comprueba la integridad interna de la soldadura; son necesarias cuando las discontinuidades se encuentran dentro del espesor de la soldadura y no se las aprecia visiblemente. Los END requeridos para la inspección volumétrica de soldadura aplicada a edificaciones conformadas con acero estructural son: radiografía industrial y ultrasonido industrial; en este trabajo de grado nos centramos en el proceso y aplicación solo de ultrasonido industrial.

Impedancia acústica: “Es el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad del material”. (Serrano, 2010)

Palpador: Conjunto de elementos donde se aloja el transductor y material amortiguante.

Transductor: “Un transductor es un cristal polarizado que aumenta sus dimensiones cuando se aplica el pulso eléctrico, y cuando se le deja aplicar el cristal recupera sus dimensiones originales”. (Oliva, 2007)

3.7.1 Ultrasonido industrial (UT)

Es un procedimiento no destructivo que es utilizado para realizar una inspección tanto interna y superficial en distintos materiales como por ejemplo discontinuidades en su estructura interna o espesores de los mismos; en el caso de la soldadura de estructuras de acero, se emplea este método para localizar discontinuidades internas; su procedimiento se basa en vibraciones mecánicas transmitidas en los materiales mediante ondas de alta frecuencia que se encuentran fuera del intervalo auditivo.

Estas frecuencias pueden estar en un rango de 0.25 a 25 mega hertzio (ciclos/segundo) y compuestas por velocidades ultrasónicas de miles de metros/segundo, por esta razón se lo denomina ultrasonido; estas ondas se introducen en la pieza a inspeccionar y son reflejadas por las superficies internas que las interceptan luego son convertidas de señales acústicas amplificadas a señales eléctricas mediante equipos electrónicos, transformados finalmente en diagramas verticales que son interpretados por el ingeniero inspector.

Sus primeras aplicaciones se basan en la inspección por percusión, uno de los más empleados en el desarrollo de la revolución industrial; esta consistía en un examen a las piezas mediante golpes con martillo, de la cual el inspector encargado empleando su experiencia y pericia auditiva podía determinar si la pieza inspeccionada se encontraba con imperfecciones o en perfecto estado.



Figura 3-12: Equipo de ultrasonido industrial

Fuente: <http://atrya.com.mx/pdf/CAT%20EPOCH%20600.pdf>

3.7.1.1 Principio y descripción de la técnica

Para detectar una discontinuidad mediante este método se deberá tener presente dos factores: la velocidad del sonido a través de un metal es casi constante, lo que facilita medir las distancias recorridas; la amplitud de los pulsos de sonido reflejados son proporcionales al tamaño del reflector. El ultrasonido se genera a partir de transductores compuestos por materiales de cuarzo o titanio de bario, los mismos que transforman la energía mecánica a eléctrica o viceversa.

Al conectar el transductor a un generador de pulsos eléctricos, el cristal del transductor aumentan y disminuyen sus dimensiones, el cristal vibra a altas frecuencias generando el ultrasonido, a este efecto se lo denomina “efecto piezoeléctrico”; también se puede presentar un efecto piezoeléctrico inverso, la energía mecánica recibida por un transductor es transformada a pulsos eléctricos. Los transductores empleados están colocados estratégicamente sobre un sistema compuesto básicamente de un material amortiguante, al cual se lo denomina “palpador”.

Para propagar el sonido a través de los metales, existen 3 métodos que se emplean en la actualidad, los cuales se describen a continuación:

- Ondas superficiales o de Rayleigh: Este tipo de onda se asemeja a las ondas presentes en la superficie del agua, para el caso de inspección de soldadura no

es aplicable este método a causa de que el movimiento de esta onda no tiene mayor relevancia bajo la superficie del metal.

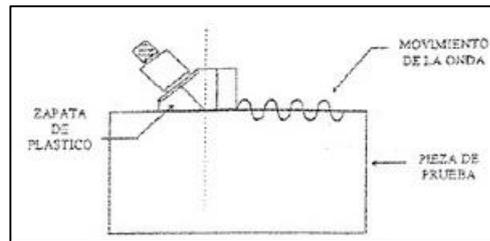


Figura 3-13: Ondas superficiales o de Rayleigh

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/105822227/Curso-de-Ultrasonido-Nivel-I-y-II>

- Ondas longitudinales, rectas o de compresión: Este tipo de onda tiene un movimiento paralelo a la propagación del “haz sonoro”. Presentan velocidades relativamente altas y ondas de longitud relativamente corta. Se lo emplea netamente para determinar inclusiones y discontinuidades laminares en el metal base.

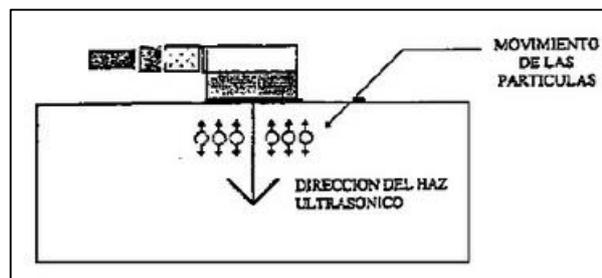


Figura 3-14: Ondas longitudinales

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/105822227/Curso-de-Ultrasonido-Nivel-I-y-II>

- Ondas transversales o de corte: A diferencia de las ondas longitudinales, estas tienen un movimiento perpendicular a la propagación del “haz sonoro”. La velocidad de estas se desarrollan a la mitad de la velocidad de las longitudinales, lo que nos permite que la regulación electrónica sea más sencilla y así mismo una mayor sensibilidad. Esta onda es la más empleada en la inspección de soldadura, debido a que podemos obtener la localización y orientación de la discontinuidad mediante coordenadas en 3 dimensiones.

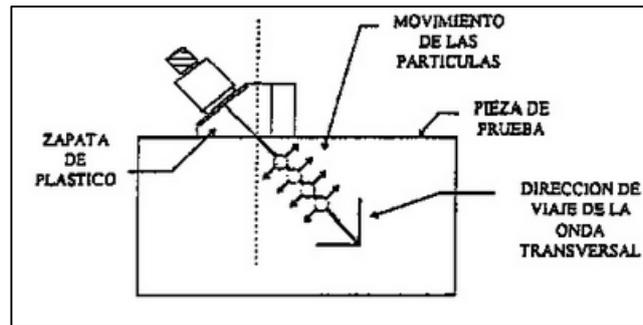


Figura 3-15: Ondas trasversales o de corte

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/105822227/Curso-de-Ultrasonido-Nivel-I-y-II>

Algunas de las características principales de la inspección por UT son:

- Las ondas de ultrasonido viajan a gran velocidad.
- Se puede transmitir a través de los sólidos en línea recta para determinar su espesor o discontinuidades internas presentes.
- Es procedimiento de inspección altamente eficiente, en relación a VT y PT.

3.7.1.2 Requisitos

- Se deberá contar con los planos estructurales de la construcción o a su vez con los planos de taller para obtener datos como: espesor de material base, longitud de sección de perfiles; en el mejor de los casos si existe el diseño de soldadura, este servirá como parámetro de comparación para determinar si se cumple con lo dispuesto en el diseño.
- El inspector deberá tener la capacidad para evaluar y calificar de acuerdo a la tabla 6.3 de la norma AWS 2010, los tipos de discontinuidades y defectos que se presentan durante la inspección.
- El inspector deberá contar con una certificación ASNT Nivel II en ultrasonido.
- Calibrar el equipo de acuerdo al espesor del metal base y tolerancias según el procedimiento descrito en la norma.

3.7.1.3 Aplicaciones

Es empleado para efectuar una inspección interna, superficial y subsuperficial más rigurosa de materiales metálicos y no metálicos, sin afectar su estructura. Principalmente se lo utiliza para determinar espesores e irregularidades internas provenientes de fallas de fábrica en la producción de piezas fundidas o en operaciones de montaje como en el caso de la soldadura, la determinación de defectos y discontinuidades en su estructura.

3.7.1.4 Equipo

A lo largo de los años se han desarrollado y evolucionado distintos modelos de ultrasonidos industriales, cada uno mejorando sus características de imagen, durabilidad, efectividad o elementos electrónicos, pero todos con el mismo principio para el cual fueron creados; el método empleado para inspeccionar soldadura es el denominada “ensayo de ultrasonido por pulso-eco”. A continuación se indica cada una de las partes que conforman un equipo de ultrasonido

Sistema de transmisión:

Entre los componentes principales del sistema de transmisión tenemos el sistema electrónico de transmisión integrado, pantalla VGA en la que se representan los diagramas y valores numéricos de los distintos parámetros, panel de navegación para la calibración y ajuste de los parámetros requeridos en cada tipo de inspección, memoria SD para el almacenamiento de información, puerto USB para entrada y salida de información digital, entrada de cable coaxial.

En la siguiente figura se indica las partes más principales del sistema de transmisión.



Figura 3-16: Componentes principales del sistema de transmisión

Fuente: <http://atrya.com.mx/pdf/CAT%20EPOCH%20600.pdf>

Palpadores:

Este es el conjunto de elementos donde se aloja el transductor y material amortiguante, estos se presentan en distintas dimensiones, materiales y formas geométricas de acuerdo a lo requerido por la inspección.

Tipos de palpadores: Existe una alta variedad de palpadores para la inspección por UT, estos se diferencian por el tipo de material, superficie, espesor de los elementos a inspeccionar. Para el caso de la inspección en edificaciones construidas de acero estructural, los más empleados son:

Palpador de contacto: Son aquellos que van colocados directamente sobre la superficie a inspeccionar, netamente utilizados en inspecciones de haz recto, las cuales emiten ondas longitudinales con frecuencias que se encuentran entre 0.5 a 10 MHz. Por lo general son más empleados para determinar discontinuidades a la superficie de contacto, además se lo utiliza para medir espesores.

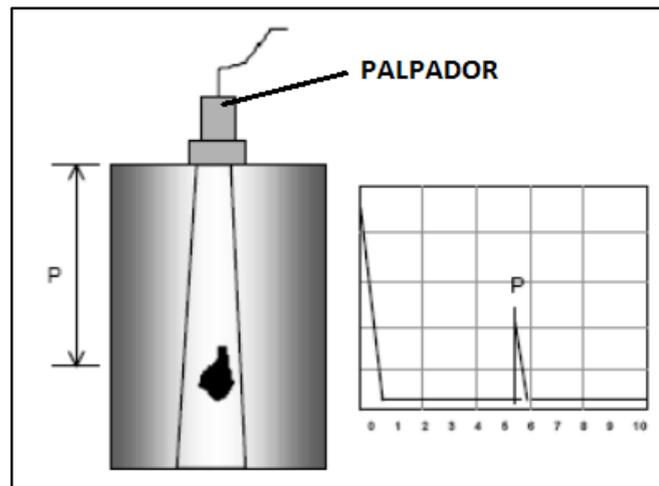


Figura 3-17: Palpador de ultrasonido

Fuente: Libro Inspector de Soldadura AWS: QC1, Carlos Oliva

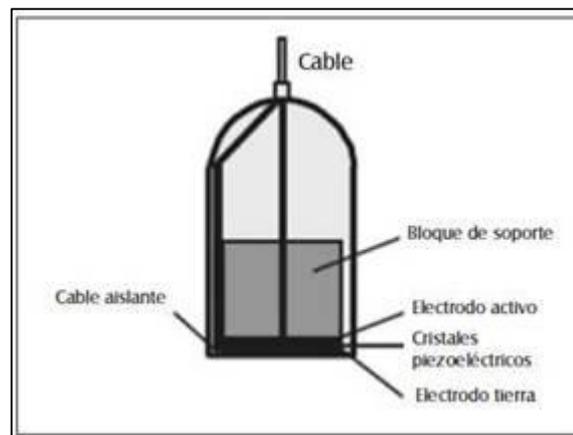


Figura 3-18: Sección de transductor de ultrasonido

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos90/ultrasonido-frecuencia/ultrasonido-frecuencia.shtml>

Palpador de haz angular: Este es el tipo de palpador más empleado en la inspección de cordones de soldadura, en las conexiones de miembros estructurales como viga-columna, columna-placa de anclaje y empalme columna-columna. Se lo obtiene acoplando un palpador de haz recto con un elemento de plástico denominado zapata el cual cuenta con un ángulo de refracción, respecto al eje vertical, con lo que se forma un ángulo de palpador genera ondas de corte, a estas se las conoce también como “ondas refractadas”, los ángulos comerciales de la zapatas plásticas para inspección de estructuras de acero son de: 35, 45, 60, 70, 80, 90 grados.

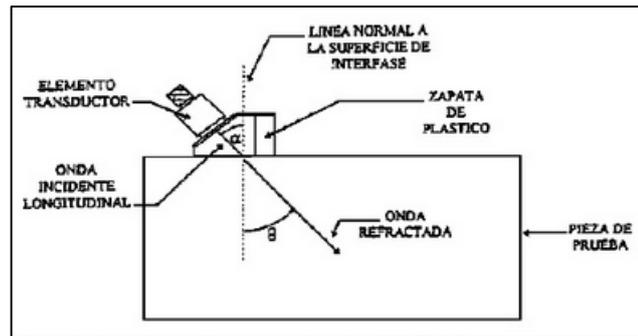


Figura 3-19: Palpador de haz angular

Fuente: <https://es.scribd.com/doc/105822227/Curso-de-Ultrasonido-Nivel-I-y-II>

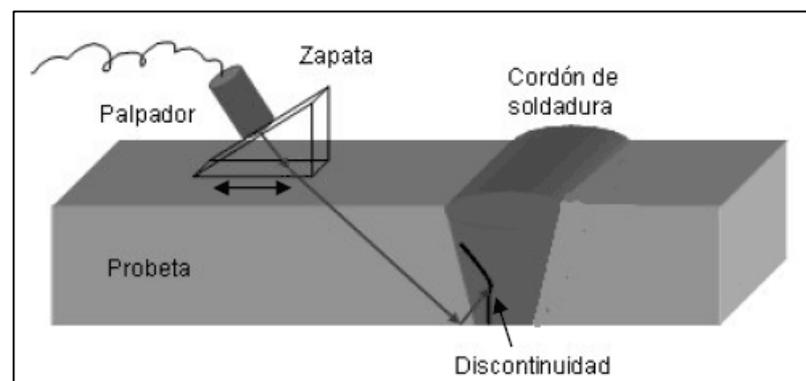


Figura 3-20: Proyección de haz angular a cordón de soldadura

Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372009000200002&script=sci_arttext

Transductor: “Un transductor es un cristal polarizado que aumenta sus dimensiones cuando se aplica el pulso eléctrico, y cuando se le deja aplicar el cristal recupera sus dimensiones originales”. (Oliva, 2007)

Efecto piezoeléctrico

“Efecto piezoeléctrico inverso: ocurre cuando el transductor es conectado a un generador de pulsos de alta frecuencia, las dimensiones de cristal aumentan y disminuyen simultáneamente con los pulsos eléctricos, el cristal vibra a alta frecuencia y genera ultrasonido”. (Oliva, 2007)

Efecto piezoeléctrico directo: Este se produce en sentido opuesto al directo; en el que las variaciones de alta frecuencia (energía mecánica) recibidas por el transductor son transformadas en pulsos eléctricos.” (Oliva, 2007)

Los materiales empleados para la construcción de estos se definen de acuerdo al tipo de material a inspeccionar; estos se diferencian principalmente por sus características piezoeléctricas:

Material	Eficiencia como transmisor	Eficiencia como receptor	Sensibilidad	Poder de resolución	Características mecánicas
Cuarzo	Mala	Mediana	Escasa	Optima	Buena
Sulfato de litio	Mediana	Buena	Buena	Optima	Soluble en agua
Titanato de bario	Buena	Mediana	Optima	Mediana	Frágil
Metaniobato de bario.	Buena	Mediana	Optima	Optima	Buena
Zirconato titanato de plomo	Buena	Mediana	Optima	Mediana	Buena

Figura 3-21: Materiales de transductores

Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

Líquido acoplante

Es un material o sustancia acústicamente conductor que se aplica sobre la superficie a inspeccionar, con la finalidad de eliminar la pequeña capa de aire que se forma entre el palpador y la pieza de trabajo; debido a que el aire presenta un alta impedancia acústica comparada con los sólidos lo que genera pérdidas de energía, razón por la que no se transmitiría en su totalidad el sonido emitido desde el palpador, lo que dificulta la inspección.

Esta sustancia puede ser de distintos materiales como por ejemplo:

- Aceite
- Grasa

- Vaselina
- Agua, entre otros.

Algunas de las principales características que deben reunir estos acoplantes para garantizar la reducción del aire entre el palpador y la superficie de la pieza de trabajo son las siguientes:

- Ser de fácil remoción luego de la inspección.
- Formar una capa completamente homogénea entre el palpador y la pieza de trabajo.
- Viscosidad adecuada
- Bajo costo
- No tóxico
- No corrosivo

Bloques de calibración

Antes de iniciar con la aplicación de este método, se deberá ajustar el equipo de acuerdo a las propiedades físicas y químicas del material que compone la estructura a inspeccionar. Los bloques de calibración son piezas metálicas que contienen discontinuidades artificiales empleadas con dos propósitos; el primero para determinar las características de operación del palpador y del sistema de transmisión y el segundo para realizar una reproducción de los ecos de indicación de respuesta del equipo a lo largo de la inspección.

En el caso de que un bloque se lo emplee para comparar la altura del diagrama de un eco de una discontinuidad presente en la pieza inspeccionada con respecto a la altura de eco de una discontinuidad artificial, a este se lo denomina “bloque de referencia”.

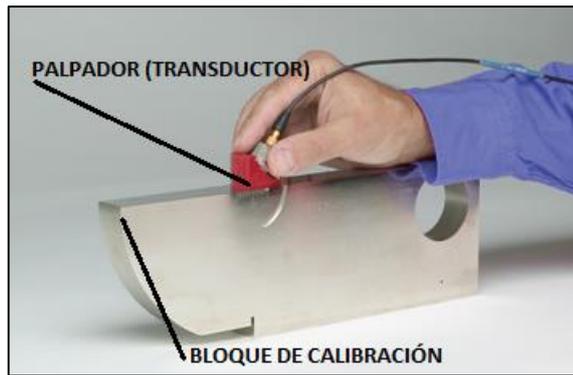


Figura 3-22: Bloque de calibración basado en el código AWS D1.1

Fuente: <http://www.olympus-ims.com/es/ultrasonic-transducers/testblocks/>

Ventajas

- Nos permite ejecutar una inspección interna, superficial y subsuperficial de un material.
- Su campo de aplicación es muy amplio, entre las más importantes tenemos la medicina, ingeniería civil, ingeniería industrial, telecomunicaciones, etc.
- Los equipos pueden ser instalados en laboratorios como también ser portátiles; esta ventaja es primordial para el trabajo en altura, principalmente en la inspección de soldadura en edificaciones.
- Esta técnica se puede aplicar a distintos materiales, sean estos metálicos o no.
- La forma geométrica del material no limita su uso, se acopla fácilmente a superficies laminares o tubulares.
- Se puede ajustar la sensibilidad del ultrasonido mediante el intercambio y calibración de los palpadores que forman parte del equipo.

Limitaciones

- La inspección con este método tiene un alto costo en relación a los END de VT y PT, debido a que el equipo y sus accesorios son costosos.
- El inspector deberá contar con una certificación ASNT-TC-1A Nivel II-UT y la experiencia necesaria para realizar la inspección mediante este método.

- De la misma forma que los palpadores pueden acoplarse a distintos tipos de superficies, se deberá contar con varios de estos, ya sea en dimensiones o en su forma geométrica.
- La superficie de la pieza a inspeccionar deberá ser completamente regular.

CAPITULO IV

PROCEDIMIENTO Y APLICACIÓN DE LOS END

4.1 Introducción

Para la elaboración de este documento se realizó la primera visita a la construcción de la estructura de acero cuando esta ya tenía un avance de un 60% de su totalidad; razón por la cual no se pudo llevar a cabo la inspección, antes, durante y después de aplicar la soldadura. Las juntas analizadas son viga – columna, empalme columna – columna y columna - placa de anclaje. Es importante señalar que los END utilizados en la inspección y control de calidad en conexiones soldadas de miembros estructurales de acero del edificio Torre Piamonte, son: inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido, a causa de que en la ciudad de Cuenca existe poca oferta de profesionales certificados para realizar estos procedimientos de inspección; así como también una baja demanda por parte de la empresa privada y de las entidades contratantes públicas para aplicar estos procesos en la actualidad.

En primer lugar se realizó la inspección visual (VT) de la soldadura mediante visitas periódicas a la construcción, en las cuales se fueron tomando fotografías de juntas y cordones mal construidos así como dimensiones de: gargantas, piernas, etc. Mediante este método se puede identificar soldaduras que se encuentren en mal y buen estado, basándonos en los parámetros de las distintas normas y siguiendo un procedimiento técnico para aprobar o rechazar la suelda.

Una vez aplicado el método de VT y que bajo los criterios de aceptación de la norma se rechace la soldadura se procede a la aplicación de las tintas penetrantes (PT), con la cual finalmente se logrará detectar las diferentes discontinuidades o defectos superficiales presentes en el cordón construido. Finalmente si la soldadura que fue analizada es rechazada tanto por VT como por PT, se ejecuta una inspección volumétrica de la misma. El método utilizado será una inspección por ultrasonido (UT), técnica que nos permite determinar la falta de penetración del cordón de soldadura sobre el material base y los defectos internos que esta puede presentar.

4.2 Procedimiento

A continuación se presentan los distintos formatos que serán utilizados para la toma de datos así como para la posterior evaluación y calificación de la soldadura; estos serán presentados por parte del inspector a la entidad correspondiente.

4.2.1 Formato de información general de los END

Tabla 4-1: Información general de los END

[1] Nombre de la Obra:		[3] INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (Nombre de la Obra)	[4] Fecha de Inspección:	
[2] Nombre de la Empresa o Inspector: UNIVERSIDAD DEL AZUAY			[5] Reporte N°:	
[6] DATOS GENERALES				
Cliente Especificaciones Inspeccionado por Aprobado por		Empresa Localización Descripción		
[7] ANTECEDENTES				
[8] DETALLES GENERALES DE LOS END				
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN		
ITEM	ENSAYO NO DESTRUCTIVO	CÓDIGO DE EJECUCIÓN	ESPECIFICACIÓN ADICIONAL	
[9] INFORMACIÓN ADICIONAL				
Fecha de inicio Fecha de culminación Inspectores requeridos				

Fuente: Autor

Tabla 4-2: Especificaciones y condiciones generales de los END

[1] Nombre de la Obra:		[3] INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (Nombre De La Obra)	[4] Fecha de Inspección:
[2] Nombre de la Empresa o Inspector: UNIVERSIDAD DEL AZUAY			[5] Reporte N°:
[10] ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES GENERALES DE INSPECCIÓN			

Fuente: Autor

El contenido de este formato está compuesto por:

1. Nombre de la construcción.
2. Nombre de la empresa o el inspector a cargo de la inspección, para el ejemplo se ha colocado Universidad del Azuay, por motivo de tesis.
3. Comprende el título principal del formato, junto con el nombre de la construcción.
4. Fecha de inicio y final de la inspección, ejemplo: 9 a 12 de febrero del 2015.
5. El número de reporte, este se entregará cada inspección y depende del tamaño y magnitud de la construcción.
6. Comprende información general tanto del contratista como de la entidad contratante.
7. Se detalla una breve descripción del tipo de construcción a ser inspeccionada, como por ejemplo: avance de obra, códigos o normas a emplear, tipos y metodología de los END a emplear.

8. Se describe los tipos de END a emplear, códigos y normas a las que se rige la inspección; además para una edificación de varios niveles se indicará el porcentaje de inspección realizado en cada planta.
9. En este espacio se adjuntará otros tipos de información adicional que servirán para reforzar el informe.
10. En este espacio irán descritas las zonas de inspección, conexiones de miembros estructurales y empalmes.

4.2.2 Inspección visual

4.2.2.1 Alcance

La inspección por medio de este método se lo aplicará a todas las conexiones soldadas accesibles, aplicables al código AWS D 1.1 /D1.1 M 2010; haciendo uso de herramientas que apoyan la inspección como: galgas, calibradores, lupa, en caso de ser necesario también se requerirá de iluminación artificial.

4.2.2.2 Objetivo del método

Detectar discontinuidades y defectos presentes en la superficie de la soldadura; evaluar los datos obtenidos de la inspección y finalmente calificar la soldadura, mediante los criterios de aceptación o rechazo establecidos en el código AWS D 1.1 /D1.1 M 2010.

4.2.2.3 Normas de referencia

NEC 11 cap. 5 (Norma Ecuatoriana de la Construcción).

ASME V Art. 9 y art 28 (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 (Sociedad Americana de Soldadura).

4.2.2.4 Personal

- El inspector deberá contar con una certificación ASNT Nivel II en inspección visual.

4.2.2.5 Equipos y materiales

- Lupas.
- Galgas de medición de soldadura
- Calibrador, para toma de espesores de metal base
- Flexómetro
- Herramientas para limpieza de residuos o impurezas (brocha, franela, cepillo de acero, etc.)
- Cámara fotográfica
- Uso de equipo de protección (casco, gafas, mascarillas)
- Tablas de código empleado para aceptación o rechazo de soldadura
- Planos estructurales de edificación; estos son empleados para la ubicación de las distintas conexiones en obra

4.2.2.6 Procedimiento

- Para realizar una correcta visualización de las posibles discontinuidades en la soldadura se deberá limpiar las impurezas presentes tales como: grasa, escoria, polvo acumulado; si es el necesario removerlas con la ayuda de cepillos de acero o mediante gratas eléctricas (pulido con amoladora) sin causar daño a la superficie de la soldadura.

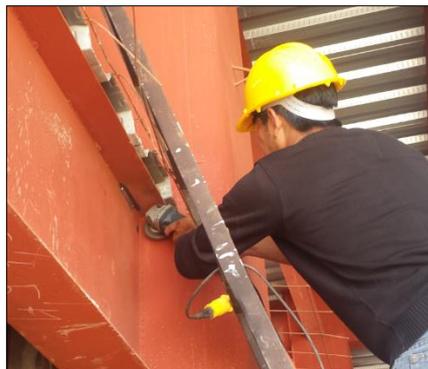


Figura 4-1: Limpieza de impurezas en conexiones soldadas en obra

Fuente: Autor

- Se procede a la toma de dimensiones tanto de los espesores del metal base como también pierna y garganta del cordón de soldadura, haciendo uso de las herramientas como: galgas, calibrador y flexómetro. En esta etapa también se determinara si la superficie del cordón tiene geometría cóncava o convexa.



Figura 4-2: Medición de soldadura de filete

Fuente: Autor

- Una vez determinadas las discontinuidades o defectos en la superficie de la soldadura se marcará las zonas y longitudes de los cordones defectuosos, mediante símbolos de acuerdo a la nomenclatura empleada por el inspector.



Figura 4-3: Soldadura rechazada visualmente

Fuente: Autor

- Por último se evaluará y calificará la soldadura inspeccionada de acuerdo los criterios de la tabla 5.8 de la norma AWS 2010, aceptando o rechazando el cordón de soldadura.

Tamaños de la Soldadura de Filete Mínimos (ver 5.14)			
Espesor del Metal Base (T) ^a		Tamaño Mínimo de la Soldadura de Filete ^b	
pulg.	mm	pulg.	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (Nota c)	3 (Nota c)
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

^a Para los procesos considerados como no bajo-hidrógeno sin precalentamiento calculado de acuerdo con 4.8.4, T es igual al espesor de la pieza más gruesa unida, se deben de utilizar soldaduras de paso sencillo. Para los procesos considerados como no bajo-hidrógeno utilizando procedimientos establecidos para evitar el agrietamiento de acuerdo con 4.8.4 y para los procesos de bajo-hidrógeno, T es igual al espesor de la pieza más delgada unida, el requerimiento del paso sencillo no aplica.

^b Excepto que el tamaño de la soldadura no necesita exceder el espesor de la pieza más delgada unida.

^c El tamaño mínimo para estructuras cargadas cíclicamente deberá ser de 3/16 pulg. [5 mm].

Figura 4-4: Tamaño mínimo de soldadura de filete

Fuente: AWS D 1.1 /D1.1 M: 2010

4.2.2.7 Normas de aceptación y rechazo

ASME V Art. 9 y art 28 (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 (Sociedad Americana de Soldadura).

4.2.2.8 Informe

Este contiene la información de las discontinuidades detectadas, su evaluación y calificación respectivamente en un formato de presentación; el mismo estará compuesto fundamentalmente por nombre del inspector o empresa, nombre del cliente, tipos y marca de herramientas empleadas, imágenes fotográficas de las discontinuidades o defectos encontrados en la soldadura, entre otras. La hoja tendrá el siguiente formato:

Tabla 4-3: Inspección visual de los END

[1] Nombre de la Obra:		[3] INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (Nombre De La Obra)	[4] Fecha de Inspección:
[2] Nombre de la Empresa o Inspector: UNIVERSIDAD DEL AZUAY			[5] Reporte N°:
INSPECCIÓN VISUAL			
[6] CALIBRES PARA INSPECCIÓN VISUAL			
[7] OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS			

Fuente: Autor

El contenido de este formato está compuesto por:

1. Nombre de la construcción.
2. Nombre de la empresa o el inspector a cargo de la inspección, para el ejemplo se ha colocado Universidad del Azuay, por motivo de tesis.
3. Comprende el título principal del formato, junto con el nombre de la construcción.
4. Fecha de inicio y final de la inspección, ejemplo: 9 a 12 de febrero del 2015.
5. El número de reporte, este se entregará cada inspección y depende del tamaño y magnitud de la construcción.
6. Se indica el tipo de galga o calibre; herramientas que sirven de apoyo a la inspección visual.

7. Mediante fotografía se indicarán las dimensiones, defectos y discontinuidades presentes en la soldadura, empleando las herramientas de inspección visual como: lupas, galgas, calibradores, etc.

Para el caso de que la inspección inicie cuando la estructura tenga un avance mayor al 25% de su construcción el profesional encargado de realizar la inspección visual, en este espacio indicará mediante fotografía tomada en obra, de forma muy breve aspectos como tipos de conexiones, empalmes de miembros estructurales, placas de respaldo, placas de continuidad, tipos de soldadura, entre otros; indicando defectos muy relevantes tanto en el aspecto estructural como de la soldadura.

4.2.3 Tintas penetrantes

4.2.3.1 Alcance

Con este método se determina la existencia de discontinuidades o defectos superficiales presentes en los cordones de soldadura de las conexiones aplicables al código AWS D 1.1 /D1.1 M 2010; empleando básicamente 3 líquidos, un solvente, un penetrante y un revelador.

4.2.3.2 Objetivo del método

Detectar discontinuidades y defectos presentes en la superficie de la soldadura; evaluar los datos obtenidos de la inspección y finalmente calificar la soldadura mediante los criterios de aceptación o rechazo establecidos en el código AWS D 1.1 /D1.1 M 2010.

4.2.3.3 Normas de referencia

NEC 11 cap. 5 Norma Ecuatoriana de la Construcción

ASME V Art. 9 y art 28 (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 (Sociedad Americana de Soldadura).

ASTM E165-02 (Sociedad Americana de Ensayos de Materiales).

4.2.3.4 Personal

El personal deberá contar con una certificación ASNT-TC-1A Nivel II-PT basados en la normativa ASNT (Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos).

Nivel II-PT o III-PT, según la norma INEN ISO 9712-2009:03

4.2.3.5 Equipos y materiales

Antes de iniciar con el proceso de inspección se deberá remover mediante cepillo manual o mecánico, toda la escoria o pintura expuesta sobre la superficie del cordón. El equipo para la inspección por este método cuenta fundamentalmente por 3 líquidos: solvente, penetrante y revelador. Además se empleará herramientas de taller para la limpieza de la soldadura previa a la aplicación de los líquidos.

4.2.3.6 Procedimiento

- Limpieza de la superficie de soldadura con solvente en aerosol a fin de remover las impurezas como: grasa, humo, polvo acumulado, etc.



Figura 4-5: Aplicación de removedor en obra

Fuente: Autor

- Una vez limpia la superficie del cordón se procede aplicar el penetrante en aerosol a lo largo del cordón; mantener el penetrante aplicado durante un lapso de 5 a 10min según las características técnicas indicadas por el fabricante.



Figura 4-6: Aplicación de penetrante en obra

Fuente: Autor

- Luego de haber transcurrido el tiempo de penetración se limpiará el exceso de penetrante con un paño húmedo cubierto de solvente a lo largo de la superficie del cordón procurando no remover el penetrante incrustado en las posibles discontinuidades como poros, mordeduras, concavidades, etc.
- Posteriormente se aplicará el revelador sobre el cordón a una distancia de 25 a 30cm cuidando que esta cubra en su totalidad la superficie de la soldadura en cuestión.



Figura 4-7: Aplicación de revelador en obra

Fuente: Autor

- Luego de aplicar el revelador deberá transcurrir un tiempo de 3 a 5min para proceder a detectar las discontinuidades o defectos presentes.

- Una vez determinadas las discontinuidades o defectos en la superficie de la soldadura se marcará las zonas y longitudes de los cordones defectuosos, mediante símbolos de acuerdo a la nomenclatura empleada por el inspector.
- Por último se evaluará y calificará la soldadura inspeccionada de acuerdo los criterios de la tabla de la norma AWS 2010 basados en la metodología de la norma ASTM E165-02, aceptando o rechazando el cordón de soldadura.



Figura 4-8: Soldadura aprobada por tintas penetrantes en obra

Fuente: Autor

4.2.3.7 Normas de aceptación y rechazo

AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 (Sociedad Americana de Soldadura)

ASTM E165-02 (Sociedad Americana de Ensayos de Materiales)

4.2.3.8 Informe

Este contiene la información de las discontinuidades detectadas, su evaluación y calificación respectivamente en un formato de presentación; el mismo estará compuesto fundamentalmente por nombre del inspector o empresa, nombre del cliente, tipos y marca de herramientas y equipo empleado, ubicación en planos estructurales, imágenes fotográficas de las discontinuidades o defectos encontrados en la soldadura, entre otras. La hoja tendrá el siguiente formato:

Tabla 4-4: Tintas penetrantes de los END

[1] Nombre de la Obra:		[3] INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (Nombre De La Obra)			[4] Fecha de Inspección:				
[2] Nombre de la Empresa o Inspector: UNIVERSIDAD DEL AZUAY						[5] Reporte N°:			
TINTAS PENETRANTES									
[6] PARÁMETROS DE TINTAS PENETRANTES									
PROCESO EMPLEADO									
LIMPIADOR/REMOVEDOR									
PENETRANTE									
REVELADOR									
OBSERVACIÓN/ILUMINACIÓN									
TIEMPO DE PENETRACIÓN									
MÉTODO DE REMOCIÓN O LAVADO									
TIEMPO DE REVELADO									
LIMPIEZA FINAL									
TEMPERATURA									
ILUMINANCIA									
[7] NOMENCLATURA									
VT	INSPECCIÓN VISUAL		COL-VP	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA CARGADORA PRINCIPAL					
PT	TINTAS PENETRANTES		COL-VS	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA SECUNDARIA					
UT	ULTRASONIDO		SUP	PATIN SUPERIOR					
R	RECHAZADO		INF	PATIN INFERIOR					
OK	APROBADO		AL	ALMA DE VIGA					
COL-COL	EMPATE SOLDADO COLUMNA-COLUMNA								
[8] UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA									
[9] ESTADO DE CONEXIÓN									
EJE	COL-COL		COL-VP			COL-VS			OBSERVACIONES
	A	B	SUP	INF	ALMA	SUP	INF	ALMA	

Fuente: Autor

El contenido de este formato está compuesto por:

1. Nombre de la construcción
2. Nombre de la empresa o el inspector a cargo de la inspección, para el ejemplo se ha colocado Universidad del Azuay, por motivo de tesis.
3. Comprende el título principal del formato junto con el nombre de la construcción.
4. Fecha de inicio y final de la inspección, ejemplo: 9 a 12 de febrero del 2015.
5. El número de reporte, este se entregará cada inspección y depende del tamaño y magnitud de la construcción.
6. Básicamente es una descripción técnica de los materiales empleados.
7. Nomenclatura empleada por el profesional inspector para abreviar los términos de inspección.
8. Ubicación de la soldadura, utilizando los ejes de los planos estructurales.
9. En esta tabla se indicarán los resultados obtenidos de la inspección por este método una vez evaluados y calificados los resultados.

4.2.4 Ultrasonido industrial

4.2.4.1 Alcance

El uso de este método nos permitirá detectar discontinuidades presentes en la estructura interna, superficial o subsuperficial de la soldadura aplicables al código AWS D 1.1 /D1.1 M 2010, mediante una herramienta electrónica capaz de convertir ondas acústicas en energía mecánica.

4.2.4.2 Objetivos

Detectar evaluar y calificar las discontinuidades presentes en la estructura interna, superficial o subsuperficial de la soldadura mediante los criterios de aceptación o rechazo establecidos en el código AWS D 1.1 /D1.1 M 2010.

4.2.4.3 Normas de referencia

NEC 11 cap. 5 Norma Ecuatoriana de la Construcción

ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)

AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 (Sociedad Americana de Soldadura)

4.2.4.4 Personal

El personal deberá contar con una certificación ASNT-TC-1A Nivel II-UT, basados en la normativa ASNT (Sociedad Americana para los Ensayos No Destructivos).

Nivel I: Individuo certificado para calibrar el equipo y ejecutar el proceso de toma de datos durante la inspección, recibiendo instrucciones de un inspector Nivel II o nivel III.

Nivel II: Individuo certificado para calibrar el equipo, ejecutar el proceso de toma de datos y también para evaluar e interpretar resultados de acuerdo a las normas aplicables, recibiendo instrucciones de un inspector Nivel III.

Nivel III: Individuo certificado para cumplir con todas las tareas asignadas al Nivel I o II, además deberá contar con la suficiente experiencia y conocimiento para calificar una soldadura luego de evaluar los datos obtenidos, establecer y designar procedimientos, métodos y técnicas que servirán para efectuar las operaciones de inspección.

4.2.4.5 Equipos y materiales

- Sistema de transmisión
- Cables, coaxial y dual
- Transductores (palpadores)
- Acoplante
- Bloque de calibración
- Documentos como: planos estructurales y código de aceptación o rechazo

4.2.4.6 Procedimiento

Para desarrollar el procedimiento de inspección en edificaciones construidas con acero estructura, se llevará a cabo su sucesión de pasos como los siguientes:

- Definir el equipo de inspección a emplear, el mismo que deberá con los parámetros mínimos establecidos en los códigos correspondientes.



Figura 4-9: Ultrasonido en Olympus Serie EPOCH 1000 en obra

Fuente: Autor

- Calibración del equipo, de acuerdo al procedimiento indicado en el acápite 6.29 de la norma AWS 2010.



Figura 4-10: Bloque de calibración según AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 en obra

Fuente: Autor

- Identificar las conexiones de los miembros estructurales a inspeccionar con la ayuda de los planos estructurales; determinando las zonas más importantes de

la estructura o también conocidas como “zona crítica” como: conexión-viga columna o placa-columna.

- Con la ayuda de herramientas de taller como: amoladora, cepillos de acero y franelas, se deberá remover las impurezas adheridas a la superficie del metal base a inspeccionar, ya sean estas pintura, grasa, polvo; a fin de garantizar el desplazamiento uniforme del palpador del equipo sobre la superficie.



Figura 4-11: Remoción de impurezas adheridas a junta soldada en obra

Fuente: Autor

- Una vez preparada la superficie del metal base se colocará el líquido acoplante.
- Se realiza el barrido del palpador (transductor) de acuerdo a los patrones de escaneo indicados en la norma AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 punto 6.32 gráfico 6.21, ejecutando los movimientos A, B, C, de la tabla siguiente:

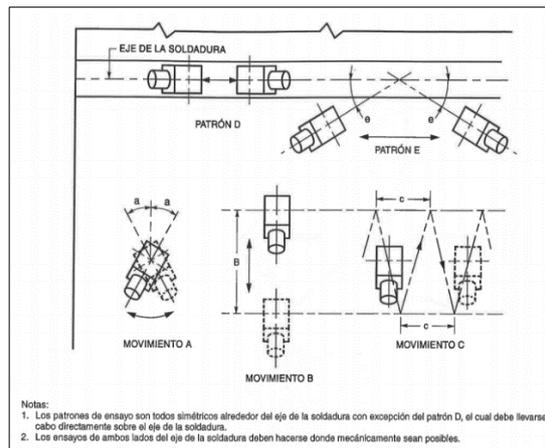


Figura 4-12: Tipos de barrido de palpador

Fuente: AWS D 1.1 /D1.1 M: 2010

- En el caso de determinarse una discontinuidad se marcará sobre el metal base las características de la misma como tipo de discontinuidad posible, longitud, profundidad, empleando la nomenclatura correspondiente.

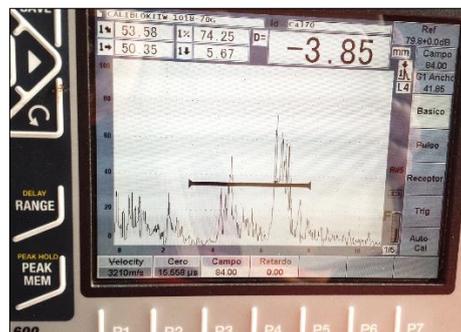


Figura 4-13: Ejemplo de falta de penetración en la junta soldada en obra

Fuente: Autor

- Se registrarán las discontinuidades encontradas en el formato de recepción de datos.
- El inspector evaluará y calificará la soldadura de acuerdo a los criterios de aceptación de la tabla 6.3 de la norma AWS 2010, aceptándola o rechazándola.

Criterio UT de Aceptación-Rechazo (Conexiones No-Tubulares Cíclicamente Cargadas) (ver 6.13.2 y C-6.26.6)											
Clase de Severidad de Discontinuidad	Tamaño de Soldadura en pulg. [mm] y Ángulo de Unidad de Búsqueda										
	5/16 hasta 3/4 [8-20]	> 3/4 hasta 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 hasta 4 [65-100]			> 4 hasta 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+10 & menor	+8 & menor	+4 & menor	+7 & menor	+9 & menor	+1 & menor	+4 & menor	+6 & menor	-2 & menor	+1 & menor	+3 & menor
Clase B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5
Clase C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7
Clase D	+13 & mayor	+11 & mayor	+9 & mayor	+12 & mayor	+14 & mayor	+6 & mayor	+9 & mayor	+11 & mayor	+3 & mayor	+6 & mayor	+8 & mayor

El espesor de la soldadura debe definirse como el espesor nominal del elemento estructural de menor espesor a ser unido.

Notas:

- Las discontinuidades de Clase B deben estar separadas al menos por 2L, siendo L la longitud de la mayor discontinuidad, excepto cuando dos o más de tales discontinuidades no están separadas por al menos 2L, pero la longitud combinado de las discontinuidades y su separación es igual o menor que la longitud máxima permisible bajo las disposiciones de las Clases B o C, la discontinuidad debe considerarse como una única discontinuidad aceptable.
- Las discontinuidades de Clase B y C no deben comenzar a una distancia menor que 2L desde los finales de soldaduras que soportan esfuerzos de tracción principales, siendo L el largo de la discontinuidad.
- Las discontinuidades detectadas en el área de la cara de la raíz en una soldadura con CJP con bisel doble, debe ser evaluada usando una clasificación de la indicación 4 dB mas sensible, que el descrito en 6.26.6.5 cuando tales soldaduras son indicadas como "soldadura bajo tracción" en los planos (restar 4 dB para el nivel de referencia "b").
- Para indicaciones que se mantienen en el monitor cuando la unidad de exploración se mueve, referirse a 6.13.2.1.

Figura 4-14: Criterio de aceptación y rechazo por ultrasonido

Fuente: AWS D 1.1 /D1.1 M 2010

- Finalmente una vez ejecutado el ensayo por este método, se removerá el acoplante colocado sobre la superficie del metal base para evitar una posible corrosión del material.

4.2.4.7 Normas de aceptación y rechazo

Principalmente se empleará los criterios de aceptación y rechazo de la tabla 6.3 de la norma AWS D 1.1 /D1.1 M 2010.

4.2.4.8 Informe

Este contiene la información de las discontinuidades detectadas, su evaluación y calificación respectivamente en un formato de presentación; el mismo estará compuesto fundamentalmente por nombre del inspector o empresa, nombre del cliente, tipos y marca de herramientas y características del equipo empleado, ubicación en planos estructurales, imágenes fotográficas de las discontinuidades o defectos encontrados en la soldadura, entre otras. La hoja tendrá el siguiente formato:

Tabla 4-5: Ultrasonido industrial

[1] Nombre de la Obra:		[3] INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (Nombre De La Obra)		[4] Fecha de Inspección:	
[2] Nombre de la Empresa o Inspector: UNIVERSIDAD DEL AZUAY				[5] Reporte N°:	
3.- ULTRASONIDO					
[6] ESPECIFICACIONES DE EQUIPO DE ULTRASONIDO					
EQUIPO PALPADOR ANGULO			MODELO FRECUENCIA DIMENSIONES		
[7] PARÁMETROS DE ULTRASONIDO					
TIPO DE INSPECCIÓN CONDICIÓN SUPERFICIAL ACOPLANTE TÉCNICA DE CALIBRACIÓN BLOQUE DE CALIBRACIÓN			NIVEL DE EVALUACIÓN AJUSTE DE SENSIBILIDAD DISTANCIA DE BARRIDO CÓDIGO APLICABLE		
[8] NOMENCLATURA					
VT	INSPECCIÓN VISUAL	COL-VP	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA CARGADORA PRINCIPAL		
PT	TINTAS PENETRANTES	COL-VS	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA SECUNDARIA		
UT	ULTRASONIDO	SUP	PATIN SUPERIOR		
R	RECHAZADO	INF	PATIN INFERIOR		
OK	APROBADO	AL	ALMA DE VIGA		
COL-COL	EMPATE SOLDADO COLUMA- COLUMNA				
[9] UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA					
[10] ESTADO DE CONEXIÓN					
EJE	COL-COL				OBSERVACIONES
	A	B	C	D	

Fuente: Autor

El contenido de este formato está compuesto por:

1. Nombre de la construcción
2. Nombre de la empresa o el inspector a cargo de la inspección, para el ejemplo se ha colocado Universidad del Azuay, por motivo de tesis.
3. Comprende el título principal del formato, junto con el nombre de la construcción.
4. Fecha de inicio y final de la inspección, ejemplo: 9 a 12 de febrero del 2015.
5. Tipo de soldadura en la junta, ya sea esta de filete o a tope con ranura; estas son las más empleadas en conexiones de miembros estructurales.
6. Especificaciones técnicas el equipo de ultrasonido.
7. Básicamente es una descripción técnica de los materiales, accesorios e implementos que forman parte del equipo de ultrasonido. Tipo de ajuste y calibración del mismo.
8. Nomenclatura empleada por el profesional inspector para abreviar los términos de inspección.
9. Ubicación de la soldadura, utilizando los ejes de los planos estructurales.
10. En esta tabla se indicarán los resultados obtenidos de la inspección por este método una vez evaluados y calificados los resultados.

4.3 Aplicación

En esta etapa del proceso se completan las tablas indicadas en el procedimiento, cada una de ellas compuestas con datos reales, obtenidos en obra durante la inspección realizada.

Tabla 4-6: Datos general de inspección realizada

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
DATOS GENERALES			
Cliente:	Arq. Egidio Tosi Moreno	Empresa:	CONSTRUCTORA TOSI MORENO
Especificaciones:	AWSD1.1-2010 Moisés	Localización:	Av. Gonzáles Suarez-Cuenca
Inspeccionado por:	Ramón	Descripción:	Inspección de Conexiones Soldadas
Aprobado por:			
ANTECEDENTES			
<p>En la ciudad de Cuenca actualmente se construye el edificio Torre Piamonte a cargo de la Constructora Tosi Moreno, destinado a departamentos y locales comerciales. Esta edificación cuenta con una estructura conformada por acero A36 en todas sus plantas, empleando soldadura de en las conexiones de miembros estructurales. Debido al alcance de la construcción que tiene la obra no se pudo realizar los END antes, durante y después en las conexiones soldadas, según la AWSD1.1-2010, que debería de ser del 100% visual (VT), 20% tintas penetrantes (PT) y 25% de ultrasonido (UT) en juntas a tracción. Los métodos de END empleados son: inspección visual, tintas penetrantes, ultrasonido.</p>			
DETALLES GENERALES DE LOS END			
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	
1	MUESTREO	INSPECCIÓN VISUAL EN TODOS LOS NIVELES	
1	MUESTREO	TINTAS PENETRANTES EN TODOS LOS NIVELES	
1	MUESTREO	ULTRASONIDO EN JUNTAS A MOMENTO Y CORTANTE, COLUMNA-PLACA DE ANCLAJE, VIGA PRINCIPAL-COLUMNA, VIGA CARGADORA-COLUMNA.	
ITEM	ENSAYO NO DESTRUCTIVO	CÓDIGO DE EJECUCIÓN	ESP. ADICIONAL
1	INSPECCIÓN VISUAL	AWSD1.1	
2	ULTRASONIDO	AWSD1.1	CARGAS CÍCLICAS
3	TINTAS PENETRANTES	ASTM E165 / ASTM E1417 / AWSD1.1	CARGAS CÍCLICAS
INFORMACIÓN ADICIONAL			
Fecha de inicio:	9 de enero 2015		
Fecha de culminación:	12 de enero del 2015		
Inspectores requeridos:	1		
Ayudante de inspector:	1		

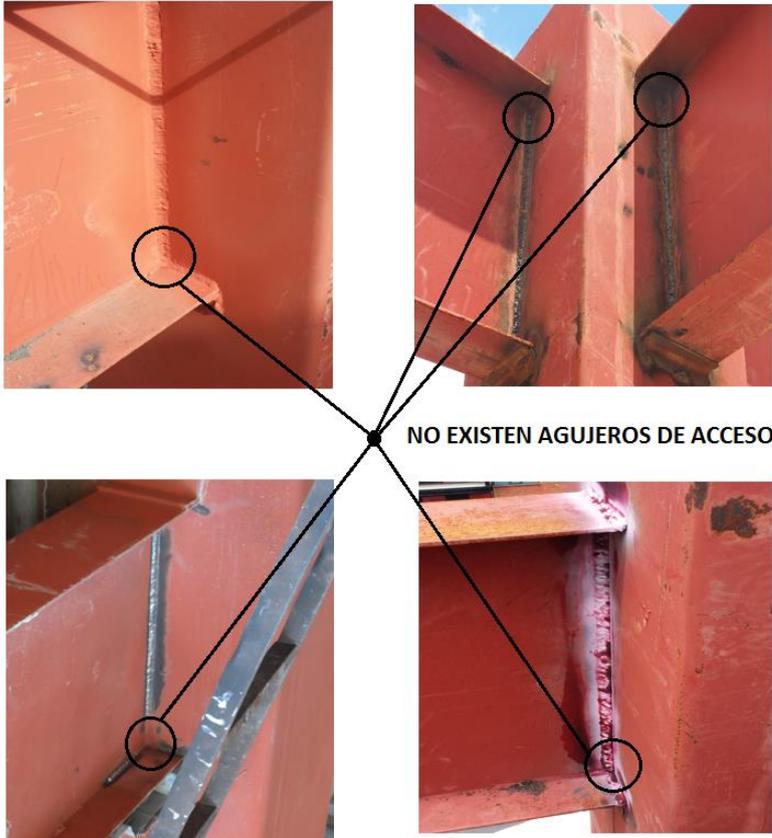
Fuente: Autor

Tabla 4-7: Especificaciones y condiciones generales de inspección realizada

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
[10] ESPECIFICACIONES Y CONDICIONES GENERALES DE INSPECCIÓN			
<p>Debido al alcance de la construcción cuando se inició con la inspección de soldadura mediante END, no se pudo realizar la inspección correspondiente de la construcción de los miembros estructurales en taller. Esta se basa fundamentalmente en la inspección de las conexiones soldadas en juntas críticas, aquellas propensas en caso de un evento sísmico, entre las más importantes:</p> <p>Conexión Placa de Anclaje-Columna: Se realizó un muestreo, adjunto en el informe.</p> <p>Conexión Columna-Columna: Se realizó un muestreo, adjunto en el informe.</p> <p>Conexión Viga-Columna: Las juntas viga-columna, no fueron aprobadas, debido a que los patines superiores e inferiores de cada viga tomada en el muestreo, tienen rellenos de varilla corrugada, la misma que cuenta con características mecánicas distintas a las del acero A36. El código AWS D1.1 recomienda para este tipo de conexión, junta CJP.</p>			
<p>NOTA: Es muy importante señalar, que no se ha escogido las juntas soldadas con mayor falla, sino se realizó de manera aleatoria la selección de ejes en los planos estructurales, para proceder con la inspección en la obra.</p>			

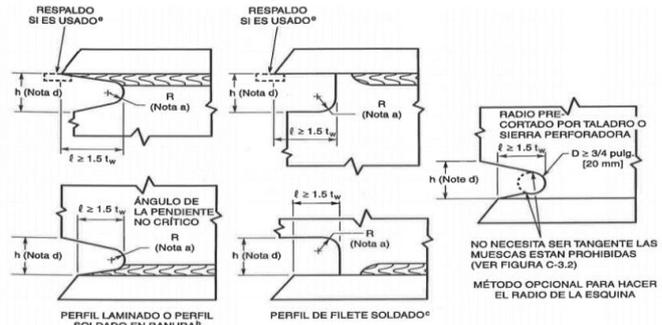
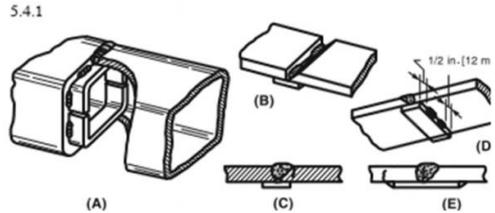
Fuente: Autor

Tabla 4-8: Inspección visual: conexión sin agujeros de acceso

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
1.- INSPECCIÓN VISUAL			
CALIBRES PARA INSPECCIÓN VISUAL			
Además de las herramientas básicas necesarias para remoción de impurezas, toma de medidas, lupas, linternas; se emplearon calibres para verificación de dimensiones de los cordones de soldadura, como:			
Calibre Para Filetes		Gouge Fillets	
Calibre De Mordeduras, Sobremontas, Ángulos		Calibre Universal	
OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS			
1.1 OBSERVACIÓN RESPECTO A AGUJEROS DE ACCESO			
En las imágenes a continuación se observa que no existen agujeros de acceso en la junta viga-columna de la estructura, las cuales debería ser construidas según el código AWS D1.1-2010.			
 <p style="text-align: center;">NO EXISTEN AGUJEROS DE ACCESO</p>			

Fuente: Autor

Tabla 4-9: Inspección visual: detalle de agujeros de acceso y placas de continuidad

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
1.- INSPECCIÓN VISUAL			
OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS			
<p>1.2 CONSTRUCCIÓN DE AGUJEROS DE ACCESO SEGÚN AWS D 1.1 /D1.1 M 2010</p> <p>AWS D 1.1 /D1.1 M 2010 indica que los agujeros de acceso deben ser construidos en la junta viga-columna. Estos agujeros permiten que se desuelde todo el patín como CJP. A continuación se adjunta detalles de las dimensiones de los agujeros de acceso establecidos en el código. Además se observa la placa de respaldo que se debe colocar en lugar de carilla corrugada, en caso de que falte longitud en la viga.</p>			
<p>5.17.1 Dimensiones del Agujero de Acceso a la Soldadura. Todos los agujeros de acceso a la soldadura deben tener una longitud desde el borde de la preparación de la junta de soldadura a la superficie interna no menor 1-1/2 veces el espesor del material en el cual el agujero está hecho. La altura mínima del agujero de acceso debe ser el espesor del material con el agujero de acceso (t_w) pero no menor a 3/4 pulg. [19 mm] ni tampoco debe exceder 2 pulg. [50 mm]. El agujero de acceso deberá ser detallado para proporcionar espacio para el respaldo de soldadura como sea necesitado y también para proporcionar acceso adecuado a la soldadura.</p>			
			
<p><small>*El radio deberá proporcionar una transición lisa libre de muescas; R ≥ 3/8 pulg. [10 mm] (Típico 1/2 pulg. [12 mm]). *El agujero de acceso hecho después de soldar el alma al ala. *El agujero de acceso hecho después de soldar el alma al ala. La soldadura de alma a ala no deberá ser retornada a través del agujero. *h_{min} = 3/4 pulg. [20 mm] o t_w (espesor del alma), cualquiera que sea mayor. h_{max} no debe exceder de 2 pulg. [50 mm]. *Estos son detalles comunes para uniones soldadas desde un solo lado contra el refuerzo de acero. Diseños de juntas alternas deberán ser consideradas. Nota: Para perfiles laminados con espesores de patín mayores a 2 pulg. [50 mm] y perfiles formados con el espesor del material del alma mayores de 1-1/2 pulg. [40 mm], precalentar a 150°F [65°C] antes del corte térmico, examinar e inspeccionar los bordes de los cortes hechos térmicamente del agujero de acceso utilizando los métodos MT o PT antes de hacer los empates de soldaduras de canal del alma y patín.</small></p>			
OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS			
<p>1.3 OBSERVACIÓN RESPECTO A LAS PLACAS DE CONTINUIDAD</p> <p>Para realizar el empalme entre una columna con otra es necesario conectar mediante placas de continuidad, alineados con los patines de las vigas, a fin de que se puedan transmitir correctamente los momentos y esfuerzos que se presenten.</p>			
<p>Las columnas revisadas mediante Inspección Visual, no cuentan con ningún sistema de conexión, están simplemente apoyadas una sobre la otra, mediante cordón continuo de soldadura.</p>		 <p style="text-align: center;">NO EXISTEN ELEMENTOS DE CONTINUIDAD</p>	
<p>Detalle constructivo de empalme columna-columna, mediante el uso de placas de respaldo, según la norma AWS D 1.1 /D1.1 M 2010; ayudan a dar continuidad al miembro estructural.</p>			

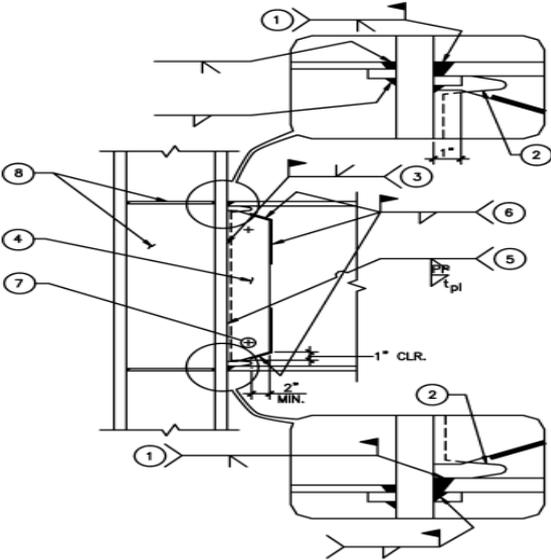
Fuente: Autor

Tabla 4-10: Inspección visual: Soldadura rechazada y dimensiones de filete

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015																									
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01																									
1.- INSPECCIÓN VISUAL																												
OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS																												
1.4 ANGULO EN LA PARTE INFERIOR DE VIGAS PRINCIPALES																												
<p>Los ángulos colocados en la parte inferior del patín, en la junta viga-columna, presentan soldadura intermitente en su contorno y no tienen homogeneidad en la estructura, además se encuentran incorrectamente soldados, como se indica en las imágenes. Constructivamente los ángulos sirven de soporte para el montaje de elementos estructurales, como vigas; sin embargo los códigos AISC y FEMA indican que estos no deben ser colocados porque incrementan la rigidez de la junta y en el caso de un sismo es el punto de mayor falla. Como se observa en las imágenes de las juntas tomadas aleatoriamente, no existe homogeneidad en la soldadura de los ángulos, además de su mala calidad.</p>																												
																												
		 <p style="text-align: center;">EJEMPLO DE SOLDADURA RECHAZADA VISUALMENTE</p>																										
		 <p style="text-align: center;">SOLDADURA DE FILETE INTERMITENTE EN VIGAS</p>																										
OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS																												
1.5 TAMAÑO DE FILETE EN VIGAS PRINCIPALES																												
<p>El tamaño mínimo de la pierna de filete para condiciones cíclicas, en vigas que forman el marco rígido debe ser de 5mm, según el código AWS D1.1/D1.1 M 2010; la pierna con la que están unidos el alma y patín en algunos casos es de 3mm con electrodos E6011. Se recomienda electrodos E7011; por tanto los cordones inspeccionados no aprueban por Inspección visual</p>																												
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <caption style="text-align: center;">Tabla 5.8 Tamaños de la Soldadura de Filete Mínimos (ver 5.14)</caption> <thead> <tr> <th colspan="2">Espesor del Metal Base (T)^a</th> <th colspan="2">Tamaño Mínimo de la Soldadura de Filete^b</th> </tr> <tr> <th>pulg.</th> <th>mm</th> <th>pulg.</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T ≤ 1/4</td> <td>T ≤ 6</td> <td>1/8 (Nota c)</td> <td>3 (Nota c)</td> </tr> <tr> <td>1/4 < T ≤ 1/2</td> <td>6 < T ≤ 12</td> <td>3/16</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>1/2 < T ≤ 3/4</td> <td>12 < T ≤ 20</td> <td>1/4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>3/4 < T</td> <td>20 < T</td> <td>5/16</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>^a Para los procesos considerados como no bajo-hidrógeno sin precalentamiento calculado de acuerdo con 4.8.4, T es igual al espesor de la pieza más gruesa unida, se deben de utilizar soldaduras de paso sencillo. Para los procesos considerados como no bajo-hidrógeno utilizando procedimientos establecidos para evitar el agrietamiento de acuerdo con 4.8.4 y para los procesos de bajo-hidrógeno, T es igual al espesor de la pieza más delgada unida, el requerimiento del paso sencillo no aplica. ^b Excepto que el tamaño de la soldadura no necesita exceder el espesor de la pieza más delgada unida.</small></p> <p style="border: 1px solid red; padding: 2px;"><small>^c El tamaño mínimo para estructuras cargadas cíclicamente deberá ser de 3/16 pulg. (5 mm).</small></p>			Espesor del Metal Base (T) ^a		Tamaño Mínimo de la Soldadura de Filete ^b		pulg.	mm	pulg.	mm	T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (Nota c)	3 (Nota c)	1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5	1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6	3/4 < T	20 < T	5/16	8
Espesor del Metal Base (T) ^a		Tamaño Mínimo de la Soldadura de Filete ^b																										
pulg.	mm	pulg.	mm																									
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 (Nota c)	3 (Nota c)																									
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5																									
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6																									
3/4 < T	20 < T	5/16	8																									

Fuente: Autor

Tabla 4-11: Inspección visual: Ejemplo de conexión precalificada viga-columna

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
1.- INSPECCIÓN VISUAL			
OBSERVACIONES CONSTRUCTIVAS			
<p>1.6 EJEMPLO DE CONEXIÓN PRECALIFICADA VIGA-COLUMNA</p> <p>En la siguiente imagen se indica una conexión precalificada, recomendada por FEMA (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Es un ejemplo de cómo se debería construir correctamente una conexión viga-columna, con soldadura, según FEMA 350-2000.</p> <p>1 Patín superior e inferior soldado con penetración completa, con placa de respaldo. 2 Agujeros de acceso en el alma. 3-7 Indican soldaduras en el alma, estas serán de filete por los dos lados. 8 Placas de continuidad.</p>			

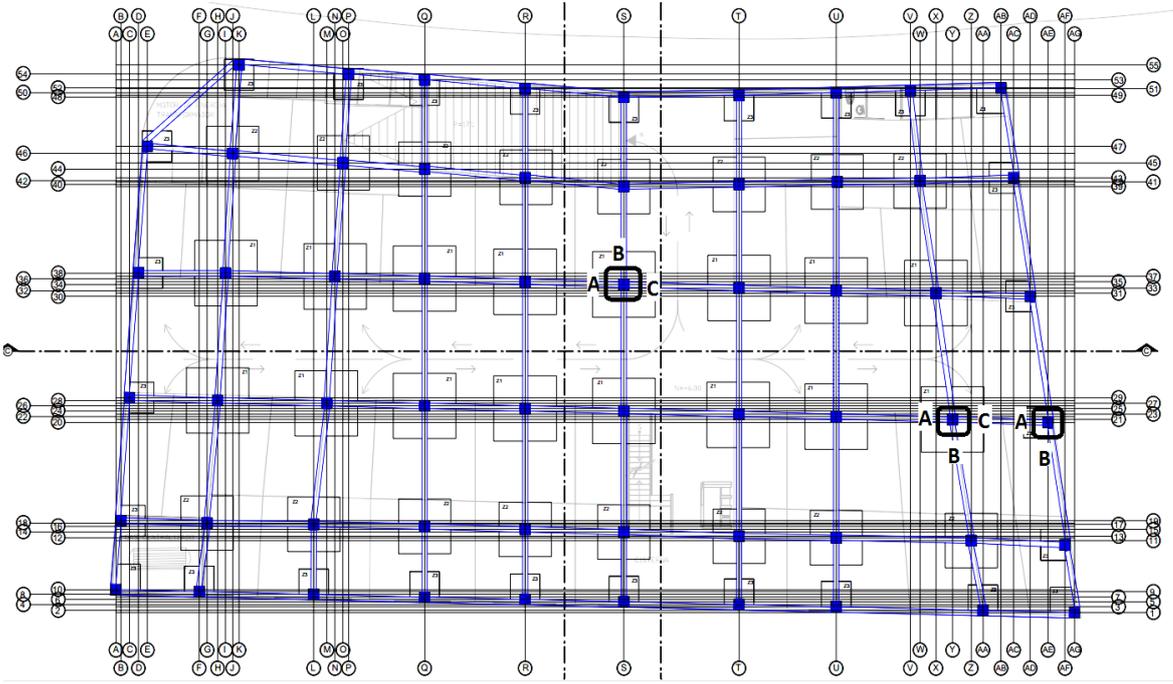
Fuente: Autor

Tabla 4-12: Parámetros tintas penetrantes

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
2.- TINTAS PENETRANTES			
PARÁMETROS DE TINTAS PENETRANTES			
PROCESO EMPLEADO			
LIMPIADOR/REMOVEDOR	SKC- S SPOTCHECK MAGNAFLUX		
PENETRANTE	SKL-SP SPOTCHECK MAGNAFLUX		
REVELADOR	SKL-S2 SPOTCHECK MAGNAFLUX		
OBSERVACIÓN/ILUMINACIÓN	LUZ NATURAL		
TIEMPO DE PENETRACIÓN	10min		
MÉTODO DE REMOCIÓN O LAVADO	CON SOLVENTES		
TIEMPO DE REVELADO	10min		
LIMPIEZA FINAL	Toallas de papel		
TEMPERATURA	24°C		
ILUMINANCIA	Mayor a 1000 lux		
NOMENCLATURA			
VT	INSPECCIÓN VISUAL	COL-VP	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA CARGADORA PRINCIPAL
PT	TINTAS PENETRANTES	COL-VS	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA SECUNDARIA
UT	ULTRASONIDO	SUP	PATIN SUPERIOR
R	RECHAZADO	INF	PATIN INFERIOR
OK	APROBADO	AL	ALMA DE VIGA
COL-COL	EMPATE SOLDADO COLUMNA- COLUMNA		

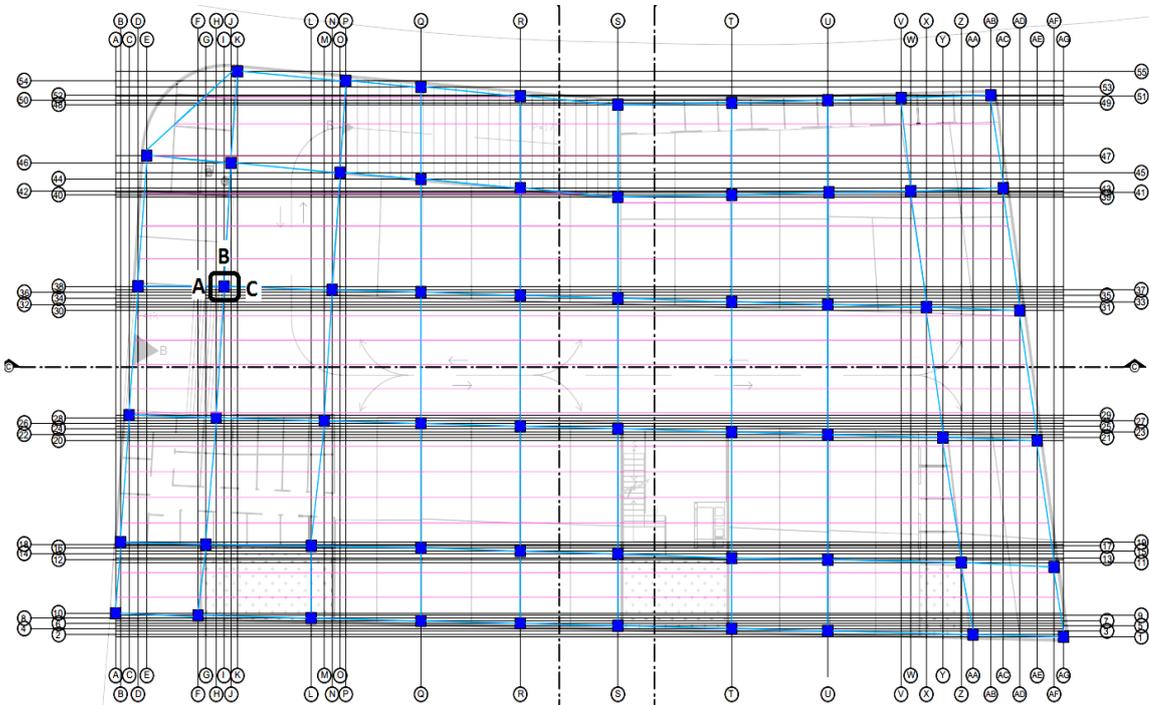
Fuente: Autor

Tabla 4-13: Inspección de subsuelo 1

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01	
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA					
INSPECCIÓN SUBSUELO 1 CONEXIÓN VIGA-COLUMNA					
					
ESTADO DE CONEXIÓN					
EJE	COL-VS			OBSERVACIONES	
	SUP	INF	AL		
AE-20 (A)	PT-R VT-R				
Y-21 (A)	PT-R VT-R	PT-R VT-R	PT-OK VT-OK		
S-34 (C)	VT-R	PT-R VT-R	PT-R VT-OK	CARA C; Falta soldar el Patín superior y presenta mordeduras en el alma	

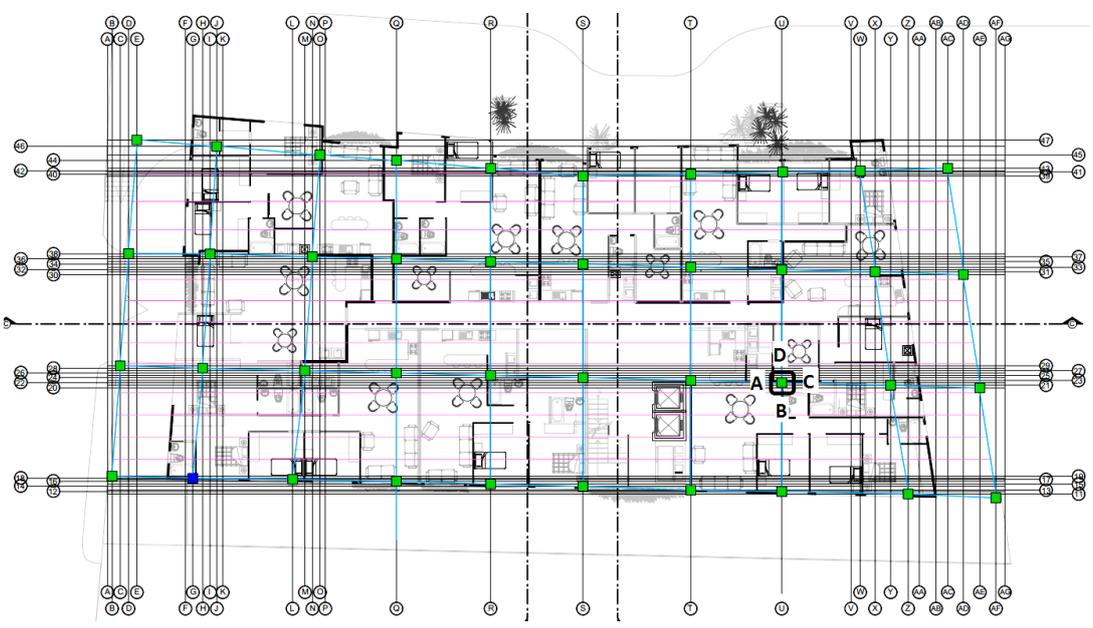
Fuente: Autor

Tabla 4-14: Inspección de Planta Baja

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA				
<p>INSPECCIÓN PLANTA BAJA CONEXIÓN VIGA-COLUMNA</p> 				
ESTADO DE CONEXIÓN				
EJE	COL-VS			OBSERVACIONES
	SUP	INF	AL	
I-38 (C)	VT-R	PT-R VT-R	PT-OK VT-OK	

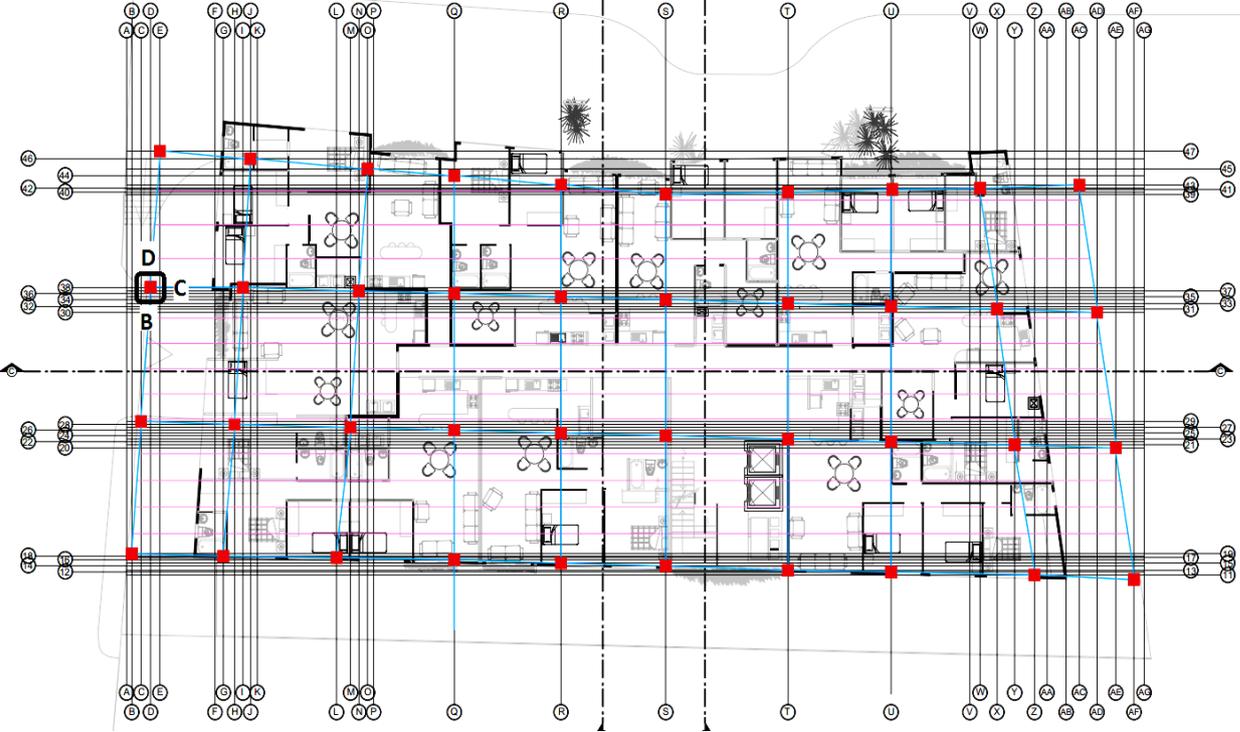
Fuente: Autor

Tabla 4-15: Inspección de segunda planta

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01			
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA							
<p>INSPECCIÓN SEGUNDA PLANTA CONEXIÓN VIGA-COLUMNA</p> 							
ESTADO DE CONEXIÓN							
EJE	COL-VP			COL-VS			OBSERVACIONES
	SUP	INF	AL	SUP	INF	AL	
U-22 (A)				VT-R	PT-R VT-R	PT-OK VT-OK	Con varilla
U-22 (B)	VT-R	PT-R VT-R	PT-OK VT-OK				

Fuente: Autor

Tabla 4-16: Inspección de tercera planta

TORRE PIMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA				
<p>INSPECCIÓN TERCERA PLANTA CONEXIÓN VIGA-COLUMNA</p> 				
ESTADO DE CONEXIÓN				
EJE	COL-VP			OBSERVACIONES
	SUP	INF	AL	
D-38 (B)	VT-R	PT-R VT-R	PT-R VT-R	MORDEDURA > 3mm en patín inferior

Fuente: Autor

Tabla 4-17: Inspección de quinta planta

TORRE PIMONTE			INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE			Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY						Reporte N° PIAMONTE-01	
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA							
<p>INSPECCIÓN QUINTA PLANTA CONEXIÓN VIGA-COLUMNA</p>							
ESTADO DE CONEXIÓN							
EJE	COL-VP			COL-VS			OBSERVACIONES
	SUP	INF	AL	SUP	INF	AL	
U-41 (B)	PT-R VT-R	PT-R VT-R	PT-R VT-OK				
U-41 (C)				PT-R VT-R	PT-R VT-R	PT-R VT-OK	MORDEDURAS

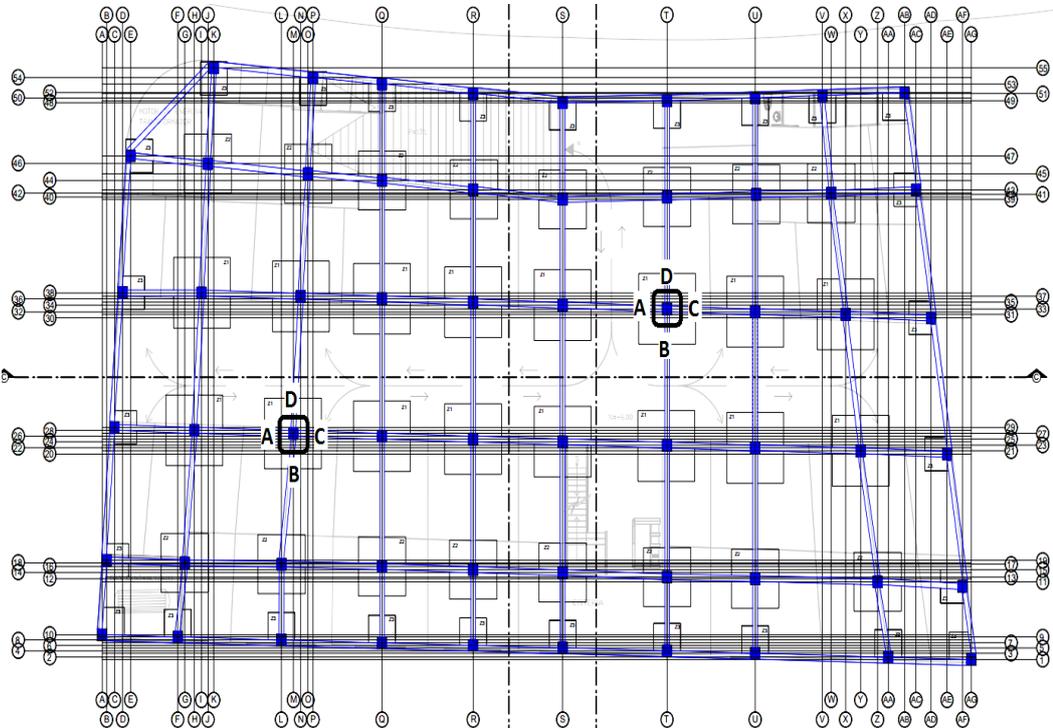
Fuente: Autor

Tabla 4-18: Especificaciones de equipo de ultrasonido

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01	
3.- ULTRASONIDO					
ESPECIFICACIONES DE EQUIPO DE ULTRASONIDO					
EQUIPO	OLYMPUS Shear Wave	MODELO	EPOCH	600-	
PALPADOR	Panametrics ABWS-8	FRECUENCIA	SOFTWARE AWS D1.1	5 Mhz	
ANGULO	70°	DIMENSIONES	0.2"*0.2"		
[5] PARÁMETROS DE ULTRASONIDO					
TIPO DE INSPECCIÓN	Pulso-eco	NIVEL DE EVALUACIÓN	>5dB		
CONDICIÓN SUPERFICIAL	Lisa sin pintura	AJUSTE DE SENSIBILIDAD	1.50		
ACOPLANTE	Ultragel	DISTANCIA DE BARRIDO	27-42mm		
TÉCNICA DE CALIBRACIÓN	Distancia-Sensibilidad	CÓDIGO APLICABLE	AWS D1.1		
BLOQUE DE CALIBRACIÓN	IIW-Tipo 1 - 1018				
[8] NOMENCLATURA					
VT	INSPECCIÓN VISUAL	COL-VP	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA CARGADORA PRINCIPAL		
PT	TINTAS PENETRANTES	COL-VS	EMPATE SOLDADO COLUMNA-VIGA SECUNDARIA		
UT	ULTRASONIDO	SUP	PATIN SUPERIOR		
R	RECHAZADO	INF	PATIN INFERIOR		
OK	APROBADO	AL	ALMA DE VIGA		
COL-COL	EMPATE SOLDADO COLUMNA-COLUMNA				

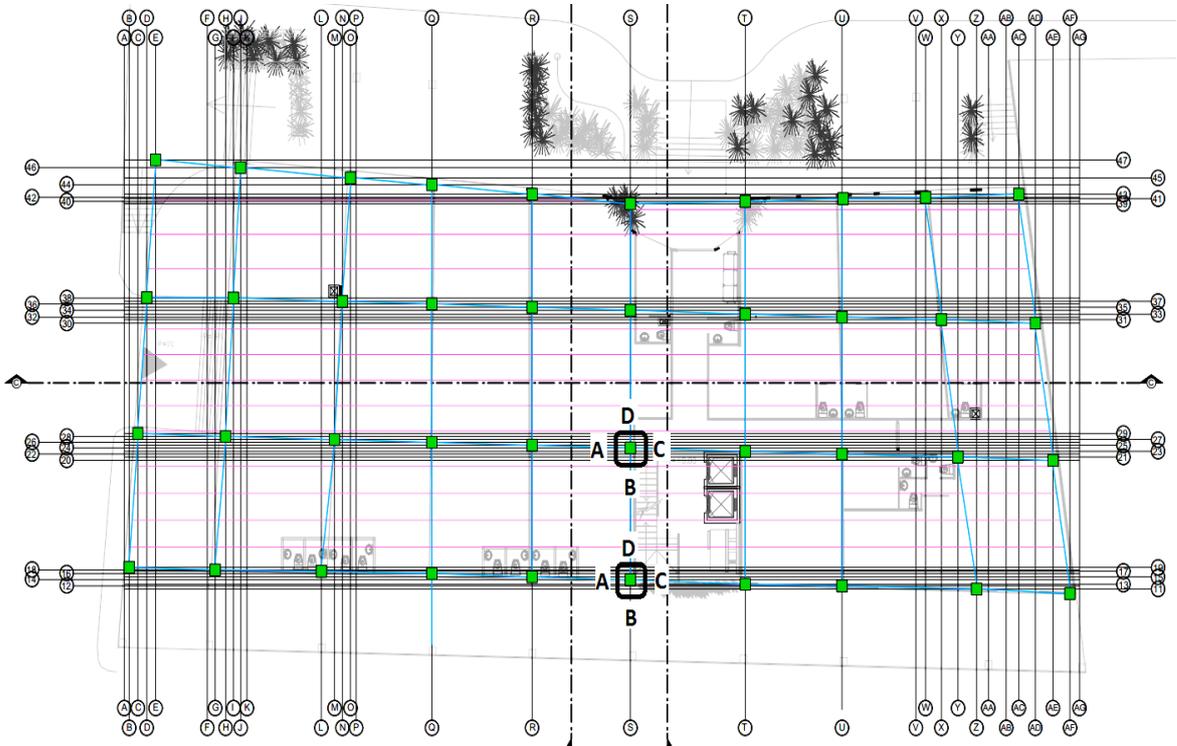
Fuente: Autor

Tabla 4-19: Inspección subsuelo 2

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01	
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA					
INSPECCIÓN SUBSUELO 2 CONEXIÓN PLACAS DE ANCLAJE COLUMNA					
					
ESTADO DE CONEXIÓN					
EJE	PLACA-COLUMNA				OBSERVACIONES
	A	B	C	D	
T-33	UT-R	UT-R	UT-R	UT-R	Tienen muy poca pierna horizontal VT-R
S-14	UT-R	UT-R	UT-R	UT-R	Tienen muy poca pierna horizontal VT-R

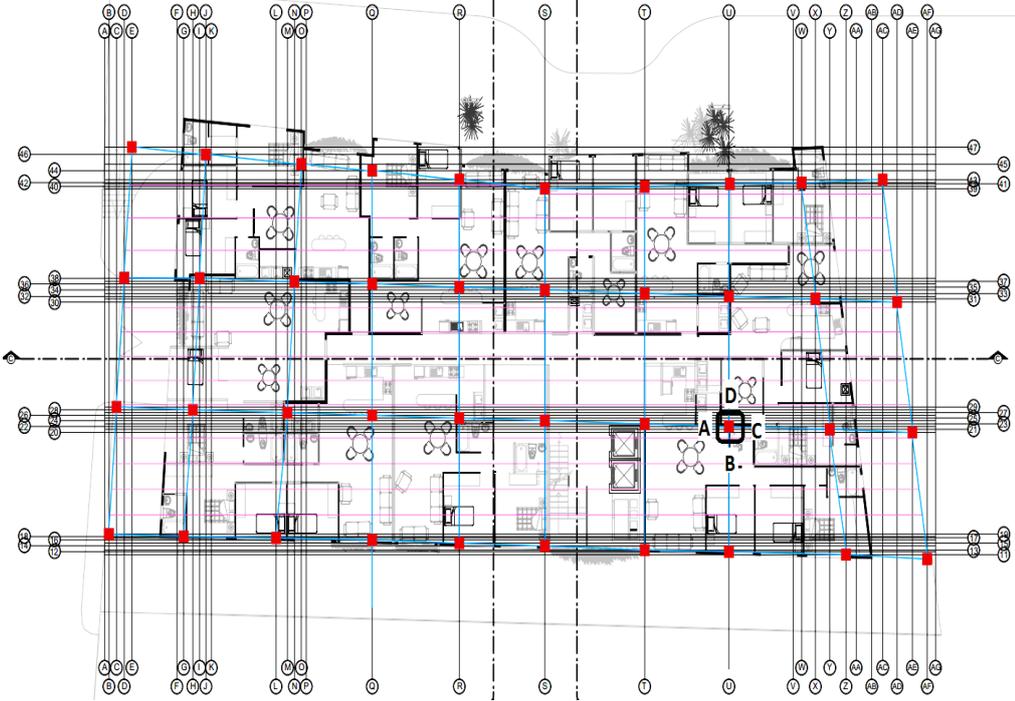
Fuente: Autor

Tabla 4-20: Inspección planta baja empalme columna-columna

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01	
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA					
INSPECCIÓN PLANTA BAJA EMPALME COLUMNA-COLUMNA					
					
ESTADO DE CONEXIÓN					
EJE	COL-COL				OBSERVACIONES
	A	B	C	D	
S-14	UT-R			UT-R	
S-24	UT-R	UT-R			

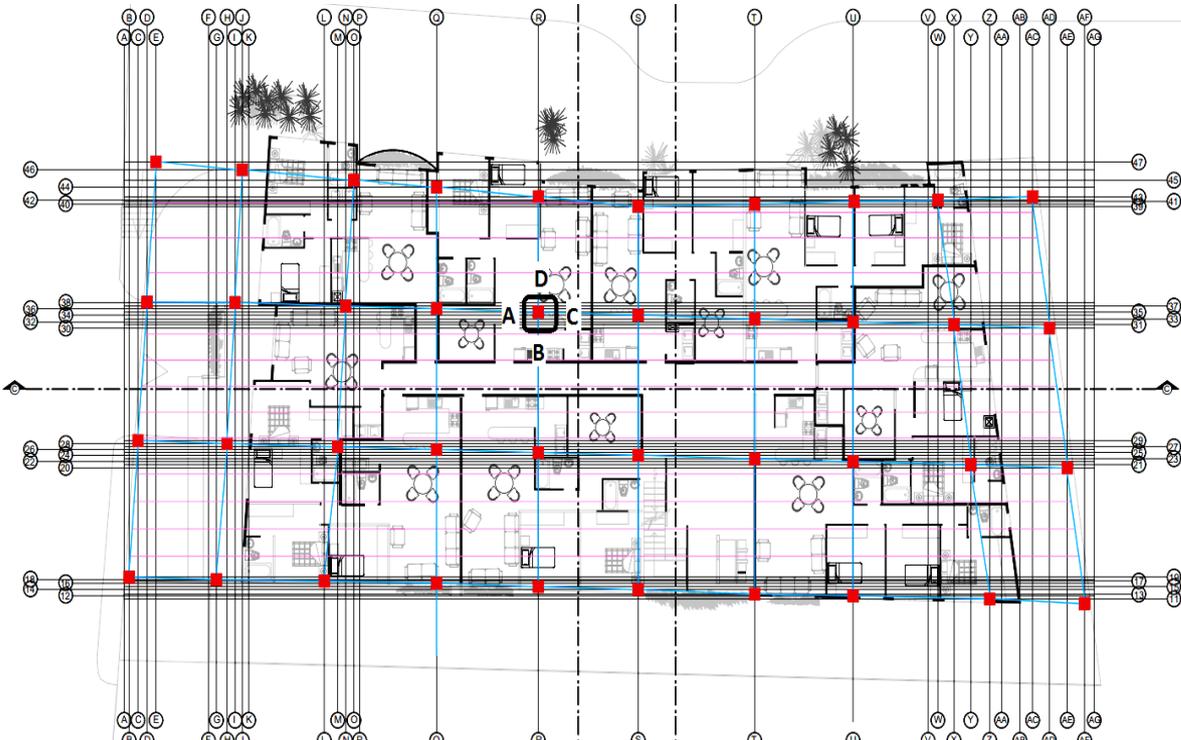
Fuente: Autor

Tabla 4-21: Inspección segunda planta empalme columna-columna

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01	
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA					
<p>INSPECCIÓN SEGUNDA PLANTA EMPALME COLUMNA-COLUMNA</p> 					
ESTADO DE CONEXIÓN					
EJE	COL-COL				OBSERVACIONES
	A	B	C	D	
U-22	UT-R	UT-R			

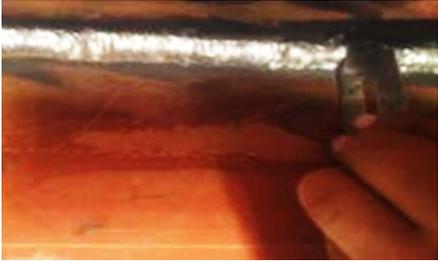
Fuente: Autor

Tabla 4-22: Inspección Quinta Planta Empalme Columna-Columna

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE		Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY				Reporte N° PIAMONTE-01	
UBICACIÓN DE SOLDADURA POR PLANTA					
<p>INSPECCIÓN QUINTA PLANTA EMPALME COLUMNA-COLUMNA</p> 					
ESTADO DE CONEXIÓN					
EJE	COL-COL				OBSERVACIONES
	A	B	C	D	
R-35	UT-R	UT-R			

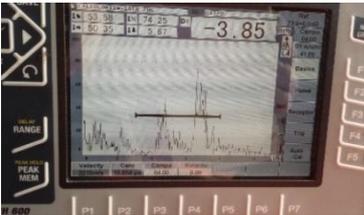
Fuente: Autor

Tabla 4-23: Informe fotográfico

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
INFORME FOTOGRÁFICO			
			
Ejemplo de medición de pierna de cordón de soldadura en el alma de la viga, correcto estado.		Ejemplo de medición de pierna de cordón de soldadura en el alma de la viga, estado incorrecto; falta de pierna.	
			
Toma de dimensiones de mordeduras presentes en el cordón de soldadura de filete, con CALIBRE UNIVERSAL.		Remoción de impurezas, como pintura, para la aplicación del método por Tintas Penetrantes	
			
Aplicación de penetrantes sobre superficie limpia de cordón de soldadura, en alma de viga.		Aplicación de revelador sobre superficie de cordón de soldadura en el alma de viga, soldadura rechazada; (PT-R).	
			
Ejemplo de junta viga-columna, soldadura aprobada en alma de viga. (PT-OK).		Soldadura de ángulo bajo el patín de viga, soldadura rechazada (PT-R). Mordeduras, porosidad, falta de fusión, etc.	

Fuente: Autor

Tabla 4-24: Informe fotográfico 2

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01
INFORME FOTOGRAFICO			
			
Falta de soldadura en ángulos colocados bajo el patín de las vigas (VT-R).		Varilla corrugada colocada entre columna y el patín de viga, para lograr la construcción de junta (VT-R).	
			
Preparación de conexión placa-columna, para ensayo por Ultrasonido; limpieza de impurezas.		Toma de dimensiones de garganta y pierna de cordones sobrepuestos en conexión placa-columna	
			
Inspección de conexión placa-columna, mediante Ultrasonido		Falta de penetración de soldadura en conexión placa-columna, a lo largo del cordón de soldadura (UT-R).	
			
Inspección de conexión columna-columna, mediante Ultrasonido		Cordón con correcta penetración en empalme columna-columna	

Fuente: Autor

Tabla 4-25: Resumen general de resultados Inspección Visual

TORRE PIAMONTE									Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015			
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE						Reporte N° PIAMONTE-01			
RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS												
MÉTODO DE INSPECCIÓN	EJE	NIVEL	CONEXIÓN VIGA COLUMNA						VT-R	VT-OK		
			COL-VP			COL-VS						
			SUP	INF	AL	SUP	INF	AL				
INSPECCIÓN VIUAL (VT)	AE-20 (A)	Subsuelo 1						VT-R			1	
	Y-21 (A)	Subsuelo 1						VT-R	VT-R	VT-OK	2	1
	S-34 (C)	Subsuelo 1						VT-R	VT-R	VT-OK	2	1
	I-38 (C)	Planta Baja						VT-R	VT-R	VT-OK	2	1
	U-22 (A)	Segunda Planta						VT-R	VT-R	VT-OK	2	1
	U-22 (B)	Segunda Planta	VT-R	VT-R	VT-OK						2	1
	D-38 (B)	Tercera Planta	VT-R	VT-R	VT-R						3	
	U-41 (B)	Quinta Planta	VT-R	VT-R	VT-OK						2	1
	U-41 (C)	Quinta Planta						VT-R	VT-R	VT-OK	2	1
RESULTADOS	TOTAL DE JUNTAS INSPECCIONADAS									25	100%	
	TOTAL DE JUNTAS RECHAZADAS									18	72%	
	TOTAL DE JUNTAS APROBADAS									7	28%	

Fuente: Autor

Tabla 4-26: Resumen general de resultados Tintas Penetrantes

TORRE PIAMONTE			INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE						Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY									Reporte N° PIAMONTE-01	
RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS										
MÉTODO DE INSPECCIÓN	EJE	NIVEL	CONEXIÓN VIGA COLUMNA						PT-R	PT-OK
			COL-VP			COL-VS				
			SUP	INF	AL	SUP	INF	AL		
TINTAS PENETRANTES (PT)	AE-20 (A)	Subsuelo 1				PT-R			1	
	Y-21 (A)	Subsuelo 1				PT-R	PT-R	PT-OK	2	1
	S-34 (C)	Subsuelo 1					PT-R	PT-OK	1	1
	I-38 (C)	Planta Baja					PT-R	PT-OK	1	1
	U-22 (A)	Segunda Planta					PT-R	PT-OK	1	1
	U-22 (B)	Segunda Planta		PT-R	PT-OK				1	1
	D-38 (B)	Tercera Planta			PT-R	PT-R			2	
	U-41 (B)	Quinta Planta	PT-R	PT-R	PT-R				3	
	U-41 (C)	Quinta Planta				PT-R	PT-R	PT-R	3	
RESULTADOS	TOTAL DE JUNTAS INSPECCIONADAS							20	100%	
	TOTAL DE JUNTAS RECHAZADAS							15	75%	
	TOTAL DE JUNTAS APROBADAS							5	25%	

Fuente: Autor

Tabla 4-27: Resumen general de resultados Ultrasonido

TORRE PIAMONTE			INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS-TORRE PIAMONTE				Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY							Reporte N° PIAMONTE-01	
MÉTODO DE INSPECCIÓN	EJE	NIVEL	CONEXIÓN PLACA DE ANCLAJE-COLUMNA				UT-R	UT-OK
			A	B	C	D		
ULTRASONIDO (UT)	T-33	Subsuelo 2	UT-R	UT-R	UT-R	UT-R	4	
	S-14	Subsuelo 2	UT-R	UT-R	UT-R	UT-R	4	
			EMPALME COLUMNA-COLUMNA					
	S-14	Planta Baja	UT-R			UT-R	2	
	S-24	Planta Baja	UT-R	UT-R			2	
	U-22	Segunda Planta	UT-R	UT-R			2	
	R-35	Quinta Planta	UT-R	UT-R			2	
RESULTADOS	TOTAL DE JUNTAS INSPECCIONADAS					16	100%	
	TOTAL DE JUNTAS RECHAZADAS					16	100%	
	TOTAL DE JUNTAS APROBADAS					0	0%	

Fuente: Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Para dar inicio con la inspección de soldadura en la estructura de la edificación se recopiló la información necesaria como son: planos arquitectónicos y estructurales. Los planos arquitectónicos y estructurales fueron entregados en formato digital por la constructora Tosi Moreno; estos fueron utilizados para ubicar de manera aleatoria los ejes de las conexiones a inspeccionar, en las distintas plantas. La construcción de la estructura de acero estuvo a cargo de Constructora Terán, la misma que tuvo la gentileza de facilitarnos el modelo estructural, para conocer las características mecánicas y geométricas de los miembros estructurales con el que fue construida la estructura, así como el proceso de soldadura empleado en la edificación; datos indispensables para llevar a cabo la inspección mediante END; lamentablemente no se pudo obtener los respectivos planos de taller, planos de montaje ni diseño de soldadura, documentos necesarios para llevar a cabo la construcción de una estructura de acero con conexiones soldadas.
- Luego de revisar los planos arquitectónicos y estructurales de la edificación, se procedió a realizar visitas a la obra para tomar datos como proceso de soldadura, equipos de soldadura, electrodos e imágenes fotográficas antes durante y después de la construcción de las juntas soldadas. Durante las visitas realizadas a la obra se fueron encontrando las primeras discontinuidades en la estructura de la soldadura, principalmente por falta de preparación de junta, colocación de varilla corrugada en la conexión soldada, personal con poca experiencia ejecutando el proceso de soldadura.
- Antes de dirigirnos al estudio de los métodos de END se efectuó una revisión breve de los procesos de soldadura existentes, tipos de soldadura y tipos de juntas soldadas; además de un conocimiento necesario de las discontinuidades y defectos que se presentan en un cordón de soldadura, cuando esta ha sido mal aplicada; todo esto con la finalidad de comprender los términos necesarios para ejecutar los END en la estructura. Una vez conocidos los términos de soldadura

y códigos a emplear en la inspección, se desarrolló el estudio teórico respectivo de los diferentes END, como inspección visual (VT), tintas penetrantes (PT) y ultrasonido (UT), descritos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción cap5, a fin de entender el alcance de cada ensayo, su aplicabilidad, procedimientos, códigos de aceptación y rechazo de soldadura dentro de la inspección de una edificación conformada con acero estructural conectada mediante soldadura. Es importante recalcar que los END descritos en la norma NEC-2011 son poco empleados o casi nada en la actualidad en la ciudad de Cuenca, tanto por entidades contratantes, como por contratistas.

- Una vez revisados los planos estructurales, efectuado las visitas correspondientes a la obra, estudiado el ámbito teórico de los END basándonos en los códigos y normativas correspondientes, se obtuvo los siguientes resultados de la inspección, para cada uno de los métodos de ensayos.
- Con respecto al método de inspección visual (VT), como se indica en la tabla a continuación, en el muestreo efectuado un alto porcentaje de soldadura fue rechazado por presentar defectos superficiales en la soldadura, como mordeduras, porosidad, cráteres, falta de pierna y garganta en el cordón de soldadura. Además de algunas observaciones constructivas como falta de material de aporte, falta de soldadura en ángulos colocados bajo las vigas, empleo de electrodo E-6011 en vez de electrodo E-7018 para la soldadura de alma-patín en las vigas, falta de agujeros de acceso en junta alma-columna, falta de preparación de metal base. La mayoría de estos defectos son ocasionados por la falta de experiencia y capacitación del personal que ejecuta el proceso de soldadura.

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01	
RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS DE INSPECCIÓN VISUAL				
CONEXIÓN VIGA-COLUMNA				
RESULTADOS	TOTAL DE JUNTAS INSPECCIONADAS	25	100%	
	TOTAL DE JUNTAS RECHAZADAS	18	72%	
	TOTAL DE JUNTAS APROBADAS	7	28%	

Con respecto al método de inspección por tintas penetrantes (PT), como se indica en la tabla a continuación, en el muestreo efectuado también un alto porcentaje de la soldadura de las conexiones viga-columna fueron rechazadas por la presencia de defectos superficiales como mordeduras, cráteres, falta de material de aporte. Estos defectos son causados por la falta de experiencia y capacitación del personal que ejecuta el proceso de soldadura.

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01	
RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS DE TINTAS PENETRANTES				
CONEXIÓN VIGA-COLUMNA				
RESULTADOS	TOTAL DE JUNTAS INSPECCIONADAS	20	100%	
	TOTAL DE JUNTAS RECHAZADAS	15	75%	
	TOTAL DE JUNTAS APROBADAS	5	25%	

Con respecto al método de inspección por ultrasonido (UT) como se indica en la siguiente tabla, en el muestreo efectuado, lamentablemente existieron resultados muy desfavorables a causa de que ninguna de las soldaduras pudo ser aprobada; los defectos más relevantes encontrados fueron principalmente falta de penetración de soldadura, mordeduras y cráteres, todas estas causadas básicamente porque no existe una preparación de la junta antes de soldar y por la falta de capacitación al personal de soldadura.

TORRE PIAMONTE		INFORME DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS- TORRE PIAMONTE	Fecha de Inspección: 9 al 12 de febrero del 2015	
UNIVERSIDAD DEL AZUAY			Reporte N° PIAMONTE-01	
RESUMEN GENERAL DE RESULTADOS DE ULTRASONIDO				
CONEXIÓN PLACA DE ANCLAJE-COLUMNA Y EMPALME COLUMNA-COLUMNA				
RESULTADOS	TOTAL DE JUNTAS INSPECCIONADAS	16	100%	
	TOTAL DE JUNTAS RECHAZADAS	16	100%	
	TOTAL DE JUNTAS APROBADAS	0	0%	

Este documento de titulación cuenta con el procedimiento respectivo para llevar a cabo la inspección de soldadura mediante END como: inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido, en estructuras de acero una vez construidas las juntas soldadas.

Recomendaciones:

- Una vez presentados los planos arquitectónicos y estructurales para dar inicio a la construcción de una edificación con acero estructural, también se deberá adjuntar a los mismos, los respectivos planos de montaje, planos de taller y el cálculo de la conexión, ya sea esta de soldadura o empernado de acuerdo al cap. 5 de la NEC. Todos estos documentos servirán de apoyo para llevar a cabo una correcta construcción de la estructura, a fin de evitar problemas que se pueden suscitar durante el desarrollo de la construcción o después de la misma.
- Si se trata de la construcción de una estructura de acero como el edificio Torre Piamonte, esta deberá contar con la presencia de un inspector de soldadura certificado por la AWS ya sea este ingeniero mecánico, industrial o civil con una especialidad en soldadura, con el manejo y conocimiento necesario de las normas las Normas ANSI/AWS D1.1 y D1.8, desde su primera fase de construcción como indica la NEC cap5. Estos profesionales llevarán a cabo su labor antes, durante y después de emplear la soldadura en las juntas. Además de los profesionales encargados de la inspección de soldadura es muy importante tener personal capacitado para ejecutar los procesos de soldadura, garantizando de esta manera una correcta ejecución de soldadura en las conexiones. Estas certificaciones al personal de soldadura se lo realiza en nuestro país en instituciones como SECAP (Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional), CIMEG (Colegio de Ingenieros Mecánicos del Guayas), CIMA (Colegio de Ingenieros Mecánicos del Azuay), entre otros.
- Desde un punto de vista constructivo se recomienda en ningún caso colocar varilla corrugada en las juntas, mucho menos en la junta viga-columna, debido a que estas conexiones reciben directamente las solicitaciones en caso de un evento sísmico; de igual forma para la construcción de las juntas viga-columna, columna-placa de anclaje y empalme columna-columna, se recomienda preparar el metal base con su respectivo biselado a fin de lograr una penetración adecuada de la soldadura.

- En vista de que en la actualidad los ingenieros civiles son quienes diseñan y construyen estructuras con acero, se recomienda que dichos profesionales tengan un conocimiento mínimo acerca de soldadura y los procedimientos de END, de esta forma podrán llevar a cabo una construcción correcta de las mismas. Además los ingenieros civiles también podrán certificarse como inspectores de soldadura con certificaciones de la AWS o inspectores ASNT Nivel II, ultrasonido, tintas, visual. En nuestro país esta certificación la realizan empresas como: ACESXILICON que se encuentra ubicada en la ciudad de Quito.
- Finalmente en el caso de que la Constructora Tosi Moreno desee realizar correcciones en las juntas soldadas, se recomienda pedir a la empresa constructora de la estructura la certificación del personal encargado de la ejecución de soldadura, el diseño de soldadura empleado en las conexiones y además de la contratación de un inspector de soldadura y un ingeniero civil o mecánico con especialidad en la misma.

BIBLIOGRAFIA

CASTRO, P. H. (16 de Abril de 2012). *es.scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

COMITÉ EJECUTIVO, N. E. (2011). Capítulo 5: Estructuras de Acero. En N. E. Comité Ejecutivo, *Norma Ecuatoriana de la Construcción* (págs. 1-23). Quito.

GALBARRO, H. R. (2014). *www.ingemecanica.com*. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html#seccion3>

INDURA. (2009). *www.indura.com.ec*. Obtenido de http://www.indura.com.ec/productos_detalle.asp?idq=4230

OLIVA, C. (2007). *Inspector de Soldadura AWS:QCI*. Chile: Instituto Chileno de Soldadura.

SERRANO, C. (2010). *www.sistendca.com*. Obtenido de www.sistendca.com: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20EN%20D.pdf 17)

SOCIETY, A. W. (s.f.). Manual de soldadura. En A. W. Society. Mexico: R. L. O'Brien.

VASQUEZ, J. (2012). *weldermex.blogspot.com*. Obtenido de <http://weldermex.blogspot.com/2012/08/curso-de-soldadura-smaw.html>

VEGA, D. A. (s.f.). *www.ipen.org.br*. Obtenido de http://www.ipen.org.br/downloads/simposio_lima/adan_vega_01.pdf

ANEXOS