



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

**TÍTULO: IDENTIFICACIÓN DE ERRORES COMUNES Y SOLUCIONES
SEGÚN NORMAS VIGENTES PARA ESTRUCTURAS DE ACERO.**

TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO

REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR: SANTIAGO VELEZ MANRIQUE

TUTOR: ING. ALEX VILLACRES MSc

SAMBORONDON, ENERO DE 2017

CERTIFICACION DE APROBACION DEL TUTOR/A

En mi calidad de tutor del estudiante **Santiago Francisco Velez Manrique** estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil, carrera dictada en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la UEES, certifico: Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **IDENTIFICACIÓN DE ERRORES COMUNES Y SOLUCIONES SEGÚN NORMAS VIGENTES PARA ESTRUCTURAS DE ACERO**, presentado por el estudiante **Santiago Francisco Velez Manrique** con cedula de ciudadanía N °. 1714306329, como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniería Civil, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutor: Ing. Alex Villacres, Msc.

Samorondón, enero de 2017.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme guiado lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, conocimientos, experiencias y sobre todo felicidad. Gracias a mi familia, es especial a mi madre María del Carmen Manrique por haber sido un pilar fundamental en mi vida, por los valores que me han inculcado y por haber hecho todo lo posible por darme una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un buen ejemplo de vida a seguir, y a Julio Sánchez por ser un buen amigo que me ha enseñado a seguir adelante. A mi novia Ángeles, por todo el apoyo brindado en cada fase de mi vida. A mis amigos, en especial al Rita por siempre creer en mí. Un agradecimiento especial al Ing. Ricardo Armijos Galarza por todas las enseñanzas que me brindó, tanto en el ámbito profesional como en el personal.

Santiago Vélez Manrique.

DEDICATORIA

A mi madre
con mucho amor y cariño
le dedico todo mi esfuerzo
y trabajo puesto para
la realización de esta tesis.

María del Carmen Manrique

RESUMEN

El presente trabajo de investigación responde al análisis y evaluación de los principales errores que se presentan en las estructuras de acero, con el propósito de ofrecer soluciones específicas para cada uno de ellos.

En el primer capítulo se expone el problema a evaluar, describiendo los avances que se han dado en la construcción con acero y las tecnologías desarrolladas, para posteriormente hacer énfasis sobre la base del problema, que radicaría en el escaso conocimiento con el que se fabrican y montan estructuras de acero, ya que no se aplican los respectivos suplementos sísmicos para la construcción de la obra.

Posteriormente se explica la importancia de seguir la Norma Ecuatoriana de la Construcción y en cómo ésta es usada sólo por estructuristas, mientras que muchos otros agentes involucrados con la obra tienden a ignorar esta normativa, ya sea por falta de una formación adecuada, o de manera deliberada, pues consideran que debido a términos de tiempo y presupuesto resulta mejor incumplirla.

El segundo capítulo corresponde al marco teórico, en el mismo se hace referencia a los principales conceptos de obra que se relacionan con el presente trabajo de investigación; mientras que en el tercer capítulo se explica la metodología implementada, enunciando las hipótesis planteadas, así como el diseño de la investigación y la descripción de la población y muestra sobre las que se trabajó.

Finalmente, en el cuarto capítulo se exponen los resultados del análisis de investigación, describiendo en detalle los problemas detectados, planteando al menos una o dos soluciones para cada uno de ellos. De igual manera se hace énfasis sobre la necesidad de contar con una metodología de trabajo que permita cumplir los requisitos fundamentales de seguridad en la obra.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACION DE APROBACION DEL TUTOR/A	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN.....	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	X
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	1
1. Antecedentes	2
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Sistematización del Problema.....	4
1.4 Objetivos de la investigación.....	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. El acero	8
2.1.1 Referencia histórica del acero.....	8
2.1.2 Propiedades del acero	9
2.1.2.1 Ventajas del acero.....	9
2.1.2.2 Desventajas del acero.....	10
2.1.4 El acero como material estructural	10
2.1.4.1 Errores más comunes en estructuras de acero	11
2.1.4.2 Detallamiento de estructuras de acero	12
2.1.4.3 Construcción compuesta del acero	13
2.1.4.4 Conexiones en acero estructural	16

2.2 Soldadura	17
2.2.1. Tipos de conexiones o soldadura	17
2.2.2 Pruebas de soldadura	20
2.2.2.1 Inspección visual (VT – Visual Test)	21
2.2.2.2 Ultrasonido	24
2.2.2.3 Tinta penetrante	24
2.2.2.4 Radiografía	25
2.2.2.3 Partículas magnéticas.....	26
2.2.3 Defectos de soldadura.....	26
2.3 Normativa ecuatoriana de la construcción (NEC)	29
2.4 Norma para la certificación de inspectores de soldaduras de la AWS	30
2.5 Niveles de certificación y credenciales.....	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	32
3.1 Planteamiento de la hipótesis	33
3.2 Diseño de la investigación	33
3.3 Población y muestra	33
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
Problemas de Diseño.....	36
4.1 Agujero de acceso a la soldadura. Detalle sísmico.....	36
Problema # 1	36
Solución #1:	38
Problema # 2	40
Solución #2:	40
4.2 Elementos de anclaje: Placa base y Varillas de anclaje	41
Problema # 3	42
Problema # 4	42
Solución #3 y 4:	43
Problema # 5	46
Solución #5:	47
Problema # 6	49
Solución # 6	49

Detalles tipo cumpliendo los requisitos de la Guía 1 de Diseño en Acero: Placas de Anclaje	50
Problemas de fabricación.	51
4.3 Inversión de Diagonales en cerchas metálicas	51
Problema # 7	52
Solución #7:	53
4.4 Ausencia de conectores de corte en las columnas metálicas	54
Problema # 8	54
Solución #8:	56
4.5 Soldadura incompleta en atiesadores internos de nudo.....	59
Problema # 9	59
Solución #9:	61
4.6 Empates excesivos y cercanos en elementos estructurales.....	62
Problema # 10	62
Solución #10:	64
Problemas de Montaje	68
4.7 Distribución de Steel Panel. Vigas Compuestas.....	68
Problema # 11	68
Solución #11:	69
Recomendaciones adicionales	72
4.8 Inversión de placa de cortante (PC) y Soldadura incompleta en vigas sísmicas	73
Problema # 12	73
Solución #12:	75
4.9 Choque entre espigas y conectores de corte de columnas.....	77
Problema # 13	77
Solución #13:	77
4.10 Uso correcto de platinas de respaldo en unión viga-columna	79
Problema # 14	79
Solución #14:	80
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82

5.1 Conclusiones.....	83
5.2 Recomendaciones.....	84
Trabajos Citados	85

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Listados de normas adicionales a la sección A2 de la ANSI/AISC 360-10	4
Tabla 2: Propiedades a Tensión Especificadas por la Norma ASTM.....	9
Tabla 3 Errores en la construcción de estructuras de Acero	12
Tabla 4: Criterios de Aceptabilidad para Inspección Visual.....	22
Tabla 5: Listado de problemas y normas aplicadas para solucionarlos	35
Tabla 6: Geometría del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción.....	42
Tabla 7: Diámetro mínimo de doblado y L_{ext}	44
Tabla 8: Tabla de empotramiento mínimo	45
Tabla 9: Longitud de anclaje l_{dt} de las barras con cabeza	45
Tabla 10: Especificación de electrodos para acero de refuerzo	47
Tabla 11: Ejemplos de empalmes de columnas	65

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Conectores de corte para losa	14
Ilustración 2 Comparación de vigas sin acción compuesta y con acción compuesta.	15
Ilustración 3 Secciones de columnas compuestas	15
Ilustración 4: Perfiles de soldadura Aceptables e Inaceptables	23
Ilustración 5: Edificio Principal Obra 1	34
Ilustración 6: 2. Edificio de 8 pisos para bóvedas. 2. Edificio de 2 pisos / Salas de Velación.	34
Ilustración 7: Geometría de agujero de acceso a soldadura.	36
Ilustración 8: Agujero de acceso a la soldadura.....	37
Ilustración 9: Detalle de Agujero de acceso para soldadura en zonas sísmicas....	38
Ilustración 10: Geometría de agujero de acceso para soldadura $t_f=8-10\text{mm}$	38
Ilustración 11: Geometría de agujero de acceso para soldadura $t_f=12-15\text{mm}$	39
Ilustración 12: Agujero de acceso para soldadura ejecutado erróneamente.	40
Ilustración 13 Vista en planta de placa de anclaje	41
Ilustración 14: Sección de placa de anclaje.....	41
Ilustración 15: Choque de varillas.....	43
Ilustración 16: Detalle de doblado	44
Ilustración 17: Tipos de anclaje al concreto - Cono de arrancamiento.	44
Ilustración 18: Soldadura Tapón.	46
Ilustración 19: Soldadura Tapón en placas base	46
Ilustración 20: Detalle de varilla de anclaje soldada.....	47
Ilustración 21: Soldadura Varillas de anclaje - Placa base	48
Ilustración 22: Choque de varillas de anclaje con el armado del dado	49
Ilustración 23: Superposición de armadura del dado y varillas de anclaje	49
Ilustración 24: Detalle de Varillas de Anclaje con rosca	50
Ilustración 25: Detalles de Varilla de anclaje soldada	51
Ilustración 26 Viga en Celosía tipo Pratt.	52

Ilustración 27: Foto de Estructura en obra. Con diagonales invertidas.....	52
Ilustración 28: Modelo de la estructura en Sap2000.....	53
Ilustración 29: Distribución de conectores en columnas.....	54
Ilustración 30: Fabricación de columnas sin conectores de corte.....	55
Ilustración 31: Solución a la ausencia de conectores de corte en columnas.....	56
Ilustración 32: Perforación de cara de columnas con taladro magnético.....	57
Ilustración 33: Avellanado en perforación.....	57
Ilustración 34: Varilla de 12mm soldada a fleje auxiliar.....	58
Ilustración 35: Soldadura de varilla de 12mm.....	58
Ilustración 36: Soldadura GMAW.....	58
Ilustración 37: Conectores de corte con varilla de 12mm. A) Vista externa de los conectores agregados.....	59
Ilustración 38: Atiesadores interiores de nudo.....	59
Ilustración 40: Soldadura incompleta.....	60
Ilustración 41: Ubicación de Atiesadores de nudo.....	60
Ilustración 42: Soldadura completa de atiesadores.....	61
Ilustración 43: Remover tapa superior.....	61
Ilustración 44: Empate cerca de nudo.....	62
Ilustración 45: Empates cercanos al nudo.....	63
Ilustración 46: Columnas de 9m.....	64
Ilustración 47: Ejemplo de empalmes para columnas.....	65
Ilustración 48: Ejemplo de columna de 9m.....	66
Ilustración 49: Ensamble de columnas.....	66
Ilustración 50: Ensamble de Vigas.....	67
Ilustración 51: Detalle de Viga Sísmica.....	67
Ilustración 52: Construcción Compuesta y Steel Panel.....	68
Ilustración 53: Steel Panel y Conector de Corte.....	68
Ilustración 54: Viga VN sin conectores de corte.....	69
Ilustración 55: Ejemplo de análisis previo a la colocación del Steel panel.....	70
Ilustración 56: Detalle de Viga y conector.....	71
Ilustración 57: Steel panel con distancias de apoyo.....	71
Ilustración 58: Distribución Steel Panel.....	72

Ilustración 59: Distancia del encofrado al Steel panel	72
Ilustración 60: Borde de Losa con apariencia de 'ratoneras'	72
Ilustración 61: Tapa ondas	73
Ilustración 62: Corte de losa	73
Ilustración 63: Unión Viga-Columna.....	74
Ilustración 64: Soldadura incompleta en PC.....	75
Ilustración 65: Soldadura de PC en obra.....	76
Ilustración 66: Conexión a momento	76
Ilustración 67: Superposición de MC4 y espigas.....	77
Ilustración 68: Doblado de varilla con pendiente 1:6	78
Ilustración 69: Detalle en obra	78
Ilustración 70: Fallas de soldadura durante sismo	79
Ilustración 71: Platina de respaldo en patines de vigas y preparación de superficie.	80
Ilustración 72: Detalle de soldadura en patines de vigas sísmicas.....	80
Ilustración 73: Detalle de conexión sísmica según ANSI/AISC 358-10	81

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación es un estudio exploratorio sobre los problemas más frecuentes que se presentan en las construcciones metálicas durante la fabricación y montaje de elementos en acero. El principal propósito del mismo es el de contribuir a mejorar el conocimiento sobre los procesos constructivos que se manejan en la provincia de Guayas y con ello evitar muchos errores durante el proceso.

La metodología aplicada responde a una exhaustiva investigación bibliográfica, así como a investigación de campo en múltiples infraestructuras, en las que se maneja estrictos parámetros de confidencialidad. En el presente trabajo se analizan los problemas o patologías producidos en las estructuras metálicas y se proveen acciones a implementar para garantizar que ello no afecte el comportamiento estructural del edificio.

Tras exponer en detalle los antecedentes y problemática del tema, se define el alcance de la investigación, así como los objetivos perseguidos, para finalmente exponer sus resultados. De manera concreta en el presente trabajo de investigación se desarrolla una lista detallada de los problemas evaluados, enfocándose en problemas de fabricación y montaje, para posteriormente ofrecer múltiples soluciones y así mantener la integridad de la edificación.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1. Antecedentes

El punto crítico en la historia de la ingeniería se dio en Shropshire, Inglaterra, en 1779, donde se construyó con hierro fundido el puente Coalbrookdale en forma de arco, de 100 pies de claro sobre el río Severn (Kalpakjian, Serope, & Schmid, 2001). Este es el primer registro de uso de metal en una estructura, hecho que cambiaría el curso de la Revolución Industrial, ya que se introduce al hierro como material estructural (Kalpakjian, Serope, & Schmid, 2001).

Gracias al avance de la metalurgia y al de la soldadura eléctrica, el uso del acero se ha multiplicado, permitiendo así que muchas estructuras modernas mantengan una simplificación estructural que les aporta esbeltez. Desde sus primeras aplicaciones en puentes y posteriormente en rascacielos, el acero ha ido ganando uso sobre todo en edificios de viviendas y oficinas, aunque el desarrollo de la técnica del hormigón armado lo ha limitado.

Sin embargo, existen un sinnúmero de errores en las estructuras de acero para los que no se logra determinar con precisión su causa. Tema complejo debido a la carencia de un manual de construcción que presente de manera tipificada los errores que se pueden presentar en la construcción y su solución. En ocasiones estos errores pueden corregirse gracias a la experiencia de los supervisores de obra, pero no siempre es el caso.

1.1 Planteamiento del Problema

Para entender los errores encontrados en las estructuras de acero soldadas, se debe profundizar en el conocimiento de la tecnología de este material mundialmente utilizado, problemas de estabilidad específicos de la metalurgia, propiedades mecánicas de los materiales, la variación que sufre con los tratamientos térmicos presentes en la ejecución (soldadura), los mecanismos de corrosión y la forma de controlarlos.

El problema radica en el escaso conocimiento de este material en sus etapas de fabricación, traslado y montaje, la realidad resulta algo más compleja simplemente porque muchos de los procedimientos básicos requieren, para poder ser aplicados, el ajuste de algunos parámetros.

Los errores constructivos que en general están relacionados con los tipos de materiales que se trabajan de la mano con el acero, el bajo interés que las instituciones académicas le brindan a materias, cursos, talleres o capacitaciones en donde se hable de la utilización de estructuras metálicas soldadas y los errores en estas, que generan grandes impactos económicos y de estética en las obras.

En Ecuador se requiere que el trabajo sea realizado siguiendo la Norma Ecuatoriana de Construcción, sin embargo, sólo los estructuristas la usan, mientras que muchas estructuras metálicas de pequeños tamaños son hechas en talleres, de la mano de “carpinteros metálicos” (cerrajeros), es decir, por soldadores improvisados y no certificados.

El Código de Soldadura estructural, cubre los requerimientos para cualquier tipo de estructura soldada realizada con acero al carbono y de baja aleación para construcción, reglas para la regulación de soldaduras en la construcción con acero, Las normas extranjeras usadas para la NEC-SEC-AC, las especificaciones y códigos referenciados en estas disposiciones, serán los listados en la sección A2 de la ANSI/AISC 360-10 con las adiciones expuestas en la Tabla. 1 (NEC, 2015).

<u>Abreviación</u>	<u>Nombre y detalles</u>
ANSI/AISC 358-10	Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel
ANSI/AISC 360-10	Specification for Structural Steel Buildings (American
ANSI/AISC 341-05	Seismic Provisions for Structural Buildings
ANSI/AISC 341-10	Seismic Provisions for Structural Buildings (American Institute of Steel Construction (AISC)
AWS D1.8/D1.8M: 2009	Structural Welding Code-Seismic Supplement (American Welding Society (AWS)
ANSI/AWS B4.0M:2000	Standard Methods for Mechanical Testing of Welds (Metric Customary Units) (American Welding Society
ANSI/AWS B4.0:2007	Standard Methods for Mechanical Testing of Welds (U.S. Customary Units) (American Welding Society (AWS)
ASNT SNT TC 1a-2001	Recommended Practice for the Training and Testing of Nondestructive Testing Personnel (American Society for
AWS B5.1-2003	Specification for the Qualification of Welding Inspectors
FEMA 350, July 2000	Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment- Frame Buildings (Federal Emergency

Tabla 1: Listados de normas adicionales a la sección A2 de la ANSI/AISC 360-10

Fuente: (NEC, 2015)

1.2 Formulación del Problema

El escaso número de investigaciones y documentos técnicos que estudien, caractericen los errores existentes en las estructuras de acero y ofrezcan propuestas de soluciones y metodologías a aplicar a escala constructiva, para que los profesionales de la construcción lo acojan como una guía para sus labores.

1.3 Sistematización del Problema

La escasez de socialización de documentos técnicos, ¿incide en los problemas en el montaje de estructuras de acero?

¿Los errores constructivos, que se detectan durante las etapas de fabricación y montaje, afectan en el comportamiento final de las estructuras de acero?

¿La detección de errores en la etapa de fabricación de las piezas de acero, impide que ocurran patologías en la estructura durante la etapa de montaje?

¿El detectar este tipo de errores constructivos podría evitar que se desencadenen errores subsecuentes?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Identificar los errores comunes y facilitar soluciones según normas vigentes para estructuras de acero.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Recopilar información de los errores comunes durante los procesos de diseño, fabricación y montaje de las estructuras de acero.
- b) Tipificar en qué parte del proyecto de obra se cometió el error, determinando si este se dio durante la fase de diseño, fabricación, o montaje.
- c) Proponer soluciones técnicas para los errores en estructuras de acero, basadas en la normativa vigente.

1.5 Justificación de la investigación

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal identificar los errores en las estructuras de acero, ya que las obras civiles en ciudad de Guayaquil continúan creciendo y muchas de estas usan el acero estructural como principal material de construcción ya sea para edificios, puentes y diferentes obras de infraestructura.

Los errores son frecuentes, por lo que la inspección de soldadura es importante en el montaje de estructuras de acero, para evaluar el trabajo de unión realizado, detectar errores frecuentes con el tamaño de la soldadura o la falta de continuidad de la soldadura, además de imperfecciones dentro o cercanas a la soldadura, que pueden o no, según su tamaño o ubicación, evitar que la soldadura cumpla con su desempeño (AWS D1.8/D1.8M, 2009).

Fallas en la soldadura como falta de continuidad, tamaño inaceptable o mala ubicación dentro de las piezas, ocasionan la reducción de su resistencia, produciendo concentraciones de esfuerzos dentro del componente de la soldadura, a causa de esto es común se encuentran patologías por mal manejo de los procesos de diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero (NEC, 2015).

Se debe conocer la forma correcta de montaje, soldadura y calidad de la aleación, para evitar en el futuro imperfectos en las obras, que generarían inversiones muchas veces incuantificables, ya que estos errores producen daños o pérdida de calidad en la obra y ocurren después del esfuerzo de fluencia.

Estas razones, hacen importante continuar con la investigación iniciada por el Ing. Patricio Hinojosa sobre los errores en estas estructuras y proponer soluciones aplicables en obra mediante el uso de normas vigentes, lo que será de gran ayuda para los proyectistas y demás personas involucradas en obra civil, montaje, etc.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. El acero

El acero corresponde a una aleación que se logra al combinar hierro y carbono (alrededor de 0,05% hasta menos de un 2% de carbono). Es decir que el acero es básicamente hierro altamente refinado (más de un 98%).

Esta aleación mantiene propiedades muy especiales como alta resistencia, homogeneidad y ductilidad las cuales le otorgan la capacidad de transformarlo en diferentes tipos de perfiles como ángulos, platinas, canales y correas para formar partes de modernas estructuras metálicas.

En la vida urbana es difícil de concebir un escenario donde no haya un objeto que tenga entre sus componentes estructurales al hierro o al acero, ya sea en nuestras casas, edificios, puentes y toda obra de infraestructura urbana.

2.1.1 Referencia histórica del acero

Las mayores referencias sobre el uso del acero se encuentran en la época moderna, ya que en la antigüedad se usaba mayormente el hierro, que, a pesar de ser un metal muy difícil de conseguir, debido a que sus yacimientos se originaban únicamente a raíz de los impactos de meteoritos localizados en la época.

Las primeras estructuras de acero fueron puentes, en torno al año 1800; posteriormente se empezaron a construir edificios, destacando en 1884 la construcción de un edificio de 12 plantas en Chicago, Home Insurance Company y en 1931 la inauguración del Empire State Building en la ciudad de Nueva York – Estados Unidos, este está conformado por 85 plantas en 379 metros de altura (UDC, 2010).

En la actualidad el acero constituye una parte importante de múltiples edificaciones, este ha revolucionado nuestro modo de vida en muchos sentidos y ha influido significativamente en todo lo que nos rodea, es una base importante de toda sociedad moderna y ni siquiera es posible imaginarse la vida cotidiana sin él.

2.1.2 Propiedades del acero

Para entender el comportamiento de las estructuras metálicas es absolutamente indispensable que el proyectista conozca las propiedades del acero. Los diagramas esfuerzo-deformación ofrecen parte de la información necesaria para entender cómo se comporta este material en una situación particular, sin embargo, es necesario un análisis en mayor detalle (Fronius, 2010).

Especificación ASTM	Esfuerzo de Fluencia (F_y) (ksi)	Resistencia a la Tensión (F_u) (ksi)
ASTM A 36	36	58 - 80
ASTM A572 Gr 50	50	65
ASTM A588 Gr 50	50	70

Tabla 2: Propiedades a Tensión Especificadas por la Norma ASTM

Fuente: NEC-SE-AC, 2015.

2.1.2.1 Ventajas del acero

- a) Densidad: La densidad media del acero es de 7850 kg/m³. (ANSI, 2005).
- b) Alta resistencia: La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con condiciones deficientes en la cimentación.
- c) Elasticidad: El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, debido a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos.
- d) Ductilidad: La ductilidad es la propiedad que tiene un material para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos de tensión altos. Cuando se prueba a tensión un acero dulce o con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura.
- e) Tenacidad: Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes

deformaciones será aun capaz de resistir grandes fuerzas. Ésta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

2.1.2.2 Desventajas del acero

La actividad química del acero depende de las impurezas que contenga y de la presencia de elementos que reaccionan con estas, dependiendo también en menor medida de la temperatura y zonas de contacto. Se distinguen fundamentalmente dos reacciones: oxidación y corrosión.

- a) Oxidación: “La oxidación se produce cuando se combina el oxígeno del aire y el metal, siendo este superficial en el acero. El óxido en pequeñas escalas no es destructivo” (ANSI, 2005).

- b) Corrosión: Se considera corrosión a toda acción que ejercen los diversos agentes químicos sobre los metales, desde la capa superficial hasta la totalidad de la pieza, lo que provocaría su total destrucción”, y la disminución considerable de secciones de acero, llevandolo a fallas prematuras. (AISC, 2003).

2.1.4 El acero como material estructural

El acero de uso estructural es un producto de fabricación industrializada, lo que asegura un adecuado control de calidad. Este se caracteriza por una elevada resistencia, rigidez y ductilidad, lo que se traduce en la capacidad del material para soportar deformaciones plásticas, lo que hace que su uso sea muy recomendable para construcciones sismo resistente (Loges, 2009).

En el diseño y verificación de componentes estructurales de acero, uno de los parámetros mecánicos más relevantes es la tensión mínima de fluencia (F_y) de manera adicional, en algunos estados límite vinculados con fracturas se aplica la resistencia de tracción mínima, F_u , ambos parámetros son propiedades nominales del acero especificado (Cassagne, 2009).

Los aceros convencionales tienen resistencias menores y mayor ductilidad, comparados con los aceros de alta resistencia presentan ductilidad reducida, es la razón por la cual las especificaciones sísmicas AISC341-10 limitan la tensión mínima de fluencia a 345MPa en componentes donde se espera que se desarrolle comportamiento inelástico (Cary, Howard B., & Scott C. Helzer, 2005).

Para fabricar las estructuras de acero se trabaja con los planos de ingeniería o arquitectura para producir dibujos detallados de taller, se obtienen las dimensiones requeridas para cortar, aserrar, o cortar con antorcha, los perfiles al tamaño pedido y localizar con exactitud los agujeros para barrenar o puncionar, los dibujos originales indican el acabado necesario de la superficie de las piezas cortadas (West Arco, 2015).

Generalmente se arman las piezas, antes del montaje para determinar si se tiene el ajuste apropiado, estas son marcadas para facilitar su identificación en el campo y se embarcan las piezas sueltas o armadas parcialmente hasta el sitio de la obra para su montaje (Portorreal, 2012).

2.1.4.1 Errores más comunes en estructuras de acero

Al diseñar estructuras metálicas se debe tener especial atención sobre la selección de la aleación, así como el correcto diseño de la unión, eligiendo el proceso óptimo de soldadura. Las estructuras de acero requieren un diseño y soldadura diferente al de otros materiales (ANSI, 2005).

“Algunos de los problemas que puede presentar una estructura son errores en la especificación de los materiales estructurales y/o de sus conectores (pernos o soldaduras); errores al ingresar los datos geométricos de la grilla de ubicación de columnas en planta; errores al ingresar los tamaños y escuadría de perfiles requeridos por el diseño o errores en el traspaso de la información del diseño y cálculo de las conexiones, la comisión de alguno de los errores antes mencionados dará como resultado que más de alguna pieza o conjunto de piezas no tengan las características requeridas por el diseño, en cuyo caso deberían ser reparadas o re-fabricadas con los consiguientes costos y atrasos asociados”, afirma René Flores, 2011

Muchas estructuras metálicas pueden sufrir lesiones que ponen en riesgo su integridad constructiva y con ello la seguridad del edificio, ya sea debido al material empleado, ataques químico ambientales o a las medidas constructivas adoptadas en el proyecto. Por ello, cada patología requiere técnicas de inspección que permitan una adecuada intervención y reparación, además de establecer las medidas de prevención necesarias (ANSI/AISC 360-10, 2010).

Errores en la construcción de estructuras de Acero	
Defecto	Dañó
<p>Inadecuada protección del acero</p> <ul style="list-style-type: none"> Falta de recubrimiento o material protector del acero (pinturas) 	<ul style="list-style-type: none"> Expone a los elementos de acero a los efectos del agua, aire, intemperie en general; ocasionando su corrosión, que conlleva a la disminución de su resistencia.
<p>Defectos en las uniones</p> <ul style="list-style-type: none"> Soldaduras defectuosas (grietas, mordeduras, discontinuidad, burbujas, impurezas...) 	<ul style="list-style-type: none"> Puede ocasionar grandes problemas en las estructuras, ya que las uniones representan un elemento fundamental. <ul style="list-style-type: none"> Desplazamientos indeseados, disminución de la capacidad de resistencia, colapso total o parcial de la estructura.

Tabla 3 Errores en la construcción de estructuras de Acero

Fuente: Centro de Investigaciones en Gestión Integral de Riesgos

2.1.4.2 Detallamiento de estructuras de acero

El detallamiento de las estructuras de acero consiste en preparar los planos de fabricación y montaje para todas y cada una de las piezas de acero estructural requeridas para la construcción de un determinado proyecto u obra, especificando las características que deben poseer todos los elementos estructurales (Rojas Cruz & Armijos Galarza, 2015).

Un detallamiento de mala calidad dará como resultado piezas mal fabricadas que implicarán mayores costos en la fabricación, mayores costos en el montaje y finalmente eventuales fallas durante el uso final de la misma, si es que no se detectan a tiempo tales discrepancias o desviaciones respecto de los requerimientos técnicos del proyecto (ASME International, 2003).

Dentro de esta categoría de problemas se agrupan errores en la especificación de los materiales estructurales y/o de sus conectores (pernos o

soldaduras); errores al ingresar los datos geométricos de la grilla de ubicación de columnas en planta; errores al ingresar los tamaños de perfiles requeridos por el diseño o errores en el traspaso de la información del diseño y cálculo de las conexiones (ANSI/AISC 360-10, 2010).

La comisión de alguno de los errores antes mencionados dará como resultado que más de alguna pieza o conjunto de piezas no tengan las características requeridas por el diseño, en cuyo caso deberían ser reparadas o re-fabricadas con los consiguientes costos y atrasos asociados para entrega de la obra (West Arco, 2015).

En el detallamiento para estructuras de acero, se deben realizar varios pasos, muchos de los que dependen de la tecnología con que se cuenta: maqueta 3d, planos isométricos 3d, planos de montaje, planos de elementos, planos de componentes, listados de pernos, listados de materiales, apoyo en terreno, archivos de importación/exportación de modelos del tipo CIS/2, SDNF, PML, archivos de fabricación del tipo BIF, KSS, CNC, DXF, FABTROL, etc.

2.1.4.3 Construcción compuesta del acero

La construcción de estructuras compuestas entre el acero y el concreto ofrece muchas ventajas de carácter técnico y económico, con el uso correcto de conectores que permitan que los dos materiales trabajen como una unidad para reducir las deformaciones y resistir de manera solidaria las cargas que se le imponen al conjunto, expresando al máximo lo mejor de sus características individuales (Alvarez Valadez & Cházaro Rosario, 2010).

Entre las características más relevantes de las estructuras metálicas de acero, destaca su resistencia, ya que esto ofrece la posibilidad de armar proyectos de gran dimensión y envergadura, que soportan cargas importantes y se adaptan a diseños especiales. Los conectores de cortante auto-soldables, ofrecen la gran ventaja de ser instalados con una velocidad de tres a cuatro veces mayor que los conectores instalados con procesos de soldadura manual o convencional (Fisher, 1981).

Los conectores de cortante juegan un papel fundamental en la conformación de secciones compuestas transfiriendo los esfuerzos entre el concreto y el acero (Alvarez Valadez & Cházaro Rosario, 2010). El conector se suelda a los elementos de acero y queda embebido en el concreto creando un fuerte vínculo entre los dos materiales (Hernández Riesco, 2006).



Ilustración 1: Conectores de corte para losa

Fuente: Construcciones y Aceros S.A.

Conector de cortante tipo stud (perno auto soldado al patín superior de la viga y a través de lámina colaborante)

Uno de los ejemplos más comunes corresponde a las vigas de sección compuesta, en las que el conector permite que parte de la losa de concreto que ha sido instalada sobre las vigas de acero soporte las cargas en conjunto con el perfil metálico aumentando la rigidez del sistema y la capacidad resistente de la sección, con lo que es posible optimizar las secciones de acero que se requieren para soportar las cargas actuantes (NEC, 2015).

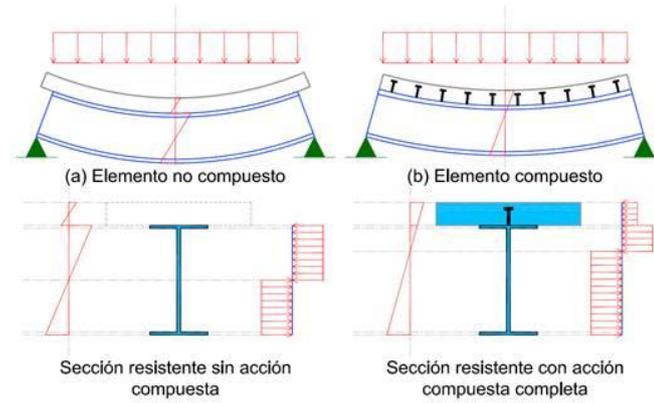


Ilustración 2 Comparación de vigas sin acción compuesta y con acción compuesta.

Fuente: Construcciones y Aceros S.A.

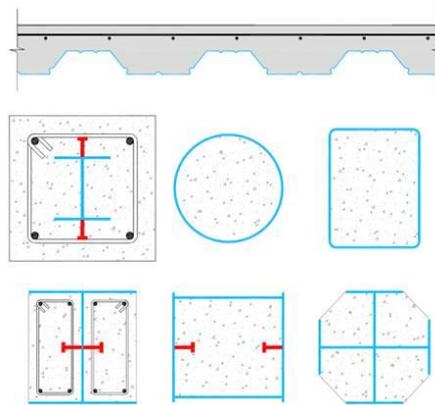


Ilustración 3 Secciones de columnas compuestas

Fuente: Construcciones y Aceros S.A.

Las ventajas de las construcciones compuestas son numerosas entre las que se puede mencionar:

1. La reducción en el peso de la estructura de acero, hasta en un 30%.
2. Reducción de los costos en la cimentación al emplear una estructura menos pesada.
3. Reducción de deflexiones por cargas vivas, muertas y sobre impuestas.

4. Vigas de menor altura que pueden reducir la altura de la edificación y disminuir los costos en fachadas, ascensores y escaleras en edificios de varios pisos.
5. Posibilidad de aumentar las luces entre apoyos, generación de entrepisos más (American Society of Civil Engineers, 2010).

Las desventajas de este tipo de construcción son muy pocas; sin embargo, el uso de los conectores implica un aumento en los costos de obra al requerir un subcontratista e incluir una labor adicional de instalación de conectores en el programa de ejecución de obras, que puede llegar a no ser considerado una desventaja, teniendo en cuenta que existe la posibilidad de instalarlos con un proceso industrializado, utilizando conectores tipo stud instalados como pernos autosoldables. El contratista debe tener experiencia y mano de obra calificada en la construcción de sistemas compuestos y en el caso de utilizar pernos autosoldables, se necesitan altos requerimientos de energía eléctrica, para cumplir los requisitos de amperaje y voltaje necesarios para soldar en obra (Alvarez Valadez & Cházaro Rosario, 2010).

2.1.4.4 Conexiones en acero estructural

Las conexiones son las uniones mediante conectores mecánicos o soldadura, de los miembros de una estructura para obtener un conjunto resistente que transmita las cargas a la fundación. Es de suma importancia el tipo de unión que se utilice, ya que de ello depende en gran parte el buen funcionamiento de la misma (West Arco, 2015).

La selección del tipo de unión a usarse para una estructura específica implica considerar muchos factores, entre los que se mencionan los requisitos de normas vigentes de construcción, economía relativa, preferencias del proyectista, disponibilidad de personal calificado en soldadura, condiciones de carga (estática o de fatiga), preferencias del fabricante y equipo disponible, es complejo definir un

conjunto de reglas a seguir en cuanto a la selección del mejor tipo de conexión para una estructura dada (NEC, 2015).

2.2 Soldadura

La soldadura es la forma más común de conexión del acero estructural y consiste en unir dos piezas de acero mediante la fusión superficial de las caras a unir, con o sin aporte de material agregado. El material agregado o material de aporte de mayor resistencia que el material de los elementos que se deben unir. (Manual de Arquitectura en Acero, 2010).

Para conservar sus propiedades mecánicas y químicas el calor debe alcanzar a fundir las caras expuestas a la unión, para lograr soldaduras de mayor resistencia capaces de absorber los esfuerzos que con frecuencia se presentan en los nudos. La soldadura destaca por su rigidez, costo y por la limpieza y acabado que se consigue en sus estructuras (NEC, 2015).

Para evitar errores se deben evaluar las condiciones ergonómicas del trabajo del soldador, las condiciones del clima, entre otros aspectos (Altos Hornos de México, 2013). En la actualidad se recomienda concentrar las uniones soldadas en trabajos en el taller y hacer las conexiones emperradas en obra.

2.2.1. Tipos de conexiones o soldadura

Para analizar los tipos de soldadura en estructuras metálicas se explicará en detalle la soldadura por arco eléctrico. Esta corresponde a uno de los procesos más utilizados en la actualidad, en la que se genera un arco voltaico entre la pieza a soldar y la varilla del electrodo que maneja el operador que produce temperaturas de hasta 3.000°C (Monroy, 2013).

Los materiales que revisten el electrodo se funden con retardo, lo que genera una protección gaseosa y neutra en torno al arco eléctrico, eso evita la oxidación del material fundido a tan alta temperatura, este proceso puede hacerse con

diferentes procesos. Dentro de esta categoría se encuentran otros tipos de conexiones o soldaduras, de las que se hablará a continuación (Monroy, 2013).

a) Soldadura por arco metálico revestido (Shielded Metal Arc Welding):

Consiste en un alambre de acero consumible, cubierto con un revestimiento que se funde bajo la acción del arco eléctrico generado entre su extremo libre y la pieza a ser soldada, el alambre soldado constituye el metal de relleno que llena el vacío entre las partes, soldándolas (NEC, 2015).

b) Soldadura por arco metálico protegido por gas (Gas Metal Arc Welding):

Es el proceso más popular y difundido en la industria, puede utilizarse con todos los metales comerciales importantes, como los aceros al carbono y de aleación, inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio (NEC, 2015). Casi todos los tipos de hierro y acero pueden unirse con este procedimiento, el hierro libre de carbono y los aceros al bajo carbono y baja aleación, los aceros de alta resistencia enfriados por inmersión y templados, los hierros y aceros cromados o niquelados, y algunos de los aceros llamados de superaleación (Cary, Howard B., & Scott C. Helzer, 2005).

Es un proceso de soldadura por arco en que este se establece entre un electrodo metálico continuo de aporte y el charco de soldadura de metal base. La protección se obtiene por completo de un gas suministrado externamente.

Este proceso también es conocido como MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas) –dependiendo si se entrega protección con gases inertes o activos.

En GMAW se emplea un alambre continuo, sólido y desnudo, que tiene las funciones de servir como electrodo y como metal de aporte, y al no haber revestimiento como en el caso del proceso SMAW ni fundente adicionado externamente como el proceso SAW, no se forma una capa de escoria, sino una

película vítrea ligera. El metal depositado y los aleantes son suministrados completamente por el metal de aporte y al no haber agentes limpiadores ni fundentes, se requiere cuidados y limpieza adecuados para obtener soldaduras libres de poros y otras discontinuidades.

A pesar de ser un excelente método aplicado a escala mundial, parte del sector desconoce todas sus características y propiedades, de hecho, algunos soldadores cometen errores de fácil corrección, inclusive existe confusión generalizada respecto al nombre; falsamente la industria conoce esta soldadura como MIG, pero la verdad, este sistema sólo es una de las dos formas de aplicar el proceso (Cary, Howard B., & Scott C. Helzer, 2005).

- c) **Soldadura por arco sumergido (Sumerged Arc Welding):** Este método fue desarrollado de manera simultánea en Estados Unidos y Rusia en la década de los 30; y constituye uno de los métodos más difundidos universalmente, dentro de la categoría de métodos de soldadura que emplean electrodo continuo (NEC, 2015).

El SAW, por sus siglas en inglés, corresponde a un proceso automático en el que un alambre desnudo es alimentado hacia la pieza. Se caracteriza porque el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente, provisto desde una tolva, que se desplaza delante del electrodo. De esta manera el arco resulta invisible, lo que constituye una ventaja pues evita el empleo de elementos de protección contra la radiación infrarroja y ultravioleta, que son imprescindibles en otros casos (NEC, 2015).

Las corrientes en este proceso varían desde los 200 hasta los 2000 Amps; mientras que los espesores a soldar varían entre los 5 mm y hasta más de 40 mm. Usualmente se utiliza corriente continua con electrodo positivo, cuando se trata de intensidades inferiores a los 1000 amperes, reservándose el uso de corriente alterna para intensidades mayores, a fin de evitar el fenómeno conocido como soplo magnético (Monroy, 2013).

De esta manera el proceso se caracteriza por sus elevados regímenes de deposición y es normalmente empleado cuando se trata de soldar grandes espesores de acero al carbono o de baja aleación.

Principales ventajas del S.A.W:

- Este proceso permite obtener depósitos de soldadura de propiedades comparables o superiores al metal base.
- Soldaduras homogéneas.
- Soldaduras de buen aspecto y penetración uniforme.
- No se requieren protecciones especiales.

Principales aplicaciones del SAW:

El sistema de soldadura automática por Arco Sumergido, permite la máxima velocidad de deposición de metal, entre los sistemas utilizados en la industria, para producción de piezas de mediano y alto espesor (desde 5 mm. aprox.) que puedan ser posicionadas para soldar en posición plana u horizontal: vigas y perfiles estructurales, estanques, cilindros de gas, bases de máquinas, fabricación de barcos, etc. (Monroy, 2013).

2.2.2 Pruebas de soldadura

Las pruebas de soldadura representan una parte muy importante dentro del procedimiento de construcción de estructuras metálicas. Por ello la normativa vigente es muy específica sobre las evaluaciones que se necesitan hacer, con el propósito de evitar fallas que se dan en los montajes y que ocasionan pérdidas de tiempo y dinero en el momento de ser detectadas (Klas, 2003).

La detección oportuna de las discontinuidades, defectos e imperfecciones de los cordones de soldadura puede marcar la diferencia entre uniones seguras y aquellas potencialmente riesgosas o susceptibles de siniestralidad, por ello la realización de ensayos no destructivos para verificar el estado de la soldadura y de las piezas a las que pertenece, se ha convertido en una de las prácticas más utilizadas en la actualidad (Hernández Riesco, 2006).

Para inspeccionar las uniones y piezas soldadas, se toma una muestra para realizar “ensayos no destructivos” END, que posibilitan la detección de discontinuidades y aportan al estado y la calidad de los cordones de soldadura. De esta manera las pruebas de soldadura se realizan con tecnología de inspección de última generación, ya que se emplean tratamiento computarizado de imágenes para obtener altas probabilidades de detección, registros permanentes y auditables (Niebles & Arnedo, 2009).

Los END se realizan mediante la aplicación de pruebas como ondas electromagnéticas, acústicas y elásticas, emisión de partículas subatómicas y capilaridad, entre otras, se consideran no destructivos, no alteran las propiedades físicas, químicas y mecánicas del acero, entre las pruebas de soldadura más utilizadas están: ultrasonido, tinta penetrante, radiografía. a continuación, se habla en mayor detalle de ellas (NEC, 2015) .

2.2.2.1 Inspección visual (VT – Visual Test)

El método de inspección visual, consiste en una prueba mandatoria para verificar los estándares de la soldadura. De esta manera se pretenden detectar fallas que pudieran existir sobre la superficie de un depósito de soldadura o en su material base. El VT es un método sencillo, accesible y de bajo costo, pero requiere personal altamente capacitado para ejecutarlo (West Arco, 2015).

La Inspección Visual es un excelente recurso para el control del proceso de unión por soldadura, para evitar problemas posteriores de fabricación y evaluar el desempeño del personal de soldadura (ANSI/AWS B1. 11, 2000).

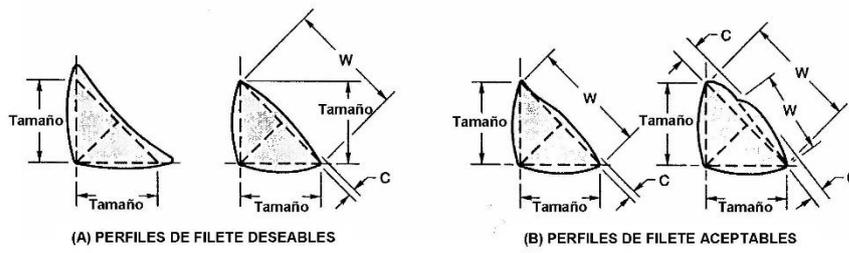
Criterio de Aceptabilidad para Inspección Visual

Categoría de la discontinuidad y criterio de inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas ciclicamente	Conexiones tubulares (todas las cargas)						
(1) Prohibición de Grietas cualquier grieta es inaceptable independientemente de su tamaño y localización.	X	X	X						
(2) Fusión Metal Base / Soldadura deberá existir fusión completa entre capas adyacentes de metal de soldadura y entre metal de soldadura y metal base.	X	X	X						
(3) Sección Transversal del Cráter Todos los cráteres deberán ser rellenados hasta proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de soldaduras de filete intermitentes mas allá de su longitud efectiva.	X	X	X						
(4) Perfiles de Soldadura Los perfiles de soldadura serán de acuerdo con lo especificado en 5.24	X	X	X						
(5) Tiempo de Inspección La inspección visual de soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de que las soldaduras terminadas se hayan enfriado a temperatura ambiente. El criterio de aceptabilidad para aceros ASTM A 514, A 517 y A 709 Grado 100 y 100 W, deberá estar basado sobre una inspección visual realizada en no menos de 48 hrs. Después de la terminación de la soldadura.	X	X	X						
(6) Soldaduras de Menor Tamaño El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua, podrá ser menor que el tamaño nominal especificado (L) sin corrección en las siguientes cantidades (U):									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">L</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">U</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Tamaño de soldadura nominal especificado (mm)</td> <td style="text-align: center;">Reducción permisible de L (mm)</td> </tr> </table>	L	U	Tamaño de soldadura nominal especificado (mm)	Reducción permisible de L (mm)	X	X	X		
L	U								
Tamaño de soldadura nominal especificado (mm)	Reducción permisible de L (mm)								
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">Menor o igual que 5</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Menor o igual que 2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">Menor o igual que 2.5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">igual o mayor que 8</td> <td style="text-align: center;">Menor o igual que 3</td> </tr> </table>	Menor o igual que 5	Menor o igual que 2	6	Menor o igual que 2.5	igual o mayor que 8	Menor o igual que 3			
Menor o igual que 5	Menor o igual que 2								
6	Menor o igual que 2.5								
igual o mayor que 8	Menor o igual que 3								
En todos los casos, la porción de menor tamaño no deberá de exceder del 10% de la longitud de la soldadura. En soldaduras alma a patín de vigas, ninguna reducción es permitida en los extremos en una longitud igual a dos veces el ancho del patín.									
(7) Socavado (A) para materiales menores que 25 mm de espesor, el socavado no deberá exceder de 1 mm, excepto que un máximo de 2 mm es permitido para una longitud acumulada de 50 mm en cualquier longitud de 300 mm. Para materiales iguales o mayores que 25 mm de espesor, el socavado no deberá de exceder de 2 mm en cualquier longitud de soldadura.	X								
(B) en miembros primarios, el socavado no será mayor que 0.25 mm de profundidad cuando la soldadura es transversal a los esfuerzos de tensión bajo cualquier condición de diseño de carga. Para todos los otros casos, el socavado no será mayor que 1 mm.		X	X						
(8) Porosidad (A) soldaduras de ranura en uniones de penetración completa transversales a la dirección de los esfuerzos de tensión calculados, no deberán tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de ranura y filete, la suma de porosidad tubular visible de un diámetro de 1 mm o mayor, no deberá exceder de 10 mm en cualquier longitud de soldadura de 25 mm y no deberá de exceder de 19 mm en cualquier longitud de soldadura de 300 mm	X								
(B) la frecuencia de porosidad tubular en soldaduras de filete, no deberá de exceder de una en cada 100 mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá de exceder de 2.5 mm. excepción: para soldaduras de filete conectando atiezadores al alma, la suma de los diámetros de porosidad tubular no deberá de exceder de 10 mm en cualquier longitud de soldadura de 25 mm y no deberá de exceder de 19 mm en cualquier longitud de soldadura de 300 mm		X	X						
(C) soldaduras de ranura en uniones de penetración completa, transversales a la dirección del esfuerzo de tensión calculado, no deberán tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de ranura, la frecuencia de porosidad tubular no deberá de exceder de una en cada 100 mm de longitud de soldadura y el diámetro máximo no deberá de exceder de 2.5 mm.		X	X						

Una X indica aplicabilidad para el tipo de conexión; un área sombreada indica no aplicabilidad

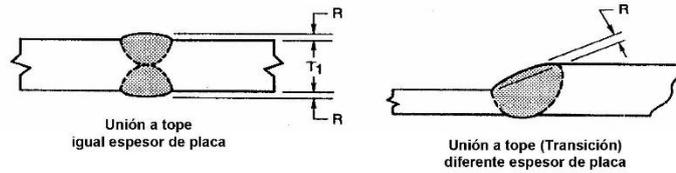
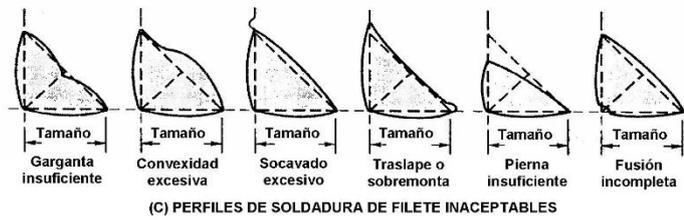
Tabla 4: Criterios de Aceptabilidad para Inspección Visual

Fuente: Tabla 6.1 (AWS D1.1, 2010)



Nota: la convexidad de una soldadura C, o la superficie individual del cordón con dimensión W, no deberán exceder el valor de la siguiente tabla:

Ancho de la cara de la soldadura o superficie individual del cordón, W	Convexidad máxima, C
W menor o igual a 8 mm	2 mm
W mayor de 8 mm a W menor de 25 mm	3 mm
W igual o mayor de 25 mm	5 mm



Nota: el refuerzo R, no deberá de exceder de 3 mm (ver 5.24.4).



Ilustración 4: Perfiles de soldadura Aceptables e Inaceptables

Fuente: Figura 5.4 (AWS D1.1, 2010)

2.2.2.2 Ultrasonido

El END de ultrasonido es una vibración mecánica con un rango mayor al audible por el oído humano que se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en Hertz con ayuda de un aparato creado para ese fin. Este ensayo utiliza ondas acústicas de alta frecuencia no perceptibles por el oído humano, para detectar imperfecciones en los cordones de soldadura (Baldomir , Plaza, Isis, & Ignoto, 2005).

Esta es una prueba altamente efectiva, ya que posibilita la detección de discontinuidades superficiales y aquellas que se encuentran ubicadas a gran profundidad. Se realiza mediante la utilización de un cristal piezoeléctrico inserto dentro de un palpador, que transmite una onda ultrasónica que viaja a través de toda la pieza inspeccionada (Rojas Cruz & Armijos Galarza, 2015).

La falencia es detectada cuando dicha onda incide con una superficie límite, ya sea un borde o discontinuidad, que se refleja y es detectada por el cristal piezoeléctrico, a su vez, emite una señal eléctrica amplificada en forma de eco y se registra en el equipo de medición. Este eco que debe ser regulado tanto en amplitud como en posición, para que pueda ser interpretado como registro de alguna discontinuidad (NEC, 2015).

2.2.2.3 Tinta penetrante

La prueba de tinta penetrante se utiliza básicamente para detectar discontinuidades en materiales sólidos no porosos como lo son el acero inoxidable, aluminio y sus aleaciones: cobre, bronce y latón; además, es uno de los métodos no destructivos más usados en la inspección de soldadura y sus acabados (Niebles E. , 2007).

Este método se basa en el principio físico conocido como capilaridad 1, mediante la aplicación sobre la superficie a inspeccionar, por inmersión, brocha,

pincel o pulverización, de líquidos de baja tensión superficial que penetran los poros y son retenidos en las discontinuidades y fisuras (Niebles E. , 2007).

Este método es una de las pruebas de soldadura más económica, fácil de aplicar, no requiere equipos complejos ni altas tecnologías, bajo costo, inspecciona la totalidad de la superficie de la pieza, sin importar su geometría ni tamaño, y de manera inmediata detecta y revela los defectos u errores de la estructura de acero. Puede aplicarse de forma automatizada o manual (NEC, 2015).

Sin embargo, esta prueba también presenta limitaciones, ya que no puede usarse en materiales porosos, en superficies o piezas pintadas o con algún tipo de recubrimiento protector, pues existe el riesgo de afectar el material o el recubrimiento con los líquidos (Rosero Peñafiel, 2010).

2.2.2.4 Radiografía

Los rayos Gamma, o rayos “X”, tienen la propiedad de atravesar los materiales opacos sin reflejarse ni refractarse, para producir una impresión fotográfica. Esta cualidad permite inspeccionar internamente los cordones de soldadura y la detección de los defectos como grietas, bolsas e inclusiones, entre otros, estas discontinuidades absorben las radiaciones en diferente proporción del material y generan contrastes “claro–oscuro”, que permite identificarlas fácilmente en las radiografías (Rosero Peñafiel, 2010).

Se sugiere que antes de comenzar un examen radiográfico, se examine el componente de manera visual, para eliminar los posibles defectos externos de la pieza, si la superficie de una soldadura es demasiado irregular, puede ser deseable pulirlo para obtener un acabado suave, pero esto es probable que sea limitado a aquellos casos en los que las irregularidades de la superficie pueden hacer difícil la detección de defectos internos (Cary, Howard B., & Scott C. Helzer, 2005).

Es necesario el examen visual para que el operador, tenga idea de las posibilidades de acceso a las dos caras de la soldadura, lo que es importante tanto

para la puesta en marcha de los equipos y de la elección de la técnica más adecuada. Los defectos tales como delaminación y grietas planas son difíciles de detectar mediante radiografía, la cual es la razón por ultrasonidos es el método preferido para la detección de este tipo de discontinuidad (West Arco, 2015).

2.2.2.3 Partículas magnéticas

El método de partículas magnéticas es uno de los más antiguos que se conoce para la inspección de materiales con propiedades ferromagnéticas; este utiliza el flujo magnético dentro de la pieza, para la detección de discontinuidades, logrando la detección de defectos superficiales y subsuperficiales, que pueden ser hasta 3 mm debajo de la superficie del material (Niebles E. , 2007).

Para la aplicación adecuada de este método se requiere el acondicionamiento previo de la superficie, al igual que en las Tintas Penetrantes, es muy importante, aunque no tan exigente y riguroso. Se necesita magnetizar la pieza a inspeccionar, aplicar las partículas magnéticas y evaluar las indicaciones producidas por la agrupación de las partículas en ciertos puntos (NEC, 2015).

Para la magnetización se puede utilizar un banco estacionario, un yugo electromagnético, electrodos o un equipo portátil de bobina flexible, entre otros, se utiliza los diferentes tipos de corrientes (alterna, directa, semi-rectificada, etc.), según las necesidades de cada inspección, antiguamente se usaba imanes permanentes, ya que en éstos no es posible controlar la fuerza del campo y son muy difíciles de manipular (Portorreal, 2012).

2.2.3 Defectos de soldadura

La soldadura puede presentar un sin número de defectos, a continuación, se detallan los más relevantes para el presente trabajo de investigación (West Arco, 2015).

- a) **Porosidad:** La porosidad es un defecto común de la soldadura, pero también bastante fácil de corregir. Es visible en forma de gas atrapado, ya que los gases de protección o gases emitidos son absorbidos en el metal fundido y emitidos conforme ocurre la solidificación (Benoît, 2010).

La porosidad tiene niveles aceptables, es poco frecuente que se considere un defecto serio, dependiendo del código o estándar de soldadura, la porosidad podría ser causa de un rechazo de la soldadura, este defecto que tiene una tasa de prevención de aproximadamente 90 por ciento (NEC, 2015).

- b) **Agrietamiento:** Este defecto ocurre por la presencia de esfuerzos multidireccionales localizados que en algún punto rebasan la resistencia máxima del metal, las grietas se abren durante la soldadura o como resultado de esta, generalmente solo es aparente una ligera deformación de la pieza de trabajo, al enfriar una junta soldada, hay más probabilidades de que ocurra agrietamiento cuando el material es duro o frágil, el material dúctil soporta concentraciones de esfuerzo que pudieran ocasionar falla en un material duro o frágil (Millán Gómez, 2006).

- c) **Agrietamiento del metal de la soldadura:** El agrietamiento del metal de la soldadura tiene más probabilidades de ocurrir en la primera capa de soldadura que en cualquier otra parte y de no repararse continuará pasando a las demás capas al ir siendo depositadas (Rosero Peñafiel, 2010). Cuando se encuentra el problema de agrietamiento de la primera capa de metal de la soldadura, pueden lograrse mejoras aplicando uno o más de las siguientes modificaciones:

- Modificar la manipulación del electrodo o las condiciones eléctricas, lo que cambiará el contorno o la composición del depósito.

- Disminuir la rapidez de avance, para aumentar el espesor del depósito, aportando con ello más metal de soldadura para resistir los esfuerzos que se están generando.
- Auxiliarse con precalentamiento, para modificar la intensidad del sistema de esfuerzos que está imponiendo (NEC, 2015).

d) **Penetración incompleta:** Ocurre cuando el metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz de la soldadura, puede ser ocasionada porque la cara de la raíz de la soldadura de ranura no alcance la temperatura de fusión a toda su altura, o porque el metal de la soldadura no llega a la raíz de una soldadura de filete, y deje el hueco ocasionado por el puenteo del metal de la soldadura desde un miembro al otro (Ashby, 2002).

La penetración incompleta puede deberse en unos cuantos casos a la falta de disolución de los óxidos e impurezas de la superficie, las condiciones de transmisión de calor que existen en la junta son una fuente más frecuente de este defecto (FEMA 350, 2000).

e) **Socavamiento:** Se emplea este término para describir, varias imperfecciones como lo son la eliminación por fusión de la pared de una ranura de soldadura en el borde de una capa o cordón, con la formación de una depresión marcada en la pared lateral en la zona a la que debe unirse por fusión la siguiente capa o cordón; o la reducción de espesor en el metal base, en la línea en la que se unió por fusión el último cordón de la superficie (Chan Pozo & Serrano Valarezo, 2005).

El socavamiento en ambos casos se debe a la técnica empleada por el operador. Ciertos electrodos, una corriente demasiado alta, o un arco demasiado largo, pueden aumentar la tendencia al socavamiento (NEC, 2015).

2.3 Normativa ecuatoriana de la construcción (NEC)

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda mediante Acuerdo Ministerial número 0047 del 10 de enero de 2015, publicado en el Registro Oficial N°413, dispuso la aplicación obligatoria en todo el país de 10 capítulos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC. Norma elaborada mediante el Convenio de Cooperación Interinstitucional suscrito en el 2008 entre el MIDUVI y CAMICON (NEC, 2015).

En este trabajo participaron profesionales, investigadores, docentes de varios Centros de Educación Superior del país, consultores nacionales y extranjeros, Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y Organismos Internacionales. Luego de la actualización de los seis capítulos que estuvieron vigentes en el año anterior y la inclusión de cuatro adicionales, entran en aplicación obligatoria los siguientes:

1. Cargas (No sísmicas)
2. Cargas Sísmicas y Diseño Sismo resistente
3. Rehabilitación sísmica de estructuras
4. Estructuras de Hormigón Armado
5. Estructuras de Mampostería Estructural
6. Geotécnia y Cimentaciones
7. Estructuras de Acero
8. Estructuras de Madera
9. Vidrio
10. Viviendas de hasta dos pisos con luces de hasta 5m

Esta normativa representa para el Ecuador, un medio idóneo para mejorar la calidad de las edificaciones y sobre todo para proteger la vida de las personas. Su aplicación incidirá directamente sobre el impulso al desarrollo tecnológico de la construcción (NEC, 2015).

Este es un logro más de la Cámara de la Industria de la Construcción y del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en su aporte al desarrollo del país.

Para el presente trabajo de investigación, se dará especial énfasis al Capítulo 5, que trata sobre todo lo relacionado al uso de acero, procedimiento y estándares de calidad, con el fin de abordar todo sobre Disposiciones Sísmicas para Edificios de Acero Estructural, el diseño, la fabricación y el montaje de los elementos de acero estructural y conexiones de los Sistemas Resistentes a Cargas Sísmicas (SRCS) y empalmes y bases de columnas que no son parte del SRCS, en edificios y en otras estructuras diseñadas, fabricadas y montadas de una manera similar a los edificios con elementos resistentes a carga lateral y vertical como en edificios (AISC, 2003).

2.4 Norma para la certificación de inspectores de soldaduras de la AWS

La Asociación Americana de Soldadura, (AWS por sus siglas en inglés, American Welding Society) es la asociación donde nacen las normas que definen los requisitos y el programa para certificar a inspectores de soldadura, mismos que han sido desarrolladas a través de un proceso consensuado.

El inspector de soldadura debe estar totalmente familiarizado con los procesos y procedimientos de soldadura, las calificaciones de los soldadores, los materiales, las limitaciones de los ensayos de soldadura y debe ser capaz de leer planos, preparar y mantener registros, preparar y redactar informes y realizar evaluaciones responsables (ANSI/AWS B1. 11, 2000).

Para que los inspectores de soldadura sean eficaces, las actividades que realicen deberían ser coherentes con los requisitos y los principios técnicos y éticos.

2.5 Niveles de certificación y credenciales

Existen tres niveles de certificación de la AWS para el personal de inspección de soldaduras y credenciales específicas. Estos niveles se definen de la siguiente forma:

- a) Inspector de soldaduras certificado senior (SCWI), una persona certificada por la AWS cumple los requisitos de calificación establecidos en 5.3, 6.1 y

6.2 de AWS B5.1, Especificación para la calificación de inspectores de soldaduras y 5.2 de esta norma.

- b) Inspector de soldaduras certificado (CWI), esta certificación de la AWS que cumple los requisitos de calificación establecidos en 5.2, 6.1 y 6.2 de AWS B5.1, Especificación para la calificación de inspectores de soldaduras.
- c) Inspector de soldaduras asociado certificado (CAWI). Una persona certificada por la AWS que cumple los requisitos de calificación establecidos en 5.1, 6.1 y 6.2 de AWS B5.1 (Normas AWS, 2010).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Planteamiento de la hipótesis

Para el presente trabajo de investigación se plantean dos hipótesis:

1. Los errores existentes en las estructuras de acero, generan cambios en el comportamiento de las piezas y por consecuencia en la infraestructura donde son montadas.
2. La oportuna detección de estos errores durante la etapa de diseño y fabricación puede impedir que ocurran daños mayores en la etapa posterior de montaje de la estructura.

3.2 Diseño de la investigación

Para el presente trabajo de titulación se desarrolló investigación de campo de tipo exploratorio, ya que el análisis de los errores en las piezas que forman las estructuras de acero no es muy mencionado ni analizado, pese a su la importancia y relevancia, las estructuras de acero forman parte de todas las obras civiles que hay en nuestro entorno y que cada día son más utilizadas.

Las diferentes técnicas constructivas nos exigen reforzar el conocimiento sobre los errores presentes en el momento de la soldadura y conformación de las piezas de acero, este estudio muestra la viabilidad de la identificación de errores y posibles soluciones.

Desde que se ha utilizado el acero ha existido mejoras continuas en los procesos de detallamiento, como por ejemplo los refuerzos de las columnas, los que han sido mejorados agregando una mayor cantidad de detalles internos que permiten una mejor comprensión del elemento al fabricante.

3.3 Población y muestra

Para el presente trabajo de investigación se toman muestras en tres obras, dos en la ciudad de Guayaquil y otra en Milagro, con diferentes contratistas metálicos. Las características de las obras analizadas son:

1. Centro empresarial de oficinas y locales comerciales



- Edificio principal de 7 pisos:
- Uso: oficinas y locales comerciales
- Área: 6.664,82 m²
- Peso: 403.512,66 kg
- Duración; 6 meses.
- Locales Comerciales
- Uso: Locales Comerciales
- Área: 605,30 m²
- Peso: 61.982,94 kg
- Duración: 2 meses

Ilustración 5: Edificio Principal Obra 1

Fuente: Autor

2. Edificio de 8 pisos para bóvedas.

- Uso: Bóvedas
- Área: 7.500 m²
- Peso: 724.000,00 kg
- Duración: 12 meses

3. Edificio de 2 pisos

- Uso: Salas de velación y oficinas
- Área: 1.342,00 m²
- Peso: 68.258,78 kg
- Duración: 2 meses



Ilustración 6: 2. Edificio de 8 pisos para bóvedas. 2. Edificio de 2 pisos / Salas de Velación.

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Nº	PROBLEMA ANALIZADO	SOLUCIÓN	
		NORMA APLICADA	TIPO
1	Detalle incorrecto del agujero de acceso a la soldadura	FEMA 350 FIG 3.5, AWS D1.8 2009 FIG 6.2	Diseño
2	Detalle correcto, ejecución errónea del detalle de acceso a la soldadura	FEMA 350 FIG 3.5, AWS D1.8 2009	Diseño/Fabric.
3	Varillas de anclaje, doblez interior y longitud de soldadura insuficientes	ASCI GD1, ACI 318-14 TABLA 25.3.1	Diseño
4	Varillas de anclaje, lext mínima	ACI 318-14 TABLA 25.3.1	Diseño
5	Soldadura de tapón en varillas de anclaje	AWS D1.1 2010, AWS D1.4 2005	Diseño
6	Choque de varillas de anclaje con armadura de dado	ACI 318-14 CAP 25	Diseño
7	Inversión de diagonales cercha metálica	AISC 360-10	Fabricación
8	Ausencia de conectores de corte en columnas metálicas	AISC 360-10 SEC. I6	Fabricación
9	Soldadura incompleta en atiesadores interiores	AWS D1.1 2010	Fabricación
10	Empates excesivos y cercanos en columnas y vigas	NEC 2015 SEC 7.4	Fabricación
11	Distribución de Steel panel	MANUAL METALDECK, MANUAL SDI	Montaje
12	Placa de cortante PC: Inversión, Soldadura incompleta	ASIC 358-10 CAP 8	Montaje
13	Choque entre espigas y conectores de corte de columnas	ACI 318-14 CAP 25	Montaje - Diseño
14	Uso correcto de platinas de respaldo en unión viga-columna	AISC 358-10 CAP 3	Montaje

Tabla 5: Listado de problemas y normas aplicadas para solucionarlos

Fuente: Autor

Problemas de Diseño.

4.1 Agujero de acceso a la soldadura. Detalle sísmico

Este problema se puede dividir en dos posibles situaciones:

- Detalle incorrecto por parte del ingeniero a cargo del diseño estructural
- Detalle correcto, pero ejecución errónea por parte del fabricante.

Los agujeros de acceso a la soldadura frecuentemente se requieren durante la fabricación de componentes estructurales. La geometría de este detalle estructural puede afectar las prestaciones de los componentes (ANSI/AISC 341-10, 2010).

La medida y el tamaño de los agujeros de acceso para soldadura tienen como finalidad facilitar el depósito del material de aporte (soldadura), y también facilitar las inspecciones de pruebas no destructivas NDT (AWS D1.8/D1.8M, 2009).

Problema # 1

Caso a: Detalle incorrecto por parte del ingeniero a cargo del diseño estructural

Según el código (AISC 360-10), para zonas no sísmicas, la geometría del agujero de acceso de soldadura se debe realizar usando cualquiera de las tres alternativas presentes en el código como indica la ilustración 7. La alternativa 3 es común encontrarla plasmada en los planos estructurales, en Ecuador, para la construcción de edificios de acero.

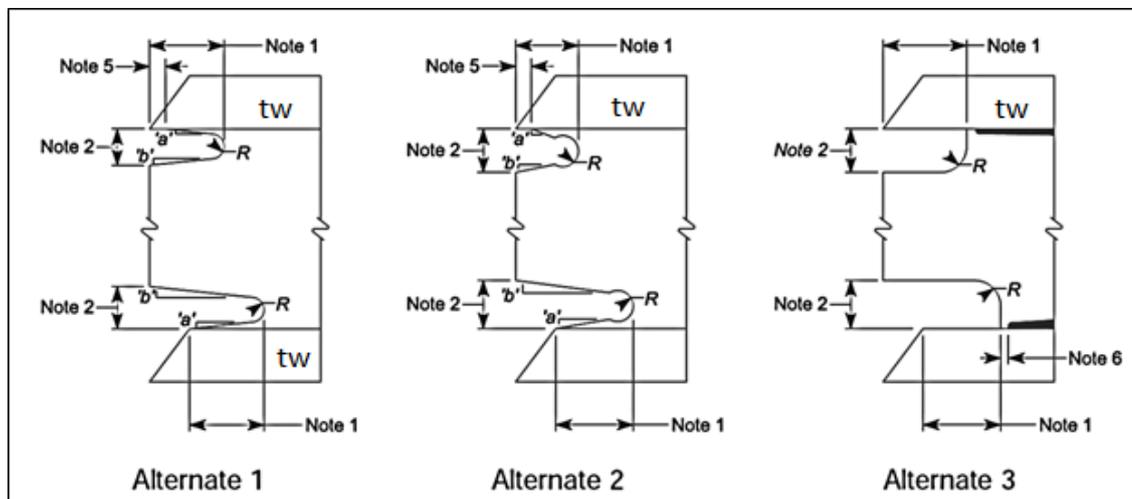


Ilustración 7: Geometría de agujero de acceso a soldadura.

Fuente: (ANSI/AISC 360-10, 2010)

Dónde de la ilustración 7:

- Nota 1. El mayor entre $1.5t_w$ o 38mm. Donde t_w es el espesor del patín.
- Nota 2. El mayor entre $1.0t_w$ o 19mm, pero no puede exceder de 50mm.
- R: 10mm, mínimo.
- La pendiente 'a' forma una transición desde el alma hasta el patín (ala)
- Nota 5. La parte inferior del patín superior debe permitir colocar la platina de respaldo, en el caso que sea necesaria.
- Nota 6. La soldadura alma-patín de elementos fabricados por flejes, debe terminar del borde del agujero de acceso a una distancia por lo menos el tamaño de la soldadura.

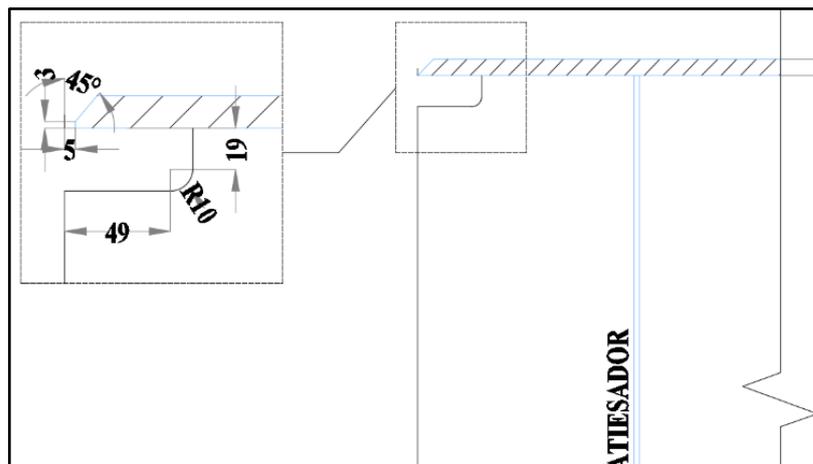


Ilustración 8: Agujero de acceso a la soldadura

Fuente: Autor

El problema principal de este detalle es que en la especificación AISC 360-10 no contempla la geometría del agujero de acceso para soldadura en zonas sísmicas, para este caso se debe revisar las especificaciones sísmicas (AISC-341-10) *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Dada la ubicación geográfica en la que se encuentra Ecuador (cinturón de fuego) es obligatorio tomar en consideración las especificaciones sísmicas.

Solución #1:

En el presente trabajo se indicarán las pautas para el correcto dimensionamiento de este detalle estructural, ilustración 9, y además se detallará la geometría más adecuada del agujero de acceso para soldadura en patines de 8, 10, 12, 15 mm (espesores más usados en edificios). Ver ilustraciones 10 y 11.

Donde:

1. Ángulo del bisel 45° , según AWS D1.1.
2. El valor mayor entre t_w o 12mm. t_w = espesor del patín.
3. El valor mayor entre t_w o 19mm (± 6 mm)
4. Radio mínimo 10mm
5. $3 t_w$ (± 13 mm)
6. Rugosidad admisible 13 micras.

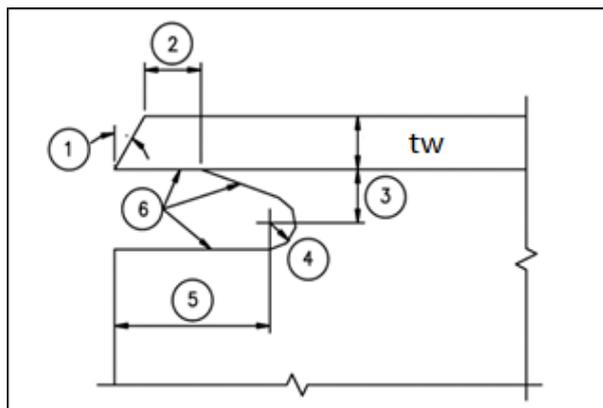


Ilustración 9: Detalle de Agujero de acceso para soldadura en zonas sísmicas

Fuente: (ANSI/AISC 341-10, 2010)

Las pruebas de laboratorio indican que este es el procedimiento apropiado para facilitar el acceso a la soldadura y disminuir el efecto de concentración de tensiones en la soldadura en la unión patín de viga-columna (FEMA 350).

Ilustración 10: Geometría de agujero de acceso para soldadura $t_f=8-10$ mm

Fuente: Autor.

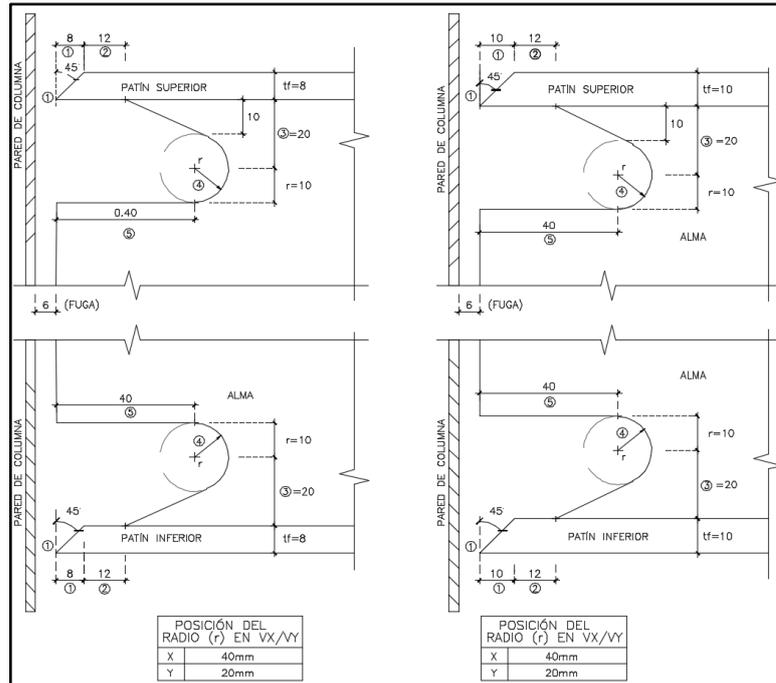


Ilustración 11: Geometría de agujero de acceso para soldadura $t_f=8-10\text{mm}$

Fuente: Autor

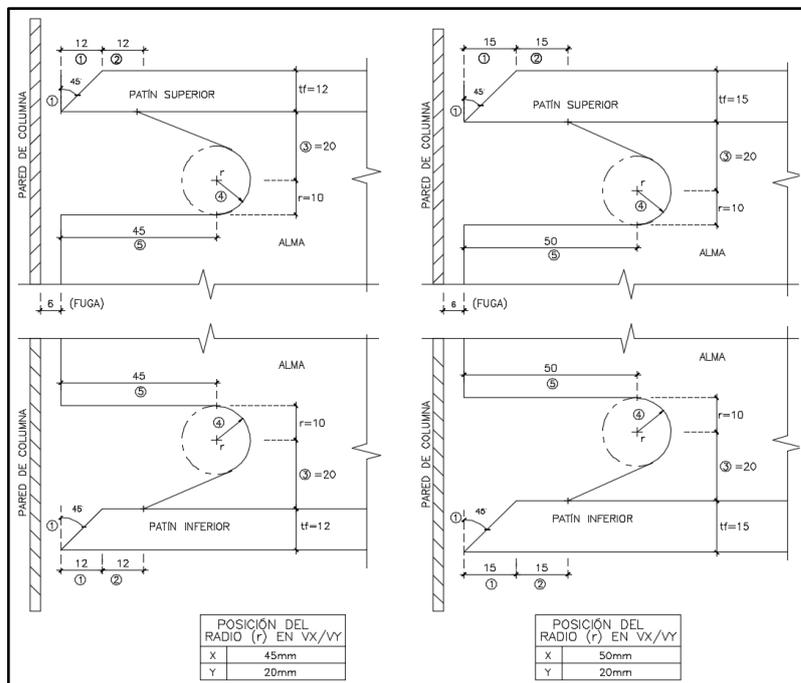


Ilustración 12: Geometría de agujero de acceso para soldadura $t_f=12-15\text{mm}$.

Fuente: Autor

Problema # 2

Caso b: Detalle correcto, pero ejecución errónea por parte del fabricante.

Este caso se presenta cuando la geometría de agujero de acceso para la soldadura es adecuada en los planos, según AISC 341-10, pero es ejecutado de manera errónea. A continuación, se presenta ejemplo.

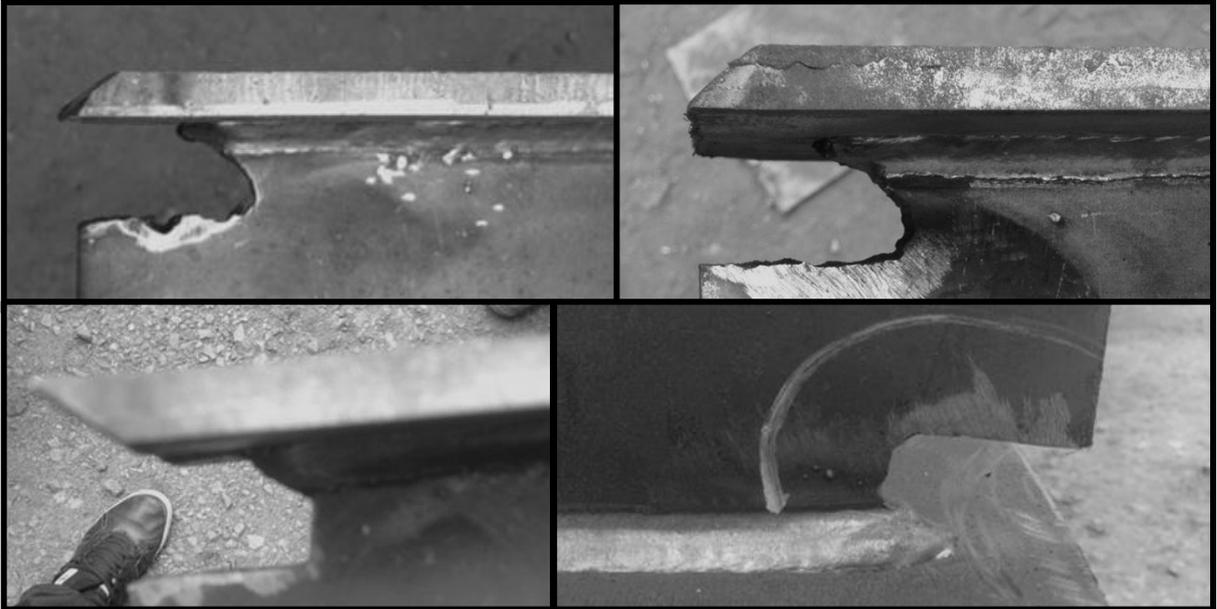


Ilustración 13: Agujero de acceso para soldadura ejecutado erróneamente.

Fuente: Autor

Según AISC 341-10, la rugosidad de los agujeros de acceso para soldadura no deberá exceder de 13 micras y deben estar libres de muescas y entalladoras.

Solución #2:

- a) Realizar con taladro la perforación central que servirá de guía para generar el radio de 10mm. Ubicar el centro del agujero y perforar con taladro al diámetro especificado.
- b) Utilizar disco y amoladora para los cortes rectos horizontales e inclinados.
- c) Limitar el uso de oxicorte para no exceder los límites de rugosidad, como muestra la ilustración 12.
- d) Realizar una plantilla guía en latón galvanizado de espesor $e=1\text{mm}$, para la correcta ejecución del agujero de acceso de soldadura. Ver ilustración

4.2 Elementos de anclaje: Placa base y Varillas de anclaje

Tomando como referencia los requisitos del Steel Design Guide 1: Column Base Plates, del AISC, que de aquí en adelante la llamaremos Guía 1 de diseño en acero. En base a estos datos se examinarán detalles presentes en planos estructurales de edificios en la ciudad de Guayaquil, que contienen detalles estructurales con errores. Como aporte final se realizarán dos detallamientos cumpliendo con los requisitos establecidos en la Guía 1 de diseño de acero AISC (AISC, 2003).

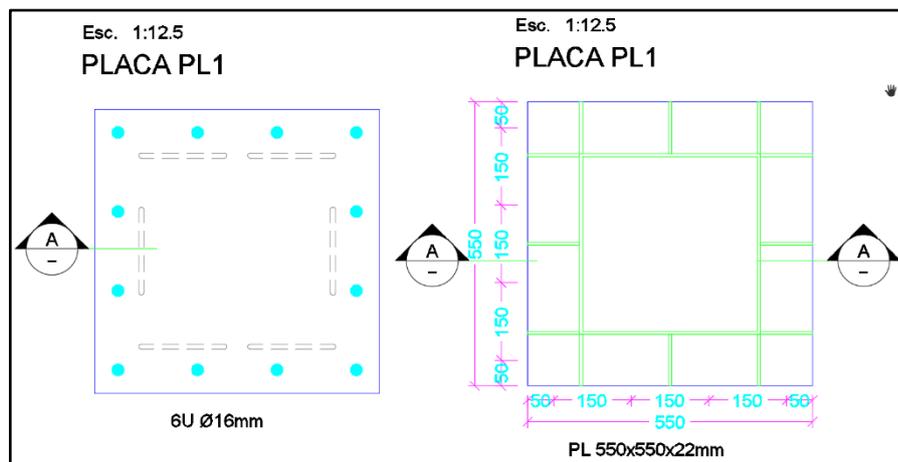


Ilustración 14 Vista en planta de placa de anclaje

Fuente: Autor

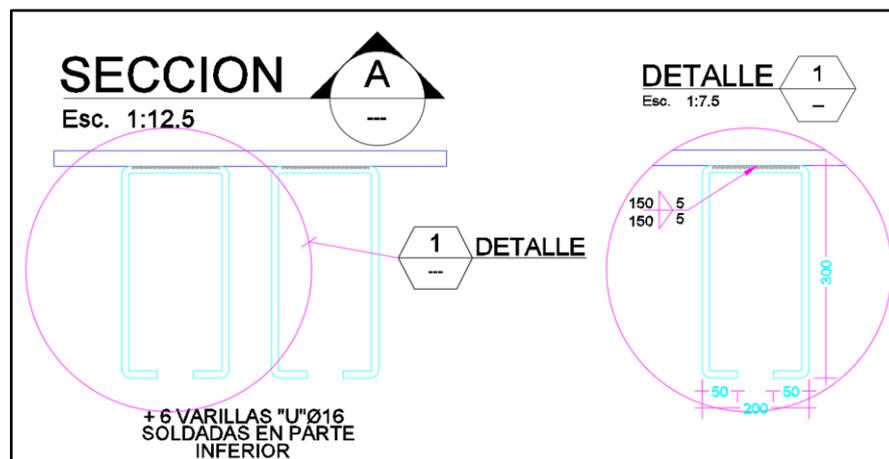


Ilustración 15: Sección de placa de anclaje

Fuente: Autor

En la imagen superior se observa un detalle de placa base, de PL550x550x22mm con 6 varillas de anclaje ‘U’ Ø 16x300mm.

Problema # 3

Bajo este apartado se analizará el doblado de las varillas en la parte superior, que para este caso específico es exagerado, incumpliendo lo establecido en las normas de construcción vigentes en el país.

Según la tabla 25.3.1 del ACI 318-14 el diámetro interior de doblado mínimo para varillas de Ø16 es de $6d_b$ equivalente a 96mm. Es decir que si se respetan esos parámetros se obtiene un radio de doblado (r_d) igual $3d_b$. La longitud efectiva de soldadura sería la siguiente: $(\text{distancia entre varillas} - 2(r_d + d_b)) = 200\text{mm} - 8d_b = 200 - 128 = 72\text{mm}$. Lo que es inferior a los 150mm que se indica en el detalle, resultando físicamente imposible de cumplir.

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
	No. 29 a No. 36	$8d_b$		
	No. 43 y No. 57	$10d_b$		

Tabla 6: Geometría del gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción
Fuente: (ACI 318, 2014).

Problema # 4

El problema #4 se refiere al gancho a 90° en la parte inferior que sería imposible de realizar en una longitud de 50mm ya que según ACI 318-14 indica una longitud de ℓ_{ext} mínima debe ser $12d_b = 16\text{mm} \times 12 = 192\text{mm}$ ocasionando que las varillas se choquen, como muestra la ilustración 15.

ℓ_{ext} = extensión recta en el extremo de un gancho estándar, mm

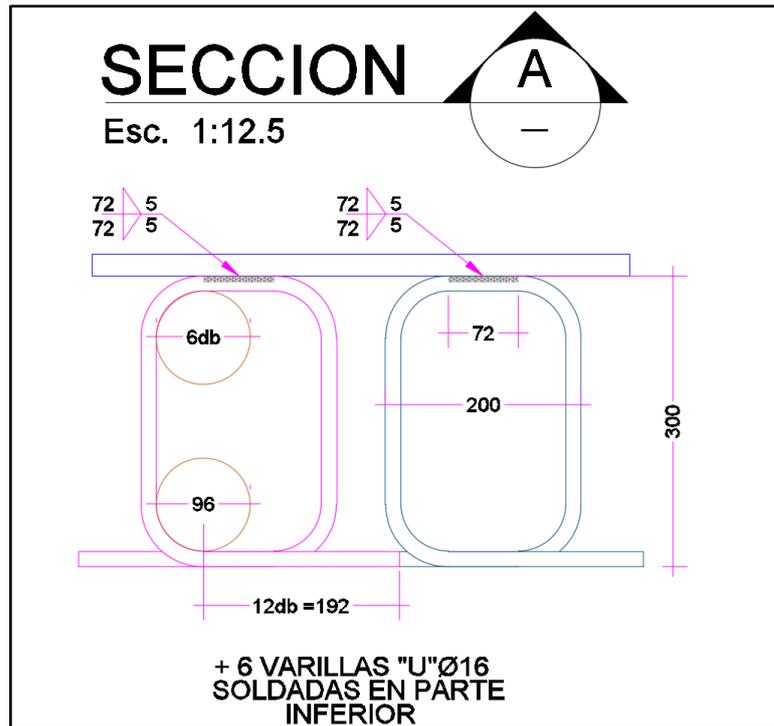


Ilustración 16: Choque de varillas

Fuente: Autor

Se debe recalcar que la guía 1 de diseño en acero indica que la sujeción entre la varilla y la placa base sea de tipo empernada (anchor bolts), principalmente, para garantizar de forma segura el anclaje y evitar el volteo de la columna durante la construcción. También son necesarios cuando la placa está sometida a grandes valores de momento flector. Esto indica que la soldadura en la unión placa-varilla (6U Ø16x300mm) no es recomendada por AISC.

Solución #3 y 4:

Los anclajes en gancho (a) pueden fallar debido a los esfuerzos residuales que quedan en las varillas durante el proceso de doblado, más aún si se realizan con radios de doblaje insuficientes, a menos que se tomen precauciones en el gancho para asegurar un anclaje adecuado, caso contrario resultan inadecuados, por tal motivo deben ser usados sólo para columnas cargadas axialmente (Fisher, 1981).

Ø (mm)	D		Lext	H (cm)
	Mínimo	cm	K = 12 Ø (cm)	
16	6 Ø	9,6	19,2	25,6
18	6 Ø	10,8	21,6	28,8
20	6 Ø	12,0	24,0	32,0
22	6 Ø	13,2	26,4	35,2
25	6 Ø	15,0	30,0	40,0

Tabla 7: Diámetro mínimo de doblado y Lext

Fuente: Autor

El anclaje recomendado se forma usando pernos o varillas roscadas con una tuerca tal como se muestra en (b) y (c). Sólo es necesario proveer la profundidad de empotramiento adecuada y la distancia al borde. El mecanismo de falla es un cono de hormigón que irradia hacia el exterior de la cabeza del perno o tuerca. El uso de una arandela o placa extiende el cono, pero no añade significativamente al potencial de anclaje. Los pernos con cabeza no están a menudo disponibles en longitudes y diámetros requeridos para placas de base, en general, el diseñador debe especificar la varilla con extremos roscados y la provisión de una tuerca para el anclaje, como se muestra en la ilustración 17. (c). La tuerca inferior debe estar soldada a la varilla de modo que no gire cuando se aprieta la tuerca superior (Fisher, 1981).

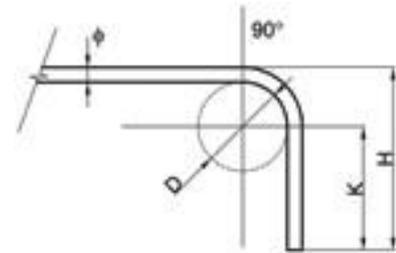


Ilustración 17: Detalle de doblado

Fuente: Adelca

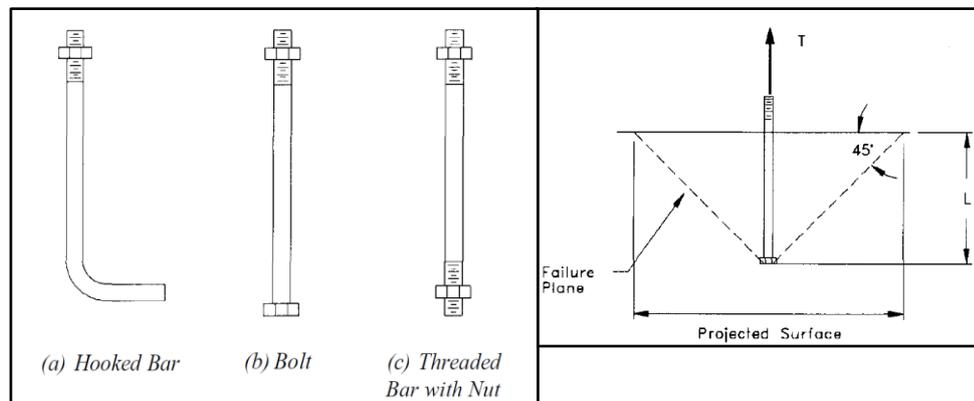


Ilustración 18: Tipos de anclaje al concreto - Cono de arrancamiento.

Fuente: (AISC, 2003) Guía para diseño numero 1

Shipp y Haninger (1983) han presentado directrices mínimas para el empotramiento de pernos y distancia al borde, adoptado de ACI 349.

Tipo de material del perno.	Mínima longitud embebida.	Mínima distancia desde el borde.
A307, A36	12 db	5 d > 4 in
A325, A449	17 db	7 d > 4 in

Tabla 8: Tabla de empotramiento mínimo

Fuente: AISC

Para varillas corrugadas a tensión con cabeza o tuerca. (Sección 25.4.4.2 ACI 318-14) l_{dt} debe ser la mayor de (a) hasta (c)

a. $l_{dt} = \left(\frac{0.19 * f_y * \psi_e}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) * db$ (en S. I.). f'_c no debe exceder de 40MPa.

b. $8db$

c. 150mm

l_{dt} = longitud de desarrollo en tracción de barras corrugadas con cabeza, medida desde la cara de apoyo de la cabeza hacia la sección crítica, en mm.

db = el diámetro de la varilla.

El autor recomienda el uso de la fórmula dada los ACI 318-14, teniendo en cuenta que es un criterio más actualizado.

		Longitud de anclaje l_{dt} de las barras con cabeza*					
Tamaño de la barra (mm)	Tamaño de la barra No.	f' c (Hormigón de peso normal), psi, (Barras de acero Grado 60 sin revestimiento) (in-cm)					
		3000	4000	5000	21 Mpa	28 Mpa	35 Mpa
9,53	3	6,5	6,0	6,0	16,6	15,0	15,0
12,70	4	8,7	7,5	6,7	22,1	19,2	17,1
15,88	5	10,9	9,4	8,4	27,6	23,9	21,4
19,05	6	13,1	11,3	10,1	33,2	28,7	25,7
22,23	7	15,2	13,2	11,8	38,7	33,5	30,0
25,40	8	17,4	15,1	13,5	44,2	38,3	34,3
28,58	9	19,6	17,0	15,2	49,8	43,1	38,5
31,75	10	21,8	18,9	16,9	55,3	47,9	42,8
34,93	11	23,9	20,7	18,5	60,8	52,7	47,1
44,45	14	30,5	26,4	23,6	77,4	67,0	60,0
57,15	18	39,2	33,9	30,3	99,5	86,2	77,1

* La longitud de anclaje l_{dt} (incluyendo todos los factores de modificación aplicables) no debe ser menor que $8db$ ni menor que 6 in. 150mm

Tabla 9: Longitud de anclaje l_{dt} de las barras con cabeza

Fuente: Autor

Problema # 5

En las varillas de anclaje en placas base es común encontrar el detalle de soldadura tipo tapón. Esta soldadura según el AWS D1.1 es una soldadura de fijación diseñada para trabajar a corte y no a tracción.

En taller o en obra, por lo general se realiza este detalle con soldadura E70xx.

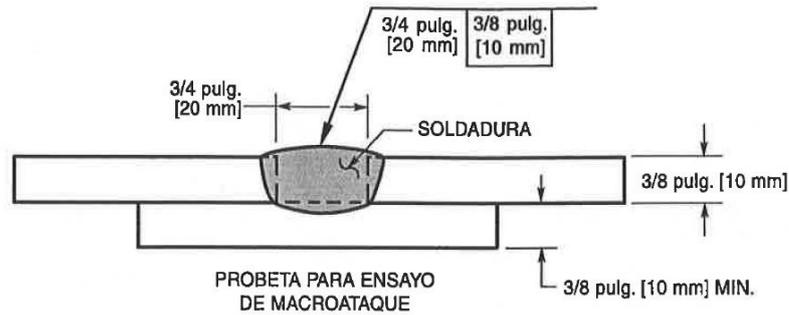


Ilustración 19: Soldadura Tapón.

Fuente: (AWS D1.1, 2010)

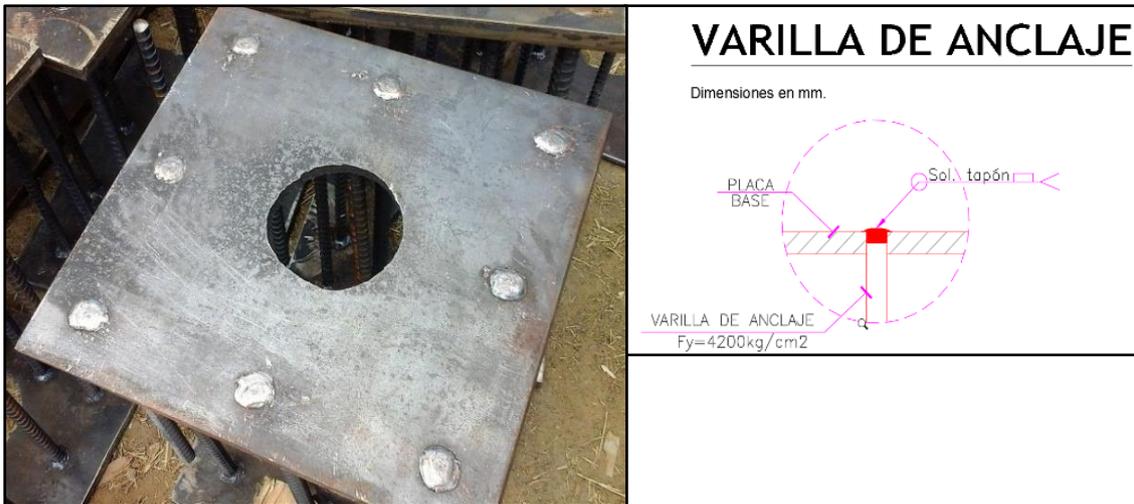


Ilustración 20: Soldadura Tapón en placas base

Fuente: Autor

Solución #5:

En placas base la soldadura debe ser de tipo estructural y trabajar a tracción. Para lograr esta función el autor recomienda que la varilla de anclaje atraviese la placa base y usar una soldadura de filete en la parte superior e inferior de la conexión. El espesor de la soldadura está en función al diámetro de la varilla, siempre es deseable que la resistencia de la soldadura sea superior a la resistencia a la tracción de la varilla.

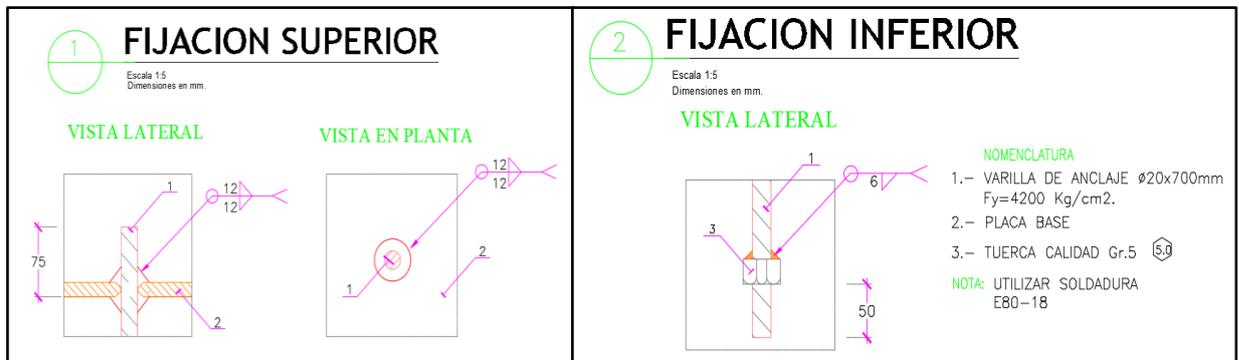


Ilustración 21: Detalle de varilla de anclaje soldada

Fuente: RAG Ingeniería Estructural.

El tipo de electrodo que debe usarse, según AWS D1.4, para soldar varillas refuerzo a placas base deber ser mínimo E80XX o también E90XX. Ver tabla 6

Norma	Proceso	Especificación del electrodo
ASTM A706 /INEN 2167	SMAW	E8015-X E8016-X E8018-X
ASTM A615 /INEN 102	SMAW	E9015-X E9016-X E9018-X

Tabla 10: Especificación de electrodos para acero de refuerzo

Fuente: (AWS D1.4, 2009)

Requisitos generales

Las juntas más utilizadas para soldar el acero de refuerzo a placa base.

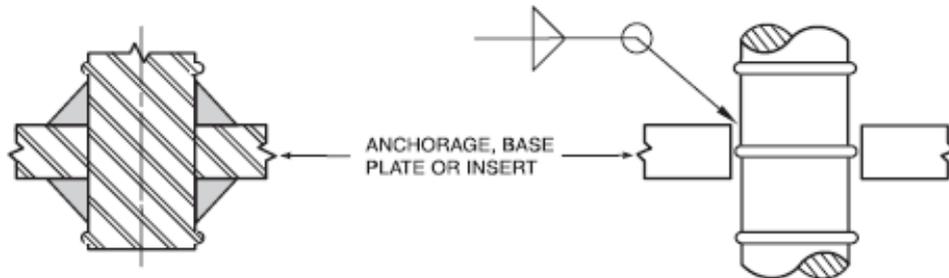


Ilustración 22: Soldadura Varillas de anclaje - Placa base

Fuente: AWS D1.4 2009

La junta soldada debe ser capaz de soportar al menos 1.25 la resistencia en fluencia del material base ($1.25F_y$). La resistencia mecánica del material de aporte debe ser, al menos, igual a la del material base. (AWS D1.4, 2009)

En el caso del uso de procesos SMAW (electrodo revestido), los revestimientos deberán ser de bajo Hidrógeno, para evitar la fragilización de la junta.

Condiciones básicas para obtener una buena unión soldada

1. Generación de Hoja de Proceso de Soldadura WPS, por parte de un ingeniero calificado en soldadura.
2. Calificar a los soldadores de acuerdo a AWS D1.4.
3. Preparación correcta del bisel en base al requerimiento de AWS D1.4.
4. Pre calentamiento de electrodos (*Eliminación de humedad*).
5. Calibración correcta del equipo de soldadura.
6. Pre calentamiento de la junta en caso de ser necesario, de acuerdo al requerimiento de AWS D1.4.
7. Limpieza de la junta luego de cada paso de soldadura.

8. Por ningún motivo se debe acelerar el enfriamiento de la misma con agua u otro medio.

Problema # 6

En ocasiones se da un choque de varillas de anclaje con las barras del armado del dado, incumpliendo con la separación mínima entre varillas (25mm) y causando que se presionen las varillas para hacerlas entrar en el espacio disponible. Como se muestra en la ilustración 22 las varillas forman una especie de cono al entrar a la fuerza en el armado del dado.



Ilustración 23: Choque de varillas de anclaje con el armado del dado

Fuente: Autor

Solución # 6

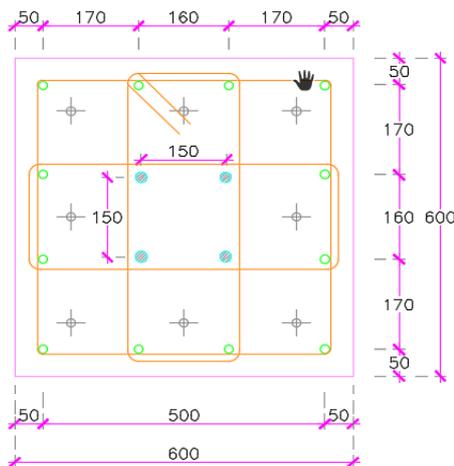


Ilustración 24: Superposición de armadura del dado y varillas de anclaje

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

En la fase de diseño se debe sobreponer en planta las varillas de anclaje y las del dado, para verificar que se cumplan el espaciamiento mínimo entre varillas 25mm según ACI 318-14 y no coincidan durante el montaje en obra. Respetar el espaciamiento mínimo permite realizar un mejor vaciado en obra, evitando vacíos en concreto y la concentración de barras en un mismo

Detalles tipo cumpliendo los requisitos de la Guía 1 de Diseño en Acero:

Placas de Anclaje

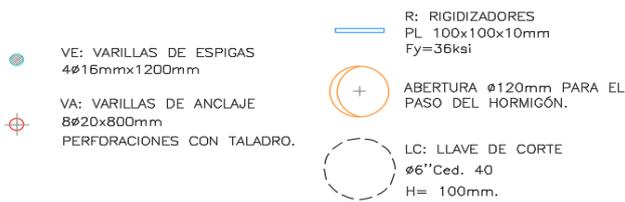
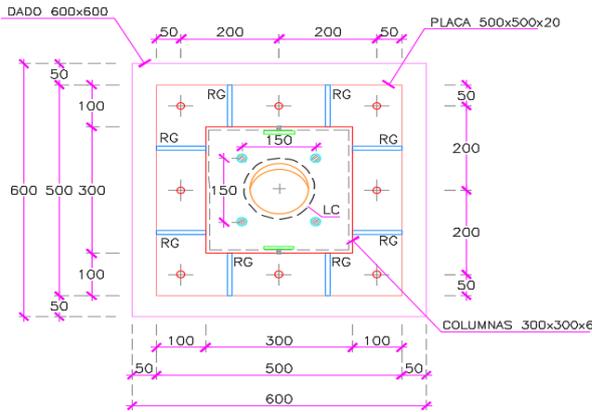
- a. Placa de anclaje PL 500x500x20mm con varillas roscadas en los dos extremos. Tuerca roscada en la parte superior y soldada en la parte inferior.

PLACA BASE - PB

Escala 1:10 Dimensiones en mm.

PL 500x500x20mm

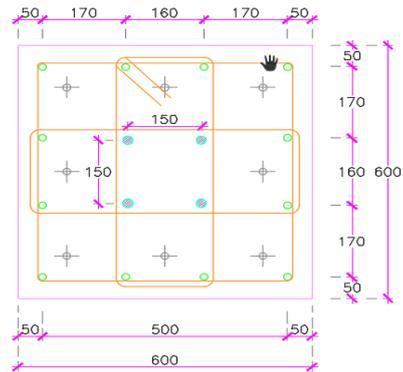
Fy=36 Ksi



DADO H.A.

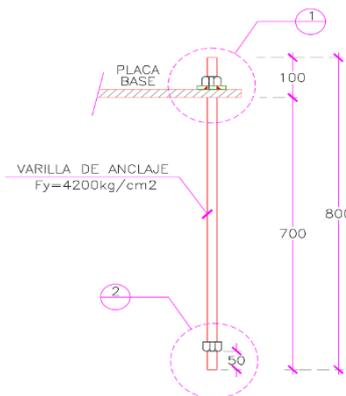
Escala 1:10 Dimensiones en mm.

600x600mm



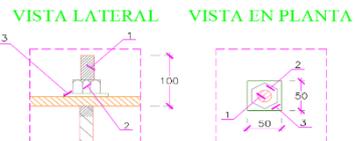
VARILLA DE ANCLAJE

Escala 1:10 Dimensiones en mm.



DETALLE 1

Escala 1:5 Dimensiones en mm.



DETALLE 2

Escala 1:5 Dimensiones en mm.

TUERCA INFERIOR VISTA LATERAL

NOMENCLATURA

- 1.- VARILLA CORRUGADA DE #20mm CON ROSCA ISO EN EXTREMO CON TUERCA Fy=4200 Kg/cm2.
- 2.- TUERCA AISI CALIDAD Gr. 5
- 3.- ANILLO PL. 50x50x6mm. Fy=36ksi

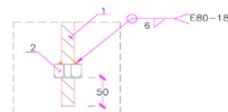


Ilustración 25: Detalle de Varillas de Anclaje con rosca

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

- b. Placa de anclaje PL 500x500x20mm con varillas roscadas sólo en el extremo inferior y soldadura CJP en la parte superior.

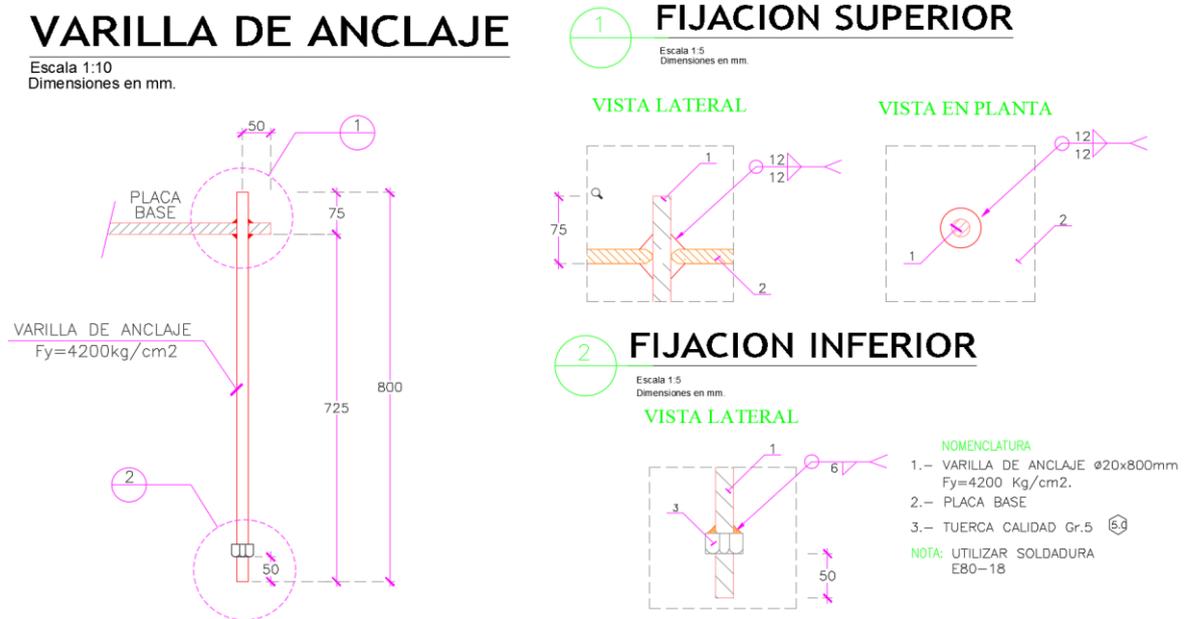


Ilustración 26: Detalles de Varilla de anclaje soldada

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

Problemas de fabricación.

4.3 Inversión de Diagonales en cerchas metálicas

La cercha es una estructura de barras rectas ensambladas entre sí en sus extremos para componer una armazón rígida de forma triangular, apto para soportar esfuerzos en su plano, específicamente aplicadas sobre las uniones denominada nodos (ilustración 26); en consecuencia, todas las piezas se encuentran trabajando a tensión o compresión sin la presencia de flexión y corte (Beer y Johnston, 2010).

La celosía que se analizará en este problema es de tipo Pratt sometida a cargas gravitacionales, donde sus diagonales están sometidas a tensión.

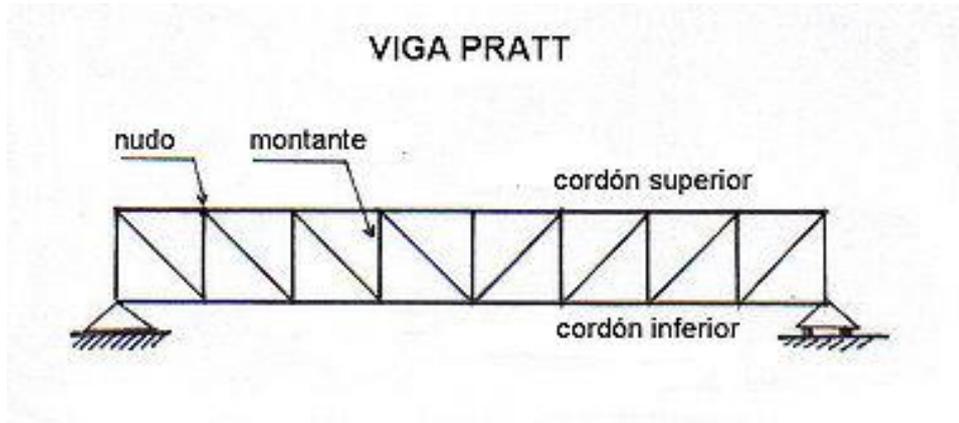


Ilustración 27 Viga en Celosía tipo Pratt.

Fuente: Autor

Problema # 7

Durante la fabricación de la cercha en obra las diagonales de las vigas VB han sido colocadas en forma inversa a lo indicado en los planos estructurales.

Esta inversión cambia radicalmente el comportamiento de esos elementos y los somete a esfuerzos para los que no estaban diseñados; las diagonales pasan de estar traccionadas a comprimidas y los verticales pasan de estar comprimidos a traccionados.



Ilustración 28: Foto de Estructura en obra. Con diagonales invertidas.

Fuente: Autor

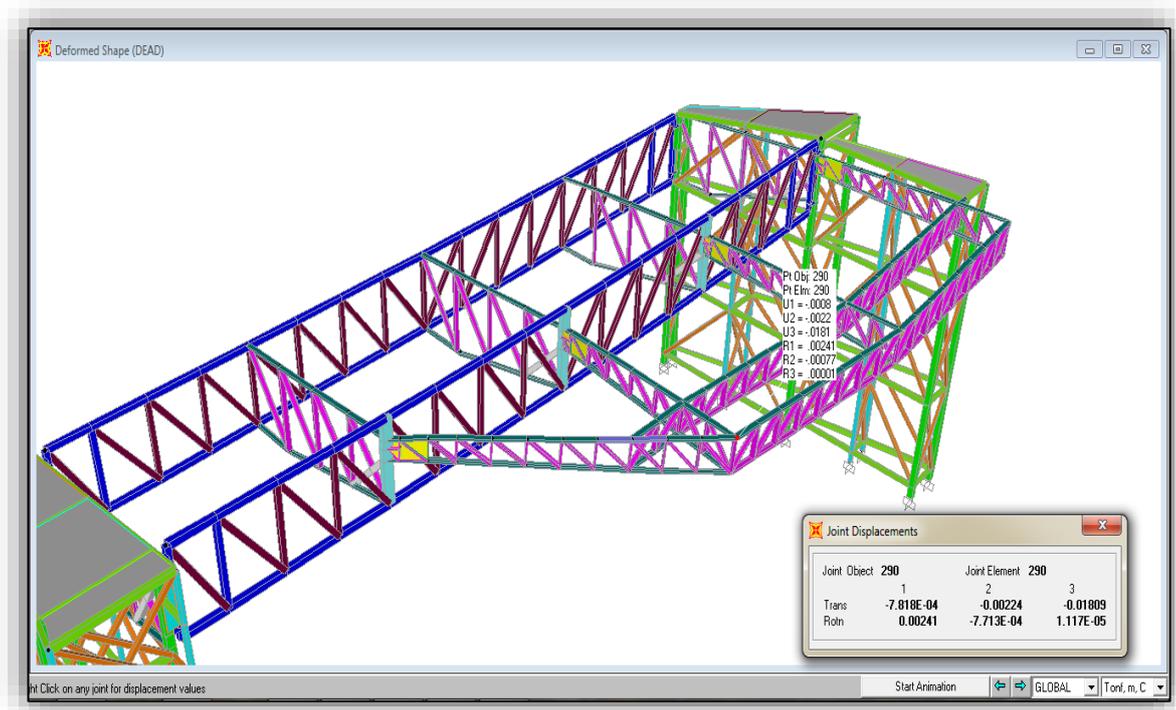


Ilustración 29: Modelo de la estructura en Sap2000

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

Solución #7:

La solución propuesta para este problema es una serie de actividades indispensables para lograr correctamente la fabricación, ejecución y montaje de una cercha metálica.

1. Planos generales de la estructura actualizados.
2. Planos de taller actualizados.
3. Planos de montaje actualizados.
4. Jefe de montaje y montadores capacitados.
5. Planificación de las fases de ejecución y montaje.
6. Estimación de pesos de piezas.
7. Capacidad de carga de grúas.
8. Herramientas y equipos en buen estado.

4.4 Ausencia de conectores de corte en las columnas metálicas

Problema # 8

Bajo esta sección se analizará el problema de la ausencia de conectores de corte en las columnas metálicas, por omisión en la fase de fabricación.

El constructor durante la fabricación, no se percató de la nota presente dentro de la nube en la ilustración 29 en la que indica que los conectores de corte van colocados a todo lo largo de la columna metálica con un espaciamiento de 0.30 m.

Es probable que sólo vio el dibujo el cuadro azul donde esta graficados sólo tres conectores y omitió la nota en rojo, quedando como resultado que únicamente se soldaron tres MC2 en el espacio libre entre los MC4.

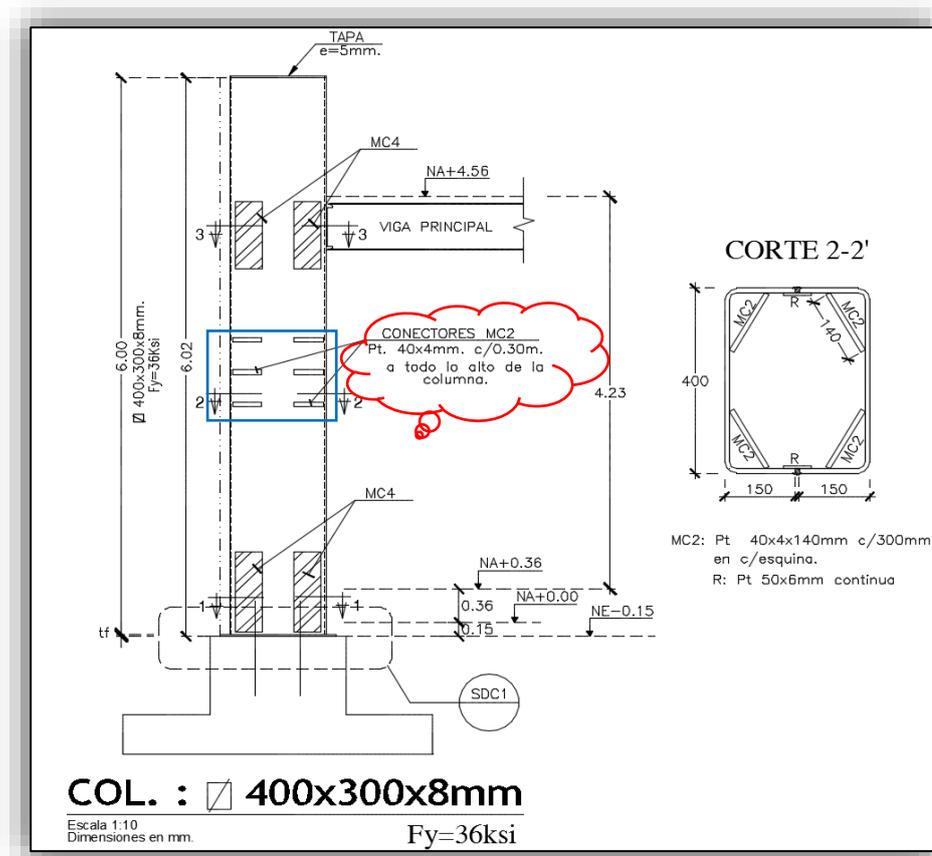


Ilustración 30: Distribución de conectores en columnas

Fuente: Autor



Ilustración 31: Fabricación de columnas sin conectores de corte

Fuente: Autor

Solución #8:

La solución propuesta al constructor fue la siguiente colocar varillas $\varnothing 12$ y 60mm de largo cada 0.3 m en las cuatro caras de la columna, en las zonas donde se habían omitido los conectores MC2 A continuación, se muestra el detalle y los pasos a seguir para solucionar este problema.

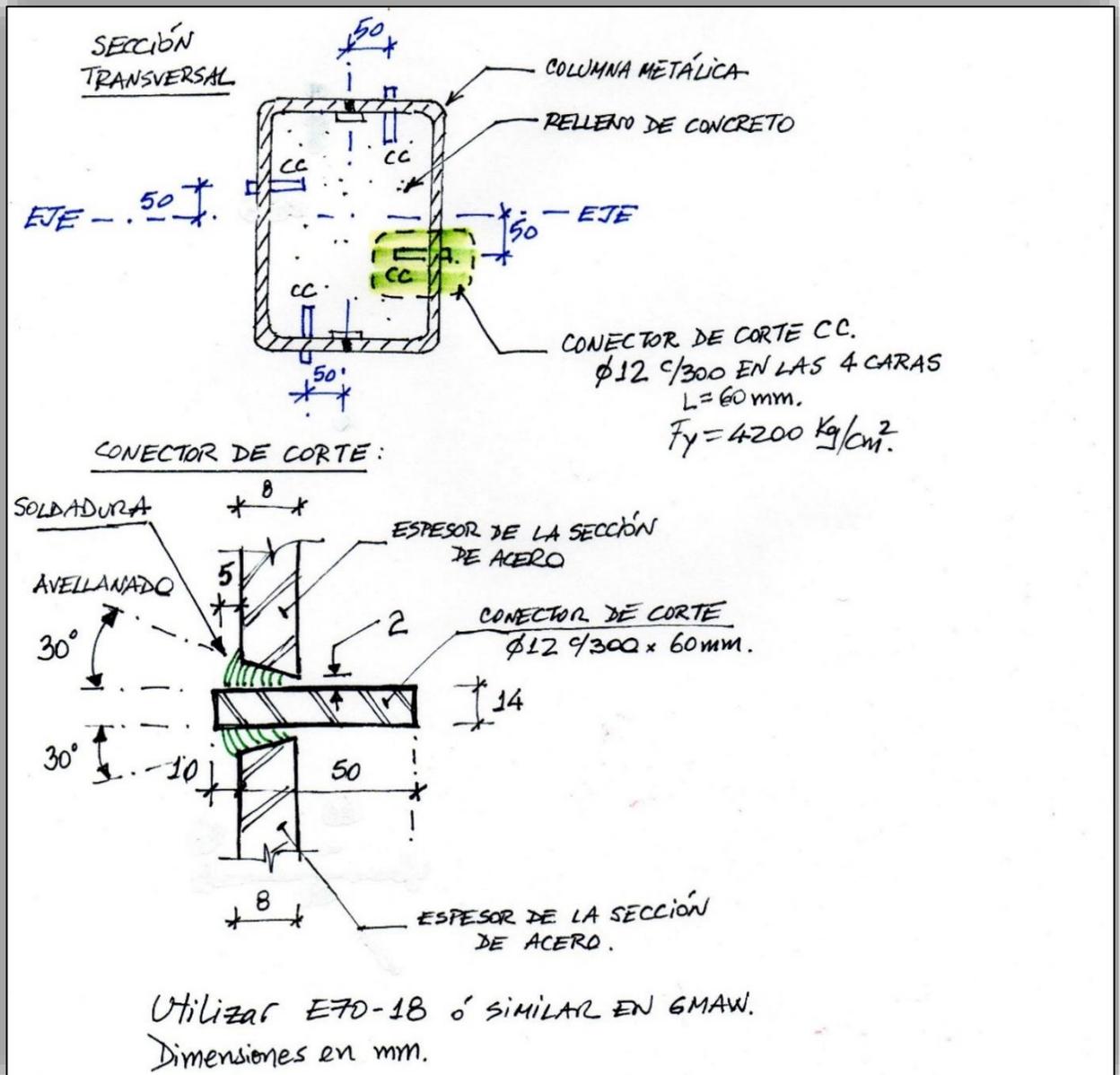


Ilustración 32: Solución a la ausencia de conectores de corte en columnas

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

Paso 1: Realizar la perforación con un taladro magnético y con una broca de 14mm



Ilustración 33: Perforación de cara de columnas con taladro magnético

Fuente: Autor

Paso 2: Realizar una segunda perforación avellanada con una broca de 18mm.



Ilustración 34: Avellanado en perforación.

Fuente: Autor

Paso 3: Soldar la varilla de $\varnothing 12$, que actuara como conector de corte, al fleje auxiliar de 10mm de espesor para garantizar que la varilla sobresalga 10mm sobre la cara de la columna y cumplir con el detalle de la ilustración 34.



Ilustración 35: Varilla de 12mm soldada a fleje auxiliar

Fuente: Autor

Paso 4: Insertar el conector de corte y puntear a las paredes del agujero para asegurar la ubicación.

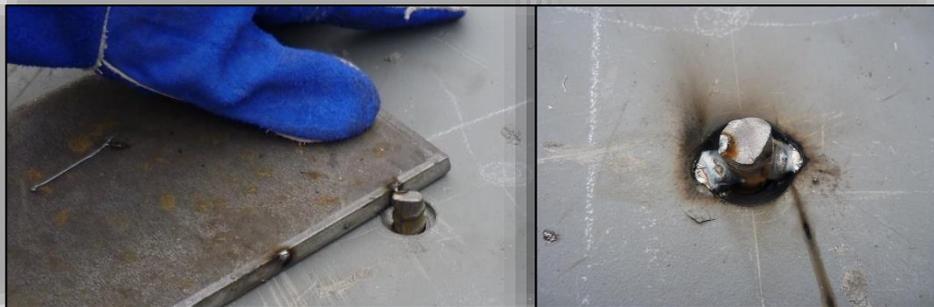


Ilustración 36: Soldadura de varilla de 12mm

Fuente: Autor

Paso 5: Soldar la varilla con un electrodo E8018 o un equivalente en proceso GMAW.



Ilustración 37: Soldadura GMAW

Fuente: Autor



Ilustración 38: Conectores de corte con varilla de 12mm. A) Vista externa de los conectores agregados
 B) Vista interna de los conectores agregados

Fuente: Autor

El resultado final después de realizar este proceso en todas las columnas con este problema será el que se muestra en la Ilustración 37.

4.5 Soldadura incompleta en atiesadores internos de nudo

Problema # 9

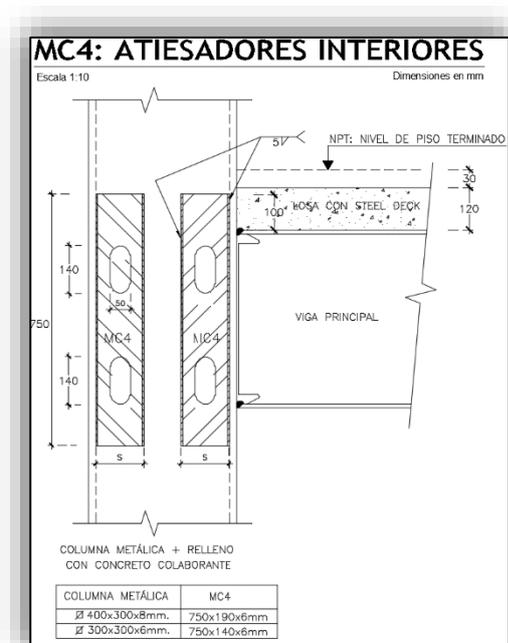


Ilustración 39: Atiesadores interiores de nudo.

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

El detalle de soldadura para los atiesadores interiores de nudos indica una soldadura en toda la longitud del fleje y con un espesor de 5mm, pero en este caso no se realizó la soldadura en toda su longitud. La soldadura ejecutada por el contratista fue de longitud 150mm en el inicio, mitad y final del fleje (ANSI/AISC 360-10, 2010).

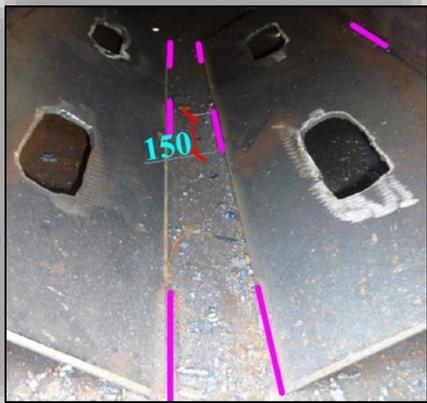


Ilustración 40: Soldadura incompleta.

Fuente: Autor

Los atiesadores MC4 se encuentran ubicados en los nudos Placa base-Columna y Viga-Columna como muestra la ilustración 41 y su función principal es evitar el pandeo local de los flejes de columna en las zonas cercanas a los nudos.

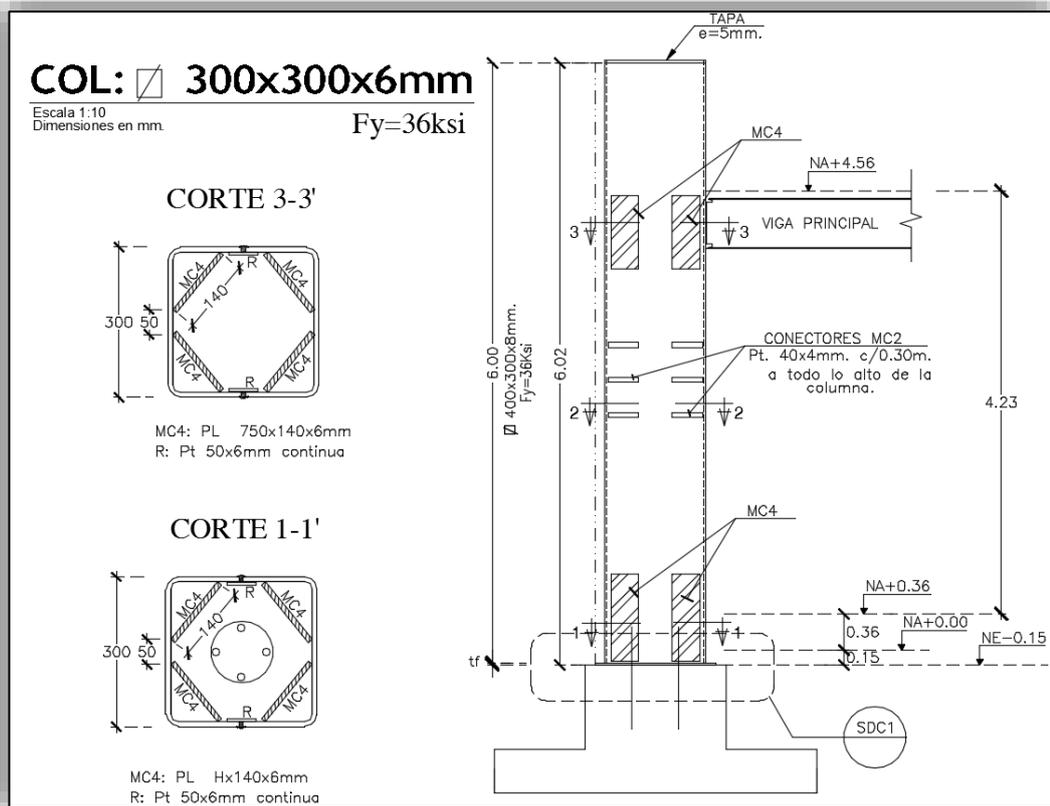


Ilustración 41: Ubicación de Atiesadores de nudo

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

Solución #9:

La solución implementada para este problema fue completar la soldadura en los atiesadores de nudo como indica el diseño estructural utilizando los siguientes pasos:



Ilustración 42: Soldadura completa de atiesadores

Fuente: Autor

4. Retirar la tapa de espesor 5 mm, en la parte superior de la columna
5. Realizar una limpieza en la zona de soldadura con una amoladora y un cepillo de disco.
6. Completar la soldadura en las zonas incompletas con un proceso SMAW o GMAW dependiendo las condiciones.
7. Realizar la limpieza post-soldadura y aplicar una capa de pintura de 25 micras para prevenir la corrosión.



Ilustración 43: Remover tapa superior

Fuente: Autor

4.6 Empates excesivos y cercanos en elementos estructurales.

Problema # 10



Ilustración 44: Empate cerca de nudo

Fuente:

Realizar empates excesivos o cercanos a los nudos (viga-columna y placa base-columna) es común durante el proceso de montaje y fabricación de columnas y vigas metálicas.

Muchas veces esta práctica ocurre con el afán de disminuir el consumo de perfiles y economizar, sin considerar las normas técnicas vigentes. Los empates cercanos en columnas y vigas generan zonas de soldadura frágil mismas que no se recomiendan que estén cercanos de los nudos, ya que estos sectores están sometidos a esfuerzos mayores como por ejemplo de cargas sísmicas.



Ilustración 45: Empates cercanos al nudo

Fuente: Autor

Las soldaduras de demanda crítica (SDC) descritas en NEC 2015 en el capítulo de acero 7.3 juntas soldadas, indican las siguientes soldaduras como ejemplo:

- Las soldaduras de ranura de penetración completa (SRPC) entre columnas y placas base así mismo los empalmes soldados de columnas.
- En pórticos especiales a momento:
 - a. Soldaduras de alas y almas de viga a columna.
 - b. Soldadura de placa cortante a columna.
- En pórticos arriostrados excéntricos (PAE):
 - a. Las SRPC entre las vigas de vínculo y las columnas.
 - b. Las soldaduras que conectan la placa del alma a las placas de las alas en vínculos armados.

Todas las soldaduras de demanda crítica deben cumplir las especificaciones indicadas en el anexo A del AWS D1.8 Código de soldadura estructural – Suplemento sísmico.

Solución #10:

En columnas la solución planteada para este problema es realizar los empalmes de manera intercalada. En las columnas esta solución permite que la soldadura no quede cerca de los nudos, placa-columna y columna-viga, para evitar que toda la soldadura este en un solo plano y prevenir una posible zona de falla.

Esta metodología sirve también para cumplir con los requisitos dispuestos en la norma ecuatoriana de la construcción vigente, en el capítulo 7.4 empalme de columnas (NEC 2015) donde indica que los empalmes de las columnas del SRCS deben estar localizados a mínimo 1.20 m de la unión viga – columna. Esa distancia puede ser menor en los siguientes casos:

- a. Cuando la altura libre entre conexiones viga – columnas es menor a 2.40 m los empalmes deben estar localizados a la mitad
- b. Cuando los empalmes de alas y alma son unidos por soldadura de ranura de penetración completa, pero no a una distancia menor que el peralte de la sección de la columna.



Ilustración 46: Columnas de 9m

Fuente: Autor



Ilustración 47: Ejemplo de empalmes para columnas.

Fuente: Autor

	DERECHO	IZQUIERDO	TOTAL
TRAMO 1	1	6	7
TRAMO 2	6	1	
TRAMO 1	1.5	6	7,5
TRAMO 2	6	1.5	
TRAMO 1	3	6	9
TRAMO 2	6	3	
TRAMO 1	4.5	6	10,5
TRAMO 2	6	4.5	

Tabla 11: Ejemplos de empalmes de columnas

Fuente: Autor

Usando una columna ensamblada de 9.00 m con los empalmes intercalados a 3 y 6 metros, es posible generar dos conexiones viga-columna, teniendo en cuenta las siguientes medidas: altura de la placa base al nivel de piso terminado 0.40 m y la altura de entre piso sea de 3.60 m de esta manera queda el emplame para la siguiente columna a una altura de 1.40 m. A continuación, se detalla la tabla 9 con ejemplos para realizar los empalmes en columnas.

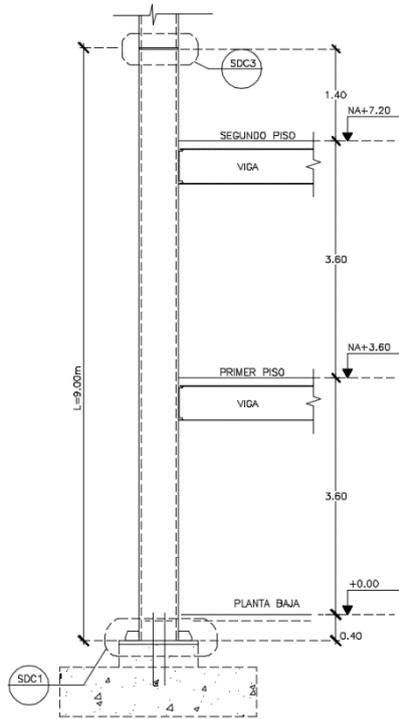


Ilustración 48: Ejemplo de columna de 9m

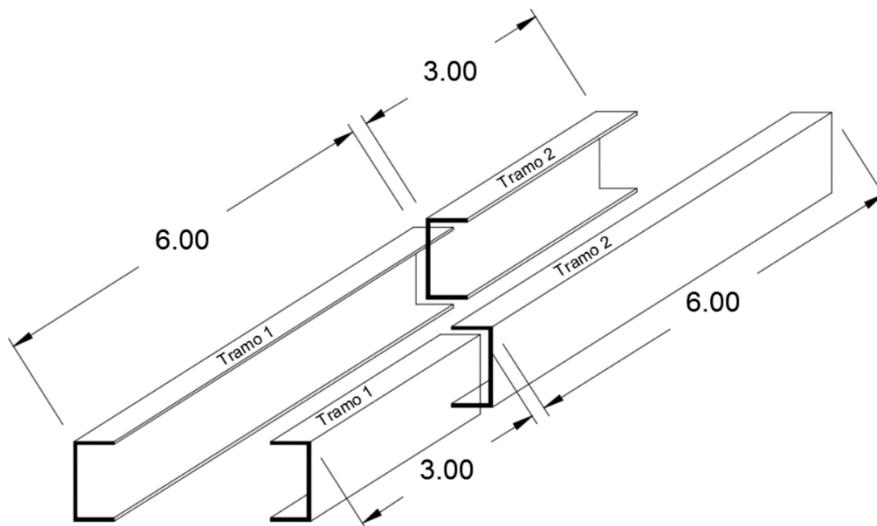


Ilustración 49: Ensamble de columnas

Fuente: Autor

Solución en Vigas metálicas.

En vigas la solución propuesta en esta investigación es la de realizar los empalmes intercalados con una distancia mínima de 1.5 veces el peralte de la viga para garantizar que la zona de soldadura quede fuera de la zona protegida.

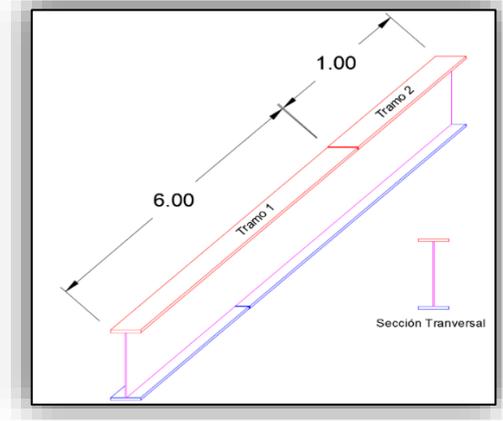


Ilustración 50: Ensamble de Vigas

Fuente: Autor

Bajo estos parámetros resulta importante considerar que las soldaduras de empalmes de columnas y vigas deben ser soldaduras de ranura de penetración completa (SRPC) como la ilustración 51.

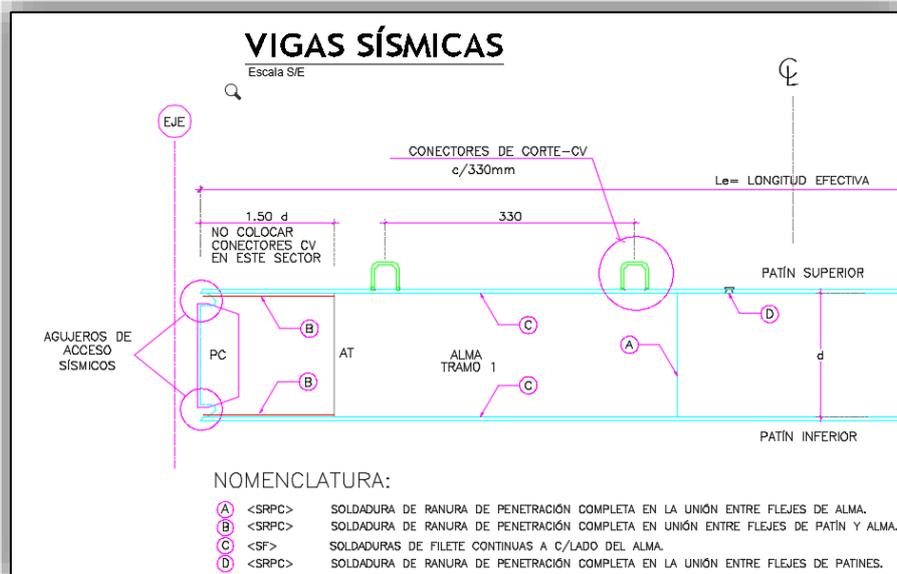


Ilustración 51: Detalle de Viga Sísmica

Fuente: RAG Ingeniería Estructural

Problemas de Montaje

4.7 Distribución de Steel Panel. Vigas Compuestas

Para garantizar la interacción entre la losa de concreto y las vigas metálicas, se generan las vigas compuestas. Se debe ubicar los llamados conectores de corte sobre las vigas metálicas para lograr un trabajo mecánico entre los dos materiales (Cassagne, 2009).

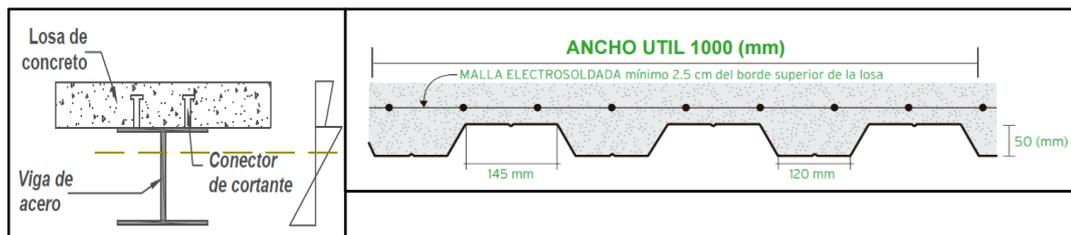


Ilustración 52: Construcción Compuesta y Steel Panel
Fuente: Alacero

Problema # 11

El problema que se analizará en este punto se da como consecuencia de una incorrecta distribución del Steel panel, que no permite colocar los conectores de corte en las vigas paralelas a las planchas de acero colaborante (Rojas, Seismic Analysis, Design and Evaluation of Post Tensioned Friction Damped Connections for Steel Moment Resisting Frames, 2003).

Esto sucede cuando la cresta del Steel panel coincide con la viga metálica, como muestra la ilustración 53, lo que impide la colocación del conector de corte a lo largo de toda viga.

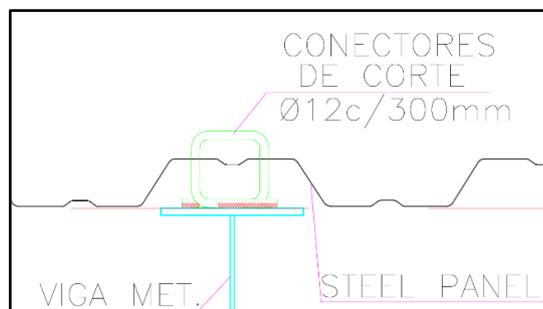


Ilustración 53: Steel Panel y Conector de Corte

Fuente: Autor

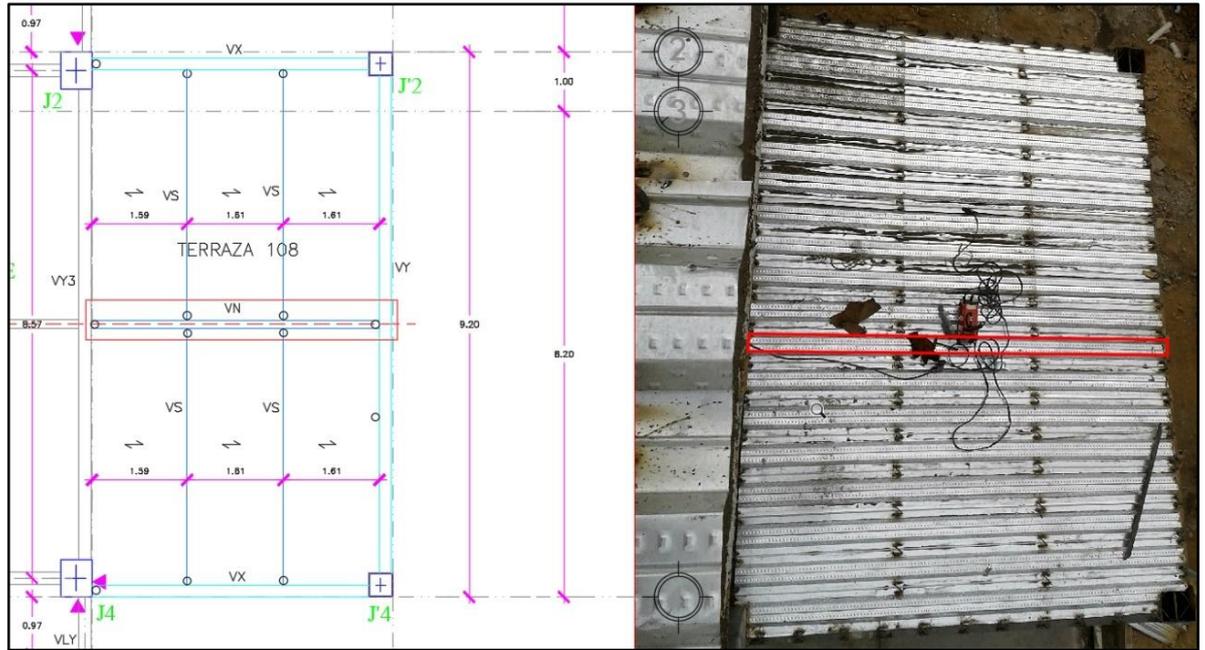


Ilustración 54: Viga VN sin conectores de corte.

Fuente: Autor

En la ilustración 54, se observa la viga VN sin conectores de corte a lo largo de la misma y esto se debe, como se explicó previamente, a que la cresta de Steel panel coincide con la viga metálica.

Solución #11:

Contratista y fiscalizador deben realizar un corte en AutoCAD del pórtico más largo y distribuir las planchas a lo largo del mismo verificando de esta forma que el valle de la plancha coincida con el patín superior de las vigas paralelas a la distribución de las planchas.

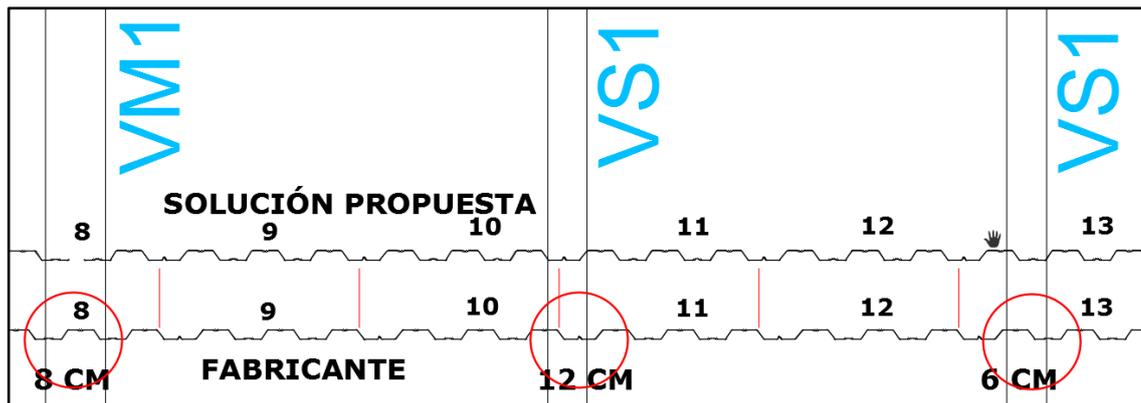


Ilustración 55: Ejemplo de análisis previo a la colocación del Steel panel

Fuente: Autor

La ilustración 55 ejemplifica cómo realizar el corte para analizar previamente la distribución del steel panel. Como se puede observar en esta imagen, el fabricante, no ha tomado a consideración que las vigas son compuestas, por lo que en su propuesta hace coincidir la cresta del steel panel con el patín superior de la viga, lo que imposibilita la colocación de los conectores de corte sobre la viga metálica (AWS D1.8/D1.8M, 2009).

Cabe recalcar que el fabricante en este caso específico indicó que se necesitaban 15 planchas para cubrir toda la longitud de los pórticos y en la solución propuesta se utilizan la misma cantidad de unidades. Quiere decir que la ubicación correcta de las planchas para poder colocar los conectores de corte no encarece o aumenta el desperdicio, incluso en ciertos casos este análisis previo permitiría optimizar el material (NEC, 2015).

Primera solución: con un análisis previo al montaje de las planchas de Steel panel generar un detalle donde el valle de la plancha, es decir la parte inferior, coincida con la viga metálica, como muestra la ilustración 56.

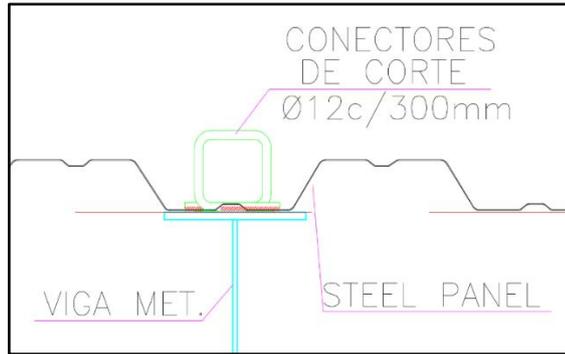


Ilustración 56: Detalle de Viga y conector

Fuente: Autor

Segunda solución: como muestra la ilustración 57 es posible hacer que inicie y termine la placa colaborante en la viga metálica, de esta manera se deja libre el espacio en la mitad para ubicar los conectores de corte. Según el SDI (Steel Deck Institute) la distancia mínima de apoyo del Steel panel sobre la viga metálica es de 50mm.

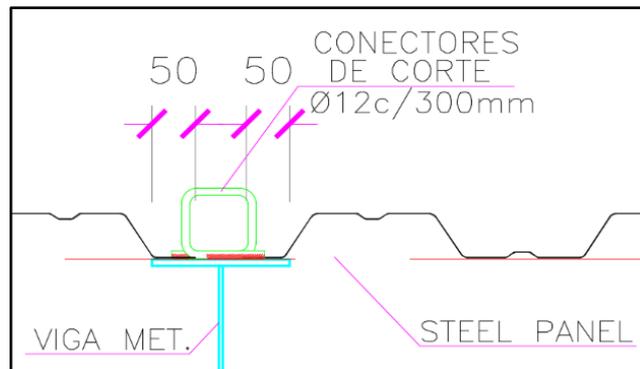


Ilustración 57: Steel panel con distancias de apoyo

Fuente: Autor

Recomendaciones adicionales

- La distribución de los conectores de corte se debe realizar con piola, o timbrado en la plancha una línea guía para colocarlos de manera ordenada y uniforme.

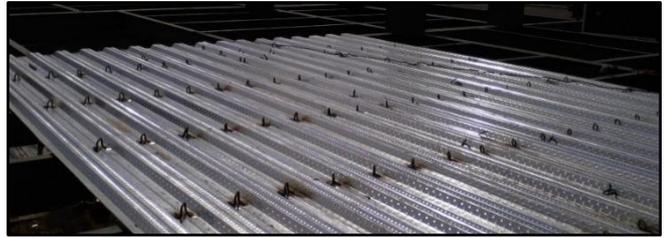


Ilustración 58: Distribución Steel Panel

Fuente: Autor

- Las planchas de Steel deck se deben retirar 5cm del borde de las vigas perimetrales, en ambos sentidos, para lograr una apariencia estética de losa maciza y evitar dejar a la vista esas 'ratoneras' que se formarían si la plancha se deja pegada al encofrado.



Ilustración 59: Distancia del encofrado al Steel panel

Fuente: Autor

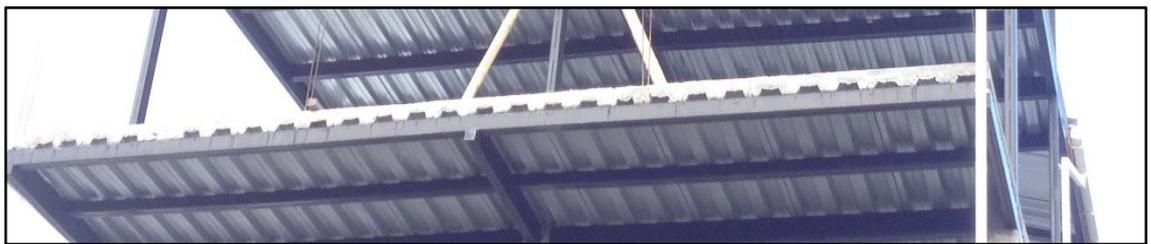


Ilustración 60: Borde de Losa con apariencia de 'ratoneras'

Fuente: Autor

- Colocar tapa ondas en el perímetro perpendicular a la distribución de las planchas o donde el Steel panel cambie sentido, para evitar la pérdida de hormigón en esos puntos.

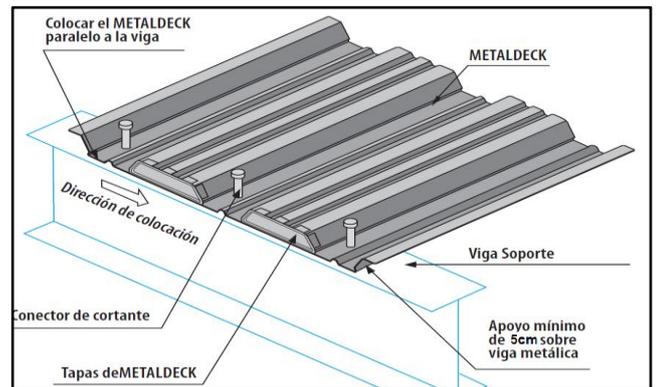


Ilustración 61: Tapa ondas

Fuente: Acesco Metaldeck

- Los conectores de corte deben sobresalir al menos 38mm por encima de la cresta del Steel panel y se debe garantizar un recubrimiento mínimo de 13mm.
- La malla electrosoldada debe tener un recubrimiento mínimo de 2.5cm y debe estar separada del Steel panel usando separadores de hormigón (galletas) o plásticos.

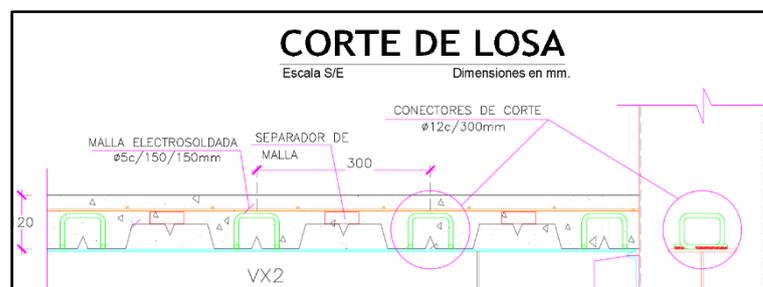


Ilustración 62: Corte de losa

Fuente: Autor

4.8 Inversión de placa de cortante (PC) y Soldadura incompleta en vigas sísmicas

Problema # 12

Las placas de cortante (PC) en la unión viga – columna sirven para garantizar el correcto desempeño de la conexión bajo cargas sísmicas y que las soldaduras tengan la capacidad de absorber un porcentaje significativo de las deformaciones en estas zonas. (FEMA 350, 2000).

En este problema se analiza cuando la placa de cortante, en el proceso de montaje, es colocada de manera invertida a la que indica la norma. Provocando que la soldadura en el alma de la viga no se realice de manera completa disminuyendo la capacidad de la conexión para responder a cargas de corte.

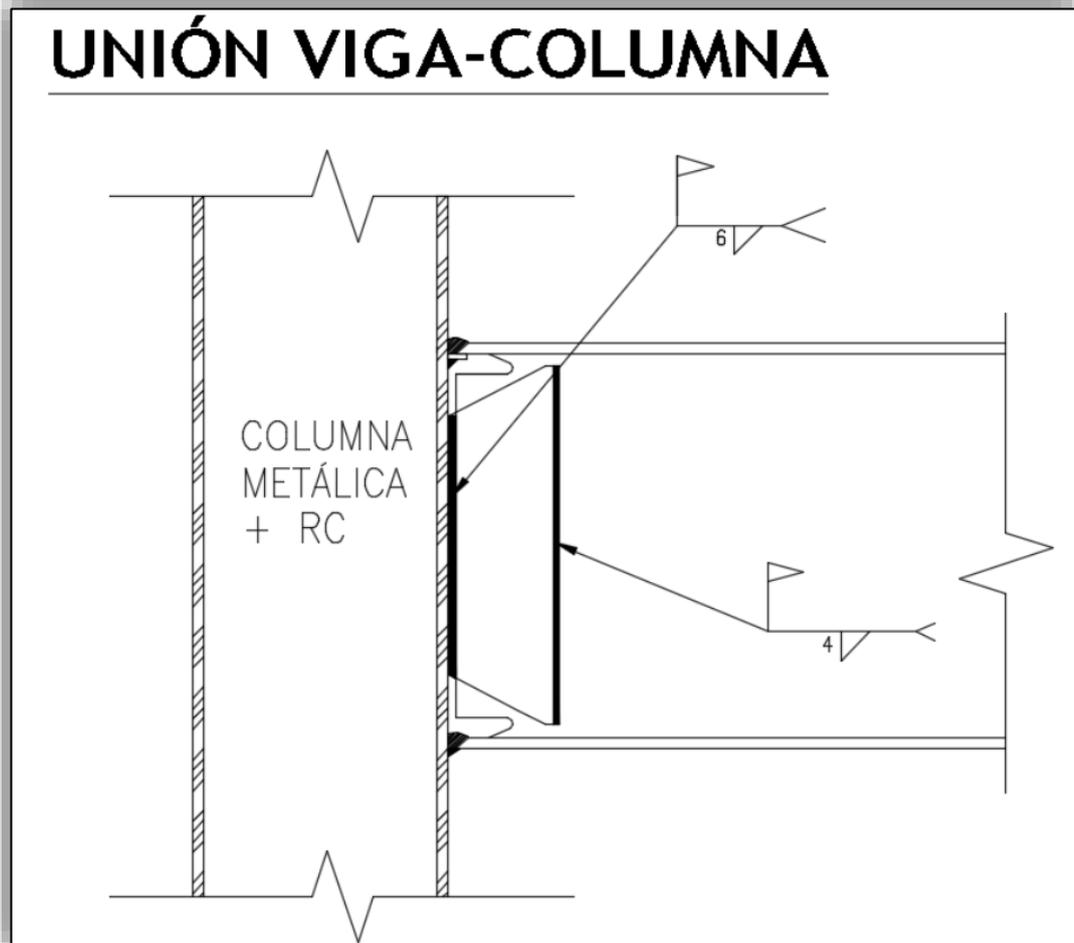


Ilustración 63: Unión Viga-Columna

Fuente: Autor

Dentro de los errores comunes que pueden suceder en las placas de cortante están también la soldadura entre la placa y el alma de la viga que según indica los códigos como FEMA 350 o AISC 341-10 dicha soldadura debe ser en forma de C cubriendo los 3 bordes de la placa, pero por motivos de alcanzar metas de montaje

las soldaduras de los lados superior e inferior suelen en ocasiones ser omitidos por el personal de montaje.

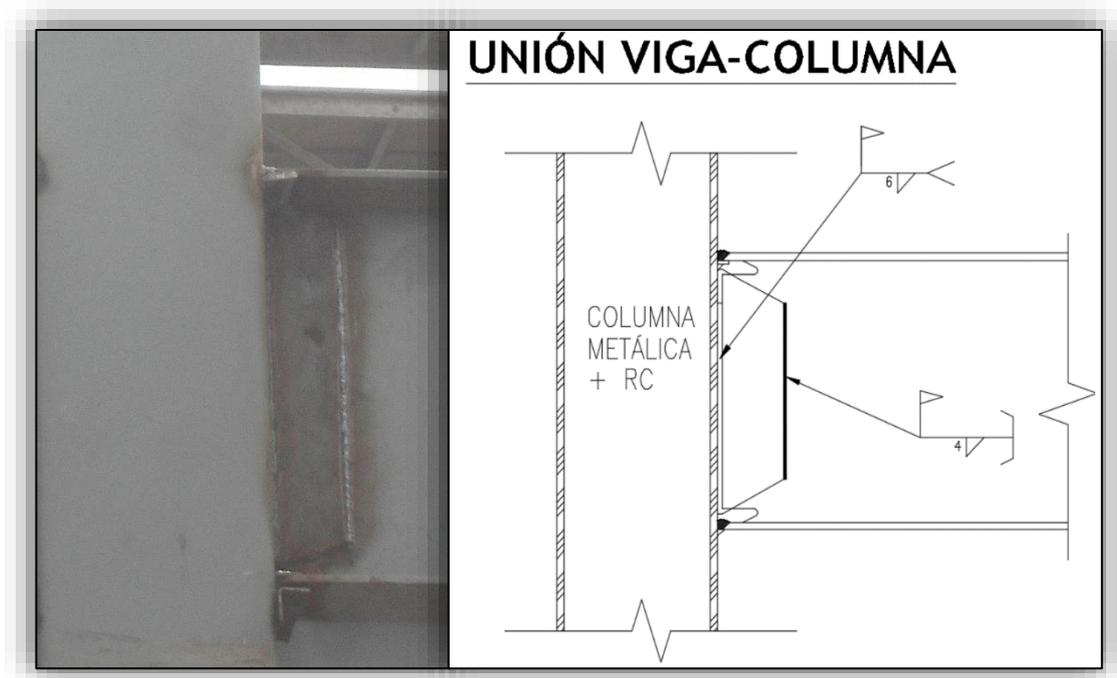


Ilustración 64: Soldadura incompleta en PC

Fuente: Autor

Solución #12:

En la ilustración 65 y 66 se detalla el correcto montaje de la placa de cortante cumpliendo con lo indicado en AISC 341-10. Se observa la correcta colocación de la placa para garantizar la SRPC y la longitud efectiva de soldadura entre el alma de la viga y la columna. También se detallan todas las soldaduras que participan para que la conexión garantice su correcto desempeño.

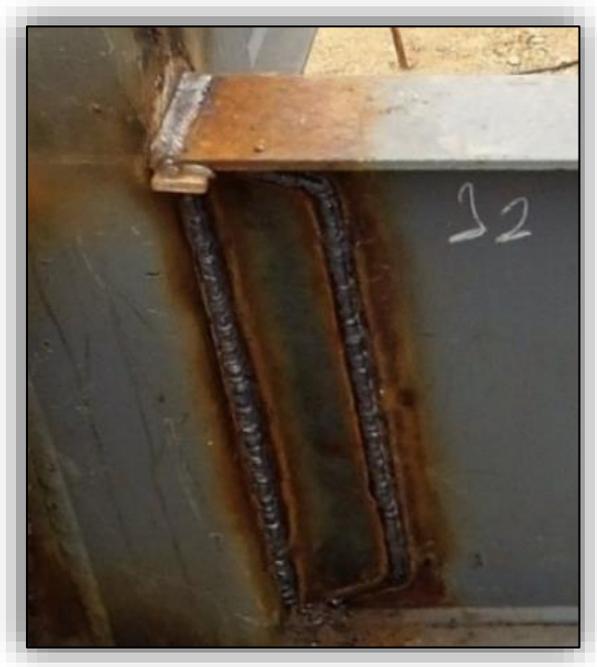


Ilustración 65: Soldadura de PC en obra
Fuente: Autor

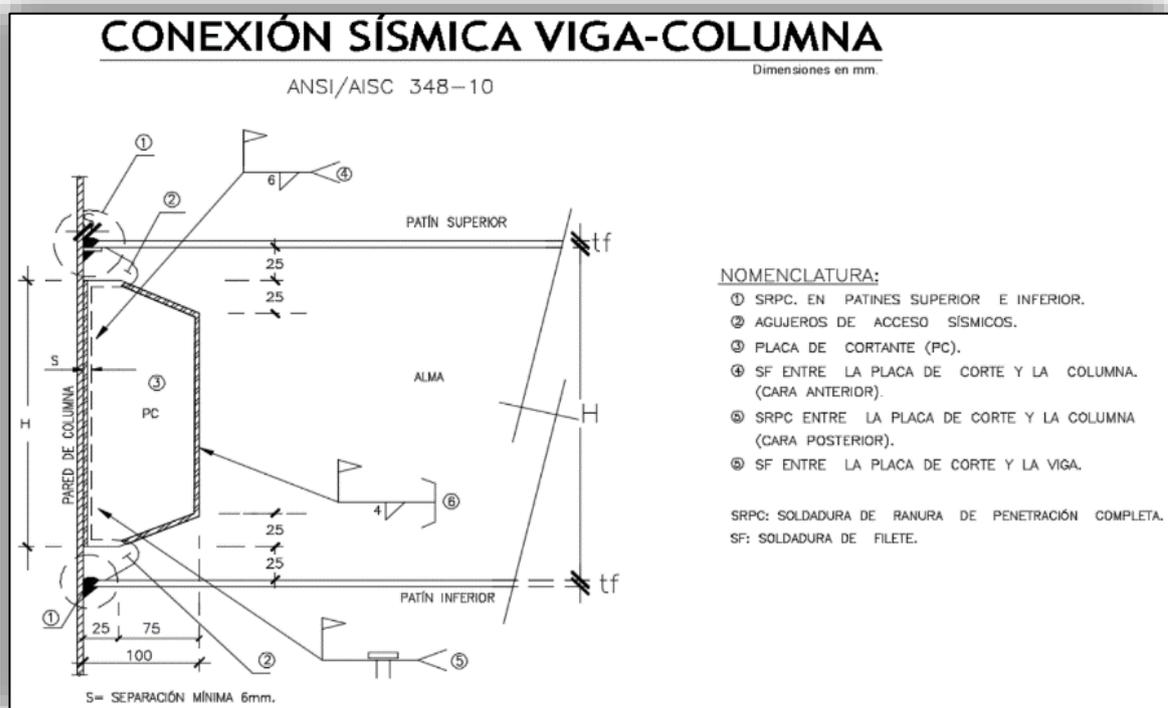


Ilustración 66: Conexión a momento

Fuente: Autor

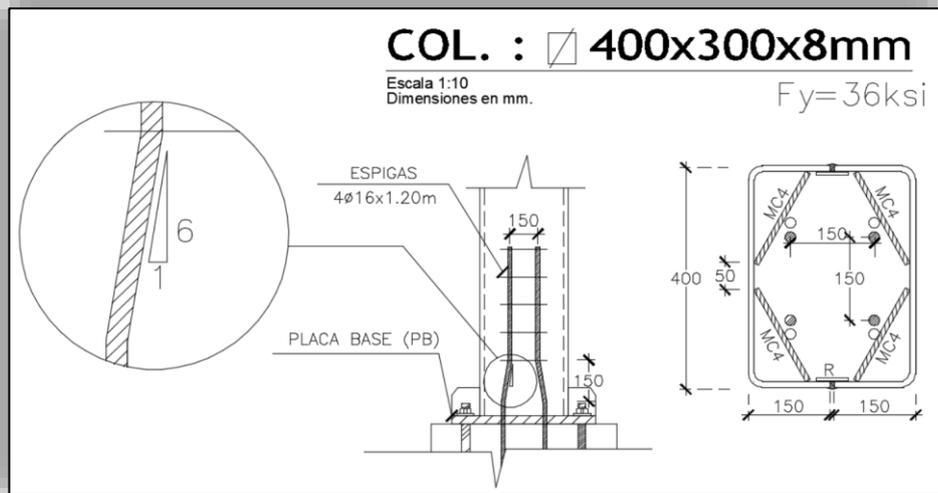


Ilustración 68: Doblado de varilla con pendiente 1:6

Fuente: Autor



Ilustración 69: Detalle en obra

Fuente: Autor

4.10 Uso correcto de platinas de respaldo en unión viga-columna

Problema # 14

Después del terremoto de Northridge 1994 con magnitud Richter 6.8 las exigencias en las conexiones sísmicas aumentaron con el propósito de evitar fallas que se observaron después de ese evento sísmico.

La conexión más usada en la actualidad, por su alto desempeño y bajo costo es la Conexión de Alas y Alma Soldadas (WUF-W) “Welded Unreinforced Flange – Welded Web Connection (ANSI/AISC 358-10, 2010)



Ilustración 70: Fallas de soldadura durante sismo

Fuente: (NEC, 2015)

En muchos edificios las fallas se produjeron en las soldaduras de penetración completa en los patines inferiores, de las conexiones a momento, y en algunos casos tras agrietarse por completo en el patín termino afectando también al alma de la comuna.

El uso incorrecto de las platinas de respaldo en los patines de las vigas I en las conexiones a momento son las principales causas de fracturas estos errores pueden ser los siguientes (NEC, 2015).

- a. Falta de soldadura de filete entre la platina respaldo y la cara de la columna en el patín superior
- b. La platina en el patín inferior no debe ser fusible y se debe retirar

c. Ausencia de platinas de respaldo y detalle de conexión a momento.

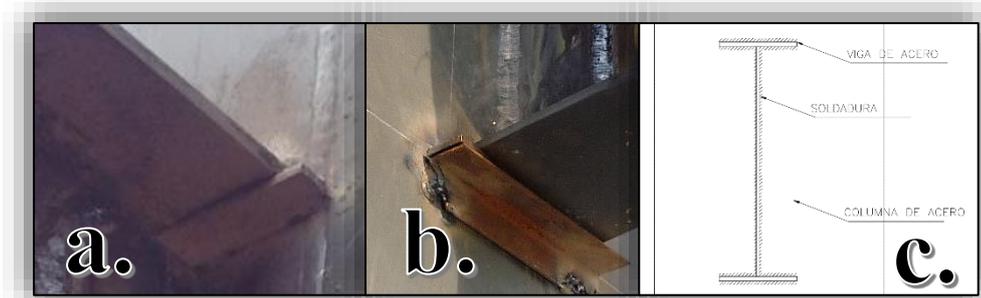


Ilustración 71: Platina de respaldo en patines de vigas y preparación de superficie.

· Fuente: Autor

Solución #14:

Tomando como pautas las indicaciones de código AISC 358-10 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications.

1A. PATÍN SUPERIOR.

1B. PATÍN INFERIOR

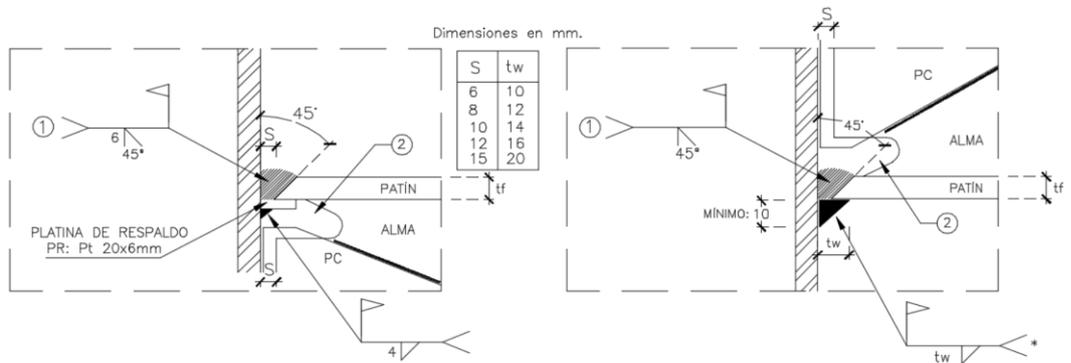


Ilustración 72: Detalle de soldadura en patines de vigas sísmicas

Fuente: (ANSI/AISC 358-10, 2010)

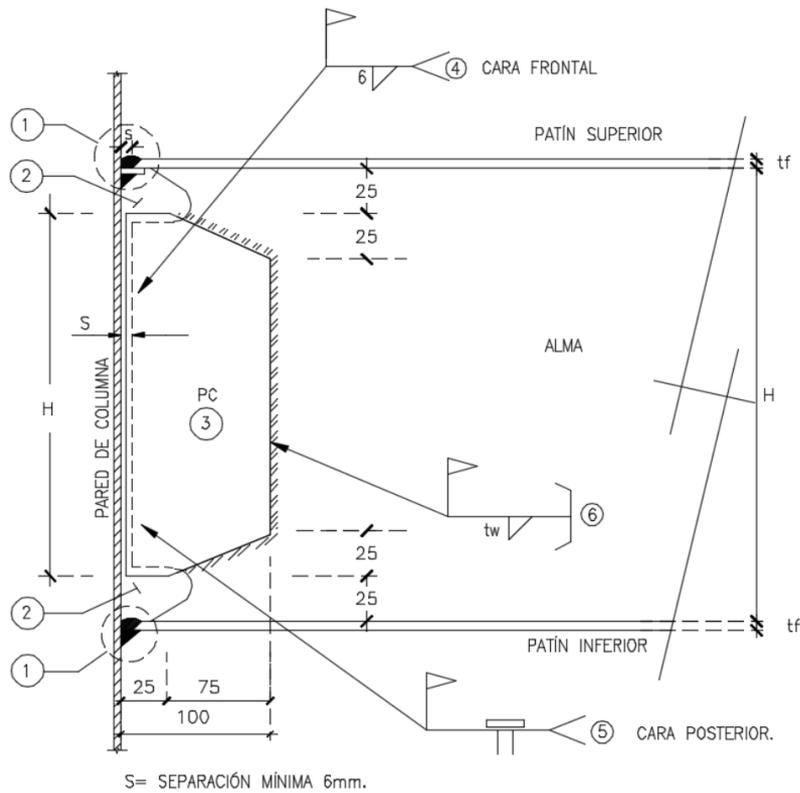


Ilustración 73: Detalle de conexión sísmica según ANSI/AISC 358-10

Fuente: ANSI/AISC 358-10 CAP 3

Indicaciones de la ilustración 73:

1. SRPC en los patines superior e inferior:
 - En el patín superior dejar la platina de respaldo PR 20x6mm y colocar una soldadura de filete de 5mm debajo de la platina, entre la platina y la cara de la columna.
 - En el patín inferior usar una **platina de respaldo no fusible**, esmerilar la parte inferior del cordón y añadir una soldadura de filete. **NO SE ACEPTARÁ NINGUN TIPO DE RESPALDO FIJO.** El tamaño de la soldadura de adyacente a la columna será de mínimo 10mm.
2. Agujeros de acceso a la soldadura
 - SRPC a lo alto de la longitud del alma, entre los agujeros de acceso, en la ranura dejada entre la PC y la cara de la columna.
3. Placa de corte PC
 - El espesor de la PC debe ser igual al del alma de la viga
4. Soldadura de filete de 6mm a todo lo alto de la unión PC y la pared de la columna (cara frontal)
5. SRPC entre la PC y la cara de la columna usando la PC como platina de respaldo (cara posterior).
6. Soldadura de Filete entre la PC y el alma de la viga (cara posterior)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Como resultado del presente trabajo de investigación, es posible concluir que las hipótesis planteadas se cumplen, así como que existen numerosos hallazgos sobre el trabajo en acero que deben ser resaltados:

1. El comportamiento de la estructura no sólo dependerá de etapa de diseño, sino también de la parte de fabricación y montaje que son extremadamente importante.
2. Para impedir daños mayores durante la etapa de montaje se debe invertir más en las etapas previas aplicando las recomendaciones dados por los códigos, principalmente AISC y AWS.
3. La inspección visual se debe realizar al 100% de las soldaduras, como indica la norma AWS, y el personal responsable de la tarea debe estar debidamente calificado.
4. Muchos de los errores que se pudieron llegar a detectar durante el desarrollo del presente trabajo de investigación hubieran podido ser evitados si se hubieran seguido oportunamente las normas y manuales de construcción, así como sus respectivos suplementos sísmicos.
5. Seguir las normas y procedimientos no representa un alza sobre los costos. De hecho, el no seguirlas a tiempo implicará que posteriormente se deban invertir recursos que muchas veces se salen del presupuesto.
6. Debido a todo lo mencionado se puede concluir que uno de los principales factores para evitar errores en obra de acero es capacitar a las personas involucradas en la misma, teniendo pleno conocimiento sobre las normas y procedimientos a seguir, así como sobre los errores que necesitan evitar, cómo detectarlos a tiempo y finalmente cómo corregirlos.

5.2 Recomendaciones

Considerando lo antes expuesto, a continuación, se plantean recomendaciones encaminadas a mejorar el trabajo de construcción en obras de acero, para lograr evitar y o solucionar los errores que en ellas se pudieran presentar.

1. Para el ensamble y montaje de las piezas se recomienda el seguimiento de la norma (AWS D1.1, 2010) sección tres, donde se habla de las juntas precalificadas, que sirven de guía para armar las plantillas de WPS (Welding Procedure Specification).
2. Entre los métodos señalados para la evaluación de la obra, se recomienda dar especial atención al método de inspección visual. Este debe ser llevado a cabo por un profesional altamente calificado, de acuerdo a los lineamientos estipulados en la (NEC, 2015).
3. Se recomienda continuar con el proceso de detección y evaluación de errores que se pudieran presentar en la construcción de estructuras de acero,
4. Para evitar muchos de los errores detectados en el presente trabajo de investigación, se recomienda seguir principalmente los suplementos sísmicos AISC 341-10, AISC 358-10 en temas de acero y AWS D1.8-2009 para el detallamiento de soldaduras en zonas sísmicas, además de no dejar de lado el A ASHTO/AWS D1.5-2008 para la soldadura de puentes.
5. Para la adecuada soldadura de las piezas, se recomienda que el personal cuente con la respectiva Calificación de Soldadura (WPQR por sus siglas en inglés “Welding Personal Qualification Record”), mismo que permite corroborar la habilidad del soldador en un proceso específico.
6. Con todo lo mencionado, finalmente se recomienda que los organismos de control, principalmente municipios, para la inspección final de una obra en acero, soliciten a la fiscalización el dossier del plan de garantía de calidad PGC. Con el cual pueden garantizar la calidad de la obra.

Trabajos Citados

- ACI 318. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- AISC. (2003). *Steel Design Guide Serie I*. California: AISC.
- Altos Hornos de México. (2013). *Manual de Diseño para la Construcción con Acero*. México: AHMSA.
- Alvarez Valadez, O., & Cházaro Rosario, Á. (2010). *Construcción en Acero*. México: IMCA.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and other Structures*. Virginia: ASCE SEI.
- ANSI. (2005). *Seguridad en Soldadura, Corte y Procesos Relacionados*. Miami: ANSI.
- ANSI/AISC 341-10. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc.
- ANSI/AISC 358-10. (2010). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*. Chicago: American Institute of Steel Construction Inc.
- ANSI/AISC 360-10. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc.
- ANSI/AWS B1. 11. (2000). *Guide for the Visual Inspection of Welds*. Chicago: American Welding Society .
- Ashby, M. F. (2002). *Engineering Materials 2*. Oxford: Pergamon Press.
- ASME International. (2003). *Trends in Welding Research*. Ohio: ASME International.
- ASTM. (2008). *Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural*. Pennsylvania: West Cons.
- AWS D1.1. (2010). *Codigo de Soldadura Estructural - Acero*. American Welding Society .
- AWS D1.4. (2009). *Structural Welding Code - Reinforcing Steel*. American Welding Society.

- AWS D1.8/D1.8M. (2009). *Structural Welding Code-Seismic Supplement*. Miami: American Welding Society.
- Baldomir, L. A., Plaza, R., Isis, E., & Ignoto, V. (2005). *Evaluación de procedimientos de soldadura para revestimientos duros aplicados*. Venezuela: FIUC Venezuela.
- Benoît, M. (2010). *The Fractal Geometry of Nature*. ISBN 0-7167-1186-9.
- Cary, Howard B., & Scott C. Helzer. (2005). *Modern Welding Technology*. Nueva Jersey: Pearson Education.
- Cassagne, A. (2009). Especificaciones Técnicas de Construcción para PARM fabricados a partir de planchas soldadas. *Tesis de Grado*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería.
- Chan Pozo, M. A., & Serrano Valarezo, O. (2005). *Calificación de Procedimientos de Soldadura, Operadores y Soldadores*. Guayaquil: ESPOL.
- FEMA 350. (2000). *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Framed Buildings*. Washington D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- Fisher. (1981). Structural Details in Industrial. *Engineering Journal*, 83-89.
- Fronius. (2010). El Acero y Montaje de Estructuras. *Revista Técnica de Soldadura*.
- Garrido, G. (2009). *Armado Estructural de un Bloque en una Construcción Naval*. Obtenido de <http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratio/Defectosm6.htm>
- Hernández Riesco, G. (2006). *Manual del soldador*. Madrid.
- Kalpakjian, Serope, & Schmid, S. R. (2001). *Manufacturing Engineering and Technology*. Prentice Hall.
- Klas, W. (2003). *Welding processes handbook*. Nueva York: CRC PRESS.
- Loges, I. (2009). *Comportamiento sismorresistente de conexiones tipo empalmen en viga de acero*.
- MATERIALS A.S. (2001). *Especificación estándar para requisitos generales de barras de acero estructurales, placas, perfiles y tablestacado*. Pennsylvania: West Conshohocken.

- Millán Gómez, S. (2006). *Procedimientos de mecanizado*. Madrid: Paraninfo.
- Monroy, C. (2013). Procedimientos de unión: soldadura. En IES, *Tecnología Industrial*. Monterrey: IES.
- NEC. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- Niebles, E. (2007). *Modelo de diseño y base de conocimiento en tecnologías de soldadura para el desarrollo de productos soldados*. ISSN 0122-1701: Cientia y Technica.
- Niebles, E. E., & Arnedo, W. G. (2009). *Procedimientos de Soldadura y Calificación de soldadores*. Barranquilla: UAB.
- Portorreal, A. (16 de diciembre de 2012). *El acero como material estructural*. Obtenido de Revista ARQHYS: <http://www.arqhys.com/articulos/acero-material-estructural.html>
- Rojas Cruz, P., & Armijos Galarza, R. (2015). Diseño de estructuras de acero con la nueva Norma Ecuatoriana de Construcción NEC. *Programa de actualización de las nuevas normas ecuatorianas de construcción*. Guayaquil: Servicap S.A.
- Rojas, P. (2003). Seismic Analysis, Design and Evaluation of Post Tensioned Friction Damped Connections for Steel Moment Resisting Frames. *Disertación Doctoral*. Bethlehem: Universidad de Lehigh Departamento de Ingeniería Civil.
- Rojas, P. (Agosto de 2015). *Diseño de estructuras de acero co la nueva Norma Ecuatoriana de Construcción NEC*. Guayaquil, Ecuador.
- Rosero Peñafiel, A. (2010). *Calidad en la soldadura: Inspección y Detección con ensayos no destructivos*. Bogotá: Universidad de Pereira.
- West Arco. (10 de septiembre de 2015). *Defectos en Soldadura: Causas y Soluciones*. Obtenido de <http://www.westarco.com/westarco/sp/education/blog/defectos-en-la-soldadura-causas-y-soluciones.cfm>
- West Arco. (2015). *Inspección visual y discontinuidades de las uniones soldadas*. Estándar AWS B1.11M/B1.