



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE: ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO: PATOLOGÍAS POR DEFICIENCIAS EN LA FABRICACIÓN Y
MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO

REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

NOMBRE DEL ESTUDIANTE:

PATRICIO JAVIER HINOJOSA MONCAYO

NOMBRE DEL TUTOR:

ING. RICARDO ARMIJOS GALARZA

Dedicatoria

Quisiera dedicar este trabajo a mi familia que es lo más importante para mí.

A mi padre y a mi madre, por haberme traído a la vida y por haberme criado en valores. Por cada uno de los sacrificios pequeños y grandes que tuvieron que realizar para que nunca me falte nada.

Por haberme formado en un núcleo familiar estable y hermoso, viviendo en amor y confianza el uno con el otro. Por ser mis compañeros de vida durante mi etapa colegial y universitaria y siempre haberme inculcado que mis estudios son más importantes que cualquier otra cosa. Por haber sido mis maestros en todo. Por todas aquellas amanecidas hasta tarde y aquellos viajes a la carrera o de última hora para lograr cumplir cabalmente con mis responsabilidades.

A mis hermanos Juan Pablo y Nicolás, por ser mis amigos de toda la vida, con quienes hemos pasado risas, llantos, enojos y discusiones. Con quienes me crié desde pequeño y con quienes crecí y seguiré creciendo. Por haberme enseñado a respetar, a perdonar, a reír y a ser feliz. Por haberme enseñado lo bendecidos que somos de tenernos unos a otros, siempre. Por haberme mostrado que en el andar de la vida siempre se nos presentan muchos sacrificios y que es decisión nuestra no superar los retos que se nos presentan o superarlos sabiendo que de cada prueba superada siempre se sacará una lección aprendida.

Quisiera finalizar esta página de dedicatoria con una frase anónima que escuché meses atrás en un discurso realizado por el Presidente de la Empresa CIPORT, el Ing. Rafael Miranda Roca, en la Cámara de la Construcción al momento de recibir una condecoración por la cantidad de años al servicio de la construcción en Guayaquil.

“La vida no es un problema para ser resuelto, es un misterio para ser vivido”... y siento que con el culminar de esta etapa universitaria mi vida apenas comienza.

Reconocimiento

En esta página quiero agradecer a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de titulación.

De manera inicial quisiera agradecer al M.Sc. Ricardo Armijos y al M.Sc. Patricio Hinojosa por sus correcciones y observaciones que permitieron que este trabajo sea realizado con excelencia desde el inicio en el que se comenzó a desarrollar. Igualmente, mis agradecimientos van a la Ing. Carmen Terreros cuyas sugerencias permitieron culminar de manera satisfactoria este documento.

Quisiera agradecer a la Fundación Leonidas Ortega Moreira por haberme otorgado una beca de estudios que permitió que yo reciba una educación de calidad en esta prestigiosa universidad.

A la Universidad de Especialidades Espíritu Santo por haberme brindado una educación de calidad con profesionales involucrados en cada una de sus áreas.

A mis padres y hermanos por haberme dado el apoyo y las fuerzas día a día para poder seguir avanzando y no desfallecer en ningún momento.

Finalmente pero no por ello menos importante, a Dios porque es el centro de mi vida, y porque me ha mostrado que con él todo se puede realizar. Porque muchas veces cuando nos sentimos tristes y pensamos que estamos solos caminando, es él quien nos tiene cargando en sus brazos y avanzando con paso firme.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1 | 3 |
| 1.1 Antecedentes: | 3 |
| 1.2 Planteamiento del Problema:..... | 3 |
| 1.3 Formulación del problema..... | 1 |
| 1.4 Sistematización del Problema. Interrogantes de la investigación..... | 1 |
| 1.5 Objetivos de la Investigación: | 2 |
| 1.5.1 Objetivo General. | 2 |
| 1.5.2 Objetivos Específicos. | 2 |
| 1.6 Justificación o importancia de la investigación | 2 |
| CAPÍTULO 2 MARCO REFERENCIAL | 4 |
| 2.1 Marco Teórico | 4 |
| 2.2 Marco Conceptual | 15 |
| CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA | 21 |
| 3.1 Planteamiento de la hipótesis..... | 21 |
| 3.2 Diseño de la Investigación:..... | 21 |
| 3.2.1 Tipo de Investigación..... | 21 |
| 3.2.2 Población y muestra | 26 |
| 3.2.3 Instrumentos, herramientas y procedimientos de la investigación..... | 26 |
| CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS | 27 |
| FABRICACIÓN | 28 |
| PROBLEMA #1:..... | 28 |
| PROBLEMA #2:..... | 30 |
| PROBLEMA #3:..... | 33 |
| PROBLEMA #4:..... | 35 |
| PROBLEMA #5:..... | 37 |
| PROBLEMA #6:..... | 39 |
| PROBLEMA #7:..... | 41 |
| MONTAJE | 43 |

| | |
|--|----|
| PROBLEMA #8:..... | 43 |
| PROBLEMA #9:..... | 44 |
| PROBLEMA #10: | 45 |
| PROBLEMA #11: | 47 |
| PROBLEMA #12: | 48 |
| PROBLEMA #13: | 50 |
| PROBLEMA #14: | 51 |
| PROBLEMA #15: | 53 |
| PROBLEMA #16: | 54 |
| PROBLEMA #17: | 55 |
| PROBLEMA #18: | 56 |
| PROBLEMA #19: | 57 |
| PROBLEMA #20: | 59 |
| CAPITULO 5: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA SITUACIÓN PRÁCTICA. | 60 |
| 5.1 Conclusiones..... | 60 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 61 |
| 5.4 Referencias bibliográficas | 63 |
| 5.3 Anexos | 65 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FOTOS

| | |
|--|----|
| Gráfico # 1: Planta de Edificio de Acero Estructural Compuesto por Pórticos Resistentes a Momento y Gravitacionales tomada del NEC Capítulo Estructuras de Acero | 7 |
| Gráfico # 2: Relación Columna Fuerte/ Viga Débil | 8 |
| Gráfico # 3: Zonas en las que se esperan deformaciones inelásticas en un PEM (NEC2014) ⁵ | 9 |
| Gráfico # 4: Ejemplo de detallamiento en Planos de taller de Columnas | 23 |
| Gráfico # 5: Factor R tomada del (FEMA350, Julio 2000)(NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014) | 24 |
| Gráfico # 6: Secuencia de Problemas | 26 |
| Foto # 7: Biselado en patines de vigas | 29 |
| Foto # 8: Biselado en columnas..... | 29 |
| Foto # 9: Refuerzo Interno en Unión Viga-Columna con soldadura continua a ambos lados | 31 |
| Foto # 10: Placa Deformada..... | 31 |
| Foto # 11: Refuerzo Interno en Unión Viga-Columna con soldadura intermitente | 32 |
| Foto # 12: Fleje enderezado en proceso de armado..... | 32 |
| Foto # 13: Terminación adecuada de cordón de soldadura utilizando placas de extremo | 33 |
| Foto # 14: Segunda pasada de soldadura con arco sumergido en una probeta de columna con placas de extremo | 34 |
| Foto # 15: Columna soldada con arco sumergido | 34 |
| Foto # 16: Probeta de Columna..... | 35 |
| Foto # 17: Soldadura con arco sumergido en probeta de columna | 36 |
| Foto # 18: Sobreespesor ^o de 4 mm | 36 |
| Gráfico # 19: Soldadura en columnas antes y después del traslape..... | 36 |
| Foto # 20: Galga para medir espesor de cordones de soldadura en unión patín-alma | 37 |
| Foto # 21: Inspección al espesor de cordones de soldadura por parte del Ingeniero de calidad | 38 |
| Foto # 22: Soldadura en vigas | 38 |
| Foto # 23: Medición de espesores de pintura con micrómetro | 39 |
| Foto # 24: Vigas pintadas con espesores insuficientes | 40 |
| Foto # 25: Vigas Repintadas (70 micras de espesor) | 40 |
| Foto # 26: Codificación de viga..... | 41 |
| Foto # 27: Codificación de vigas antes de ser pintadas | 42 |
| Foto # 28: Codificación de vigas en campamento | 42 |
| Foto # 29: Vigas con sus respectivas codificaciones | 42 |
| Foto # 30: Pandeo del Alma | 43 |

| | |
|--|----|
| Foto # 31: Pandeo del Alma | 43 |
| Foto # 32: Posible aplastamiento del alma por ausencia de rigidizadores | 44 |
| Foto # 33: Soldada de refuerzos en uniones de tramos de columnas | 45 |
| Foto # 34: Colocación de refuerzos en unión de tramos de columna menor a L/3 ... | 46 |
| Foto # 35: Esmerilado, Colocación y Pintado de refuerzos exteriores en columnas | 46 |
| Foto # 36: Fachada edificio desplomado..... | 47 |
| Foto # 37: Fachada edificio desplomado..... | 47 |
| Foto # 38: Cordones de patín inferior de vigas principales | 49 |
| Foto # 39: Triángulo con dimensiones de soldadura..... | 49 |
| Foto # 40: Soldadura con medidas correctas | 49 |
| Foto # 41: Utilización de torquímetro | 50 |
| Foto # 42: Separación entre tuerca y cara de columna | 50 |
| Foto # 43: Platina de respaldo en patín superior de viga. | 51 |
| Foto # 44: Soldadura patín superior e inferior de unión viga-columna..... | 52 |
| Foto # 45: Separación entre unión viga columna patín inferior | 52 |
| Foto # 46: Atiesadores y rigidizadores sin soldar | 53 |
| Foto # 47: Vista inferior de doblez de viga curva | 54 |
| Foto # 48: Doble de Viga Curva..... | 54 |
| Foto # 49: Maestras y malla electro soldada, Grieta en losa | 55 |
| Foto # 50: Colocación de separadores para elevar la malla electrosoldada | 55 |
| Foto # 51: Conector de corte desalineado | 56 |
| Foto # 52: Conector de corte con un extremo fuera de la viga..... | 56 |
| Foto # 53: Vigas izadas sucias con marcas de pisadas | 57 |
| Foto # 54: Vigas Montadas Sucias en 8avo Piso..... | 58 |
| Foto # 55: Trabajador limpiando y repintando viga sucia | 58 |
| Foto # 56: Placa de Reforzamiento al finalizar viga | 59 |
| Foto # 57: Placa para corregir patín de viga..... | 59 |

RESUMEN:

En este trabajo de investigación se utilizó una metodología de tipo exploratoria. Se aplicó de manera efectiva la observación para la determinación de patologías presentadas en cada una de las estructuras. Se trato de plasmar el aprendizaje y experiencia recibida como residente de obra en la fabricación y montaje de estructuras metálicas. En este documento se pueden evidenciar y detallar algunos de los errores apreciados durante las etapas del proyecto previamente mencionado. Si bien es cierto que el uso de la estructura metálica ha beneficiado al sector de la construcción debido a la reducción de tiempos de ejecución de proyecto, también ha generado que la fiscalización sea más especializada.

Mediante este trabajo se busca compartir y difundir esta experiencia, detallando algunos de los errores que son repetitivos en la construcción metálica en nuestro medio. Este documento se hace firme tomando como referencia el capítulo 10 Planes de Control de Calidad y Garantía de Calidad en estructuras de acero de la Norma Ecuatoriana de la Construcción que tratan justamente estos temas

Dentro de las conclusiones enlistadas al final de este proyecto podemos mencionar que se espera que este trabajo sirva de incentivo para posteriores investigaciones sobre nuevos casos y defectos en la construcción de estructuras de acero.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación es un estudio exploratorio de los problemas que ocurren en las construcciones metálicas. El propósito principal del mismo es evidenciar algunos de los problemas más comunes que ocurren durante la fabricación y montaje de elementos en acero. Se espera que contribuya a mejorar el conocimiento sobre los procesos constructivos y que sirva como ejemplo de algunos de los errores que se presentan durante las etapas de fabricación y montaje.

La metodología utilizada fue la recolección de datos de diferentes obras que no se mencionan debido a motivos de confidencialidad analizados previos a la selección de este tema de investigación. En este trabajo se mencionan los problemas o patologías producidos en las estructuras metálicas y se provee la solución a implementar para garantizar que este problema no afecte el comportamiento estructural del edificio.

En el capítulo 1 se muestran los antecedentes, la problemática, el alcance de la investigación, los objetivos generales y específicos y la justificación del presente trabajo. A continuación se mencionan algunos conceptos que son de gran importancia para el entendimiento de lo que se detalla posteriormente en el cuerpo del trabajo de titulación comprendido en el Capítulo 4. En el Capítulo 3 se plantean hipótesis y se explica cómo fue llevada a cabo la investigación para proceder a explicar en el Capítulo 4 los resultados que se obtuvieron. Tal vez el aporte más relevante del presente trabajo se puede encontrar en este último Capítulo, en donde se ha

elaborado una lista detallada de los problemas, subdividiéndolos en problemas de fabricación y de montaje.

Se debe recalcar el aporte de diversos profesionales: Arquitectos, Ingenieros Civiles, Ingenieros Mecánicos, Ingenieros en Seguridad Industrial y en otras ramas, que con su experiencia en cada una de sus disciplinas contribuyeron al desarrollo del presente trabajo.

CAPÍTULO 1

1.1 Antecedentes:

El acero es un material estructural que cada vez es más utilizado en la construcción de edificios por su alta resistencia y ductilidad. En Guayaquil, existe una escasez de técnicos que conocen sobre la correcta forma de utilización de este material. En su mayoría, los errores constructivos son generados debido a la falta de mano de obra especializada y a un incorrecto control de calidad de profesionales con experiencia en el tema. En el medio no existen documentos que permitan un entendimiento de los errores en las estructuras metálicas.

1.2 Planteamiento del Problema:

El problema recae en la falta de conocimiento en Guayaquil para trabajar con este tipo de material en el sector de la construcción, tanto para las etapas de fabricación como de montaje de este tipo de edificio de estructura metálica. Hasta la fecha no se conocen documentos técnicos que nos permitan identificar los errores más comunes en la construcción de edificios con este tipo de material. Es importante investigar sobre este tema porque en el medio local existen muy pocos documentos especializados que sirvan como referencia para conocer y tratar sobre los errores constructivos y su solución durante la fabricación y montaje de los edificios de acero sismo-resistentes. Es importante registrar estas patologías de construcción a fin de poder realizar la transferencia de conocimiento y experiencia a otros profesionales de la construcción (técnicos y obreros).

Hasta ahora se conocen los errores constructivos que en general están relacionados con otros tipos de materiales, sean hormigón armado o elementos prefabricados, pero no con estructura metálica. Algunas de las causas para la falta de conocimiento en estructura metálica son el bajo interés que las instituciones académicas le brindan a materias, cursos, talleres o capacitaciones en donde se hable de la construcción de estructuras metálicas.

En base a la experiencia obtenida en la construcción de edificios de estructura metálica y utilizando los fundamentos teóricos indicados en los códigos de diseño de acero (haciendo referencia a la Norma Ecuatoriana de la Construcción en los capítulos en donde se habla acerca de estructura metálica), se detallarán los errores constructivos que han sido generados durante este proceso y los detalles que fueron implementados para su corrección y reparación.

1.3 Formulación del problema.

La falta de un documento técnico que permita conocer errores constructivos que se generan en el proceso constructivo de estructuras metálicas. Este problema genera un escaso número de profesionales de la construcción que conozcan acerca de la correcta forma de trabajar con el acero y utilizarlo en estructuras.

1.4 Sistematización del Problema. Interrogantes de la investigación.

Debido a que hacen falta documentos de este tipo, se plantean las siguientes interrogantes:

¿Acaso, la falta de documentos técnicos se debe a que existen menos problemas en la construcción de edificios utilizando el acero?

¿De qué manera algunos de estos errores constructivos, que se detectan durante las etapas de fabricación y montaje, afectan en el comportamiento estructural del edificio o estructura?.

¿El detectar algunos de estos problemas a tiempo en la etapa de fabricación de elementos, 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?, ¿acaso el no detectarlos a tiempo podría ser un desencadenante de un sin número de problemas que agravarían la vida de la estructura y su comportamiento sismo-resistente?.

1.5 Objetivos de la Investigación:

1.5.1 Objetivo General.

Identificar errores constructivos que se han generado en edificios de estructura metálica, tanto en las fases de fabricación como en la de montaje, para corregir estos problemas de manera técnica.

1.5.2 Objetivos Específicos.

1. Identificar el problema y las fallas en la estructura durante los procesos de fabricación y montaje.
2. Detallar cómo estas fallas afectarían el comportamiento estructural de no haber sido detectadas a tiempo (patologías que ocurrirían).
3. Explicar en detalle la solución técnica que fue implementada para corregir/ reparar el problema identificado.

1.6 Justificación o importancia de la investigación

Este trabajo de titulación es un documento técnico que busca contribuir a mejorar el conocimiento que existe en el medio local sobre los

procesos constructivos que se llevan a cabo al construir estructuras metálicas. A la par, servirá como ejemplo para detallar algunos de los errores que se presentan durante las etapas de fabricación y montaje en edificios de acero multipisos y estructuras metálicas en general.

Es importante también porque mostrará el incremento en la construcción de estructuras de tipo metálicas en Guayaquil. También busca mostrar a los profesionales y colegas relacionados con la ingeniería civil, la importancia de contar con especialistas en acero que cuenten con años de experiencia en la utilización del mismo.

Debido a que no existen documentos en los que se detallen errores y patologías de este tipo de estructuras, se busca la experiencia de profesionales que han estado envueltos en proyectos donde ha primado la utilización de acero de cualquier tipo.

De esta manera se espera como resultado generar un documento técnico que sirva como referencia para mejorar el estado del arte de la construcción local con estructura metálica. Se espera que este documento permita compartir el conocimiento adquirido de dichos errores para así evitar que se vuelvan a cometer en futuros proyectos.

También se busca que el documento que se desarrolla en este trabajo de titulación, en un futuro sea tomado como referencia para otros profesionales y que les permita evitar algunos de los errores que aquí se detallan y se explican.

CAPÍTULO 2 MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

Aunque desde la antigüedad se empleó esporádicamente el hierro para algunos elementos estructurales, no puede hablarse de estructuras metálicas hasta finales del S.XVIII, cuando se difunde el empleo de elementos de fundición e incluso de estructuras totalmente prefabricadas de este material, aun con ciertos problemas de fragilidad. Después de los elementos de fundición se empezaron a utilizar los de hierro dulce, formándose los elementos estructurales por composición de formas simples unidas mediante pasadores remachados, aunque el hierro dulce se había utilizado esporádica e intuitivamente como elemento de refuerzo desde la antigüedad. A mediados del S. XIX empezaron a utilizarse los forjados metálicos en edificios de viviendas, especialmente en locales húmedos y sobre sótanos, aunque no se generalizan hasta las primeras décadas del S.XX. A finales del S. XIX el acero reemplazó al hierro dulce, aunque todavía hasta los primeros años del S. XX coexistió con los elementos de fundición, especialmente utilizado en columnas. A lo largo de todo este tiempo ha ido cambiando la composición y características de los materiales, con gran influencia en su comportamiento mecánico y posibilidades de interconexión, pasando de las primeras uniones remachadas o roblonadas, típicas de la calderería, a las uniones soldadas y, actualmente a las atornilladas(GARCIA HERNANDEZ, 2008 Septiembre 02)¹.

Aunque las estructuras metálicas tienen una reciente implantación apoyada en una fuerte tecnología, también son susceptibles de sufrir lesiones que ponen en peligro tanto la integridad constructiva como la seguridad del edificio.

Estos procesos patológicos pueden derivarse de causas propias de la naturaleza del material, especialmente su debilidad al ataque químico ambiental y la solución constructiva adoptada en proyecto y ejecución. Debido a este motivo, es necesario analizar las patologías sirviéndose de las técnicas de inspección adecuadas. Sólo de esta manera podrá intervenir correctamente para realizar su reparación, siendo igualmente necesario establecer las medidas de prevención pertinentes.

Algunos de los factores que han permitido la difusión del metal en edificios son la facilidad y rapidez que resulta el construir los elementos en plantas, sean estas cajones, vigas I o columnas. En Guayaquil, se comenzó con la construcción de galpones y mezanines de 1 y 2 pisos, para luego pasar a estructuras en celosías.

Otro factor que motivo a la difusión de este tipo de material fue la utilización de nuevos programas que permitían una mayor facilidad en la entrada de datos. De esta forma podemos mencionar algunos como SAP, ETABS y TEKLA, programas que tienen interfaces gráficas que permiten apreciar y codificar cada uno de los elementos sin tener que proceder a la antigua forma de identificar los elementos en donde se lo hacía por separado.

Anteriormente se utilizaban programas como SAP 80 y SAP 90, los cuales no permitían codificar cada uno de los elementos. Esta codificación numérica para identificar cada uno de los elementos debía de llevarse por separada en otro lado. Se procedía de igual forma con la asignación de las cargas ya que él programa no contaba con la bondad de la interfaz gráfica (pantallas). Actualmente, los programas que se utilizan para el diseño de estructuras metálicas y estructuras en general posee la propiedad de poder asignar las cargas a los nudos, barras, diafragmas de losas y rampas. Esto

se asigna automáticamente utilizando otras propiedades de los distintos programas.

En el programa conocido como ETABS que se utiliza para el diseño de edificios, antes se usaban matrices y se diseñaba por el método de rigidez directa. Ahora son matrices de elementos finitos y el programa lo hace automáticamente. Los algoritmos implementados por el programa reducen el trabajo que los ingenieros deben realizar y produce una labor más eficiente.

Las versiones antiguas involucraban una codificación y una salida de datos menos amigable a la forma como actualmente se presentan los resultados. Lo que nos lleva a los métodos más exactos y facilidad de programas como los anteriormente mencionados.

Otro factor importante que ha influenciado notablemente en el desarrollo de estructuras de materiales no convencionales como lo es el metal son las reformas en los códigos de diseño. Tomando como referencia el Código de Diseño en Acero NEC-SE-AC 2015 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción Capítulo sobre Estructuras de Acero, el cual fue modificado y emitido el 10 Enero del 2015 según Registro Oficial con nuevas reformas en los parámetros a implementarse en el diseño de estructuras metálicas.

Generalmente, el proceso de diseño involucra un Sistema Resistente a Cargas Sísmicas (SRCS). Según el NEC Capítulo sobre estructuras de Acero Capítulo 3 referente a Alcance y Consideraciones Generales, “aquellas columnas que no son parte del SRCS se refiere a columnas que forman parte de pórticos gravitacionales, es decir, pórticos que han sido diseñados para resistir solamente cargas verticales.” (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵

El SRCS está compuesto por pórticos resistentes a momento localizados en el perímetro del edificio mientras que los pórticos gravitacionales están localizados interiormente.

En Estados Unidos, antes de la década de los 70s, los edificios de acero estructural eran redundantes, ya que en general todos los pórticos eran diseñados y construidos para que sean parte del SRCS, tal como se acostumbra en la actualidad en Ecuador. Esta práctica se traducía en que todas las uniones viga-columna eran resistentes a momento. Sin embargo, a partir de la década de los 70s, debido a los altos costos de construcción asociados con construir este tipo de uniones, la industria en los Estados Unidos concluyó que era más económico construir edificios de acero estructural con pórticos resistentes a momento localizados solamente en el perímetro del edificio lo que conllevó a edificios poco redundantes con vigas de mayor tamaño y menor número de uniones resistentes a momento (FEMA 350)¹⁶.

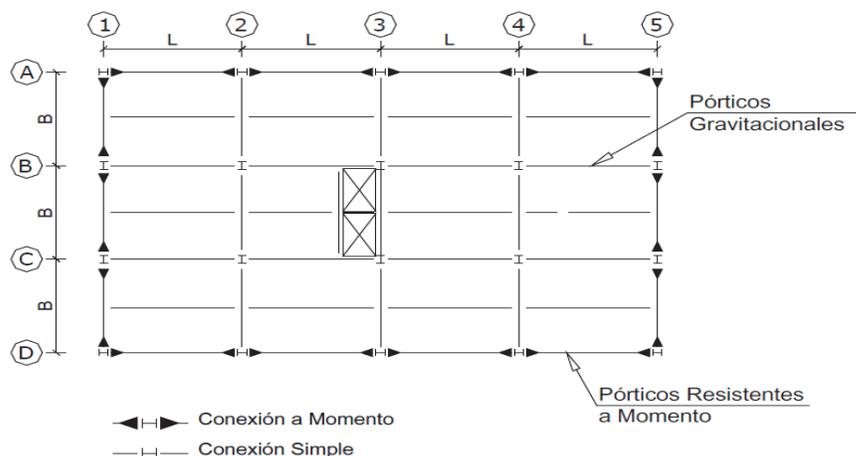


Gráfico # 1: Planta de Edificio de Acero Estructural Compuesto por Pórticos Resistentes a Momento y Gravitacionales tomada del NEC Capítulo Estructuras de Acero

Uno de los parámetros que siempre se verifican en el diseño de una estructura es el principio que se conoce como columna fuerte-viga débil. Este criterio tiene como objetivo contar con un sistema estructural en el cual las columnas son más fuertes que las vigas, para forzar el estado límite de fluencia por flexión en las vigas en los diferentes niveles de los pórticos especiales a momento cuando estén sujetos a las fuerzas resultantes producidas por el sismo de diseño. De esta manera, se logra un alto nivel de disipación de energía. La siguiente relación debe satisfacerse en la conexión viga –columna:

| | |
|--|---|
| $\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pv}^*} \geq 1.0$ | |
| Dónde: | |
| $\sum M_{pc}^*$ | La suma de los momentos plásticos nominales de las columnas que llegan a la junta |
| $\sum M_{pv}^*$ | La suma de momentos plásticos nominales de las vigas que llegan a la junta |

Gráfico # 2: Relación Columna Fuerte/ Viga Débil

Los pórticos especiales a momento deben de ser capaces de resistir deformaciones inelásticas cuando estén sujetos a fuerzas sísmicas. En el siguiente gráfico tomado del NEC se muestran las zonas en las cuales se espera que la mayoría de las deformaciones inelásticas ocurran en un pórtico especial a momento mejor conocido como PEM.

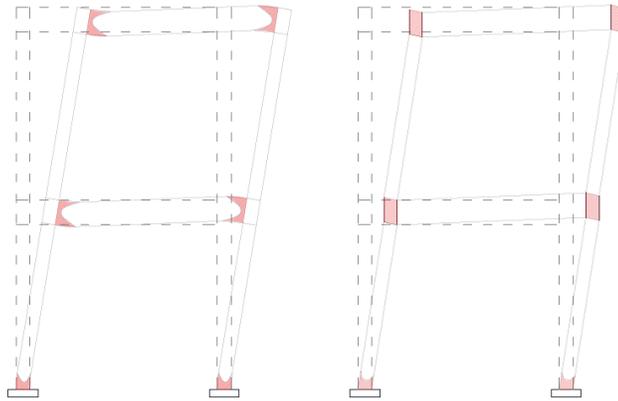


Gráfico # 3: Zonas en las que se esperan deformaciones inelásticas en un PEM (NEC2014)⁵

A continuación, se mencionan las ventajas por las que se emplean en la actualidad este material en construcciones multipisos

Ventajas

Su gran tenacidad, que admite cualquier tipo de esfuerzo, en especial a tracción, empleando una reducida sección; y su ligereza, que permite resolver estructuras de grandes luces y alturas.

Tipos y técnicas de conformado del acero

Desde que se empleó el acero en construcción por primera vez de manera significativa en el puente de Viena sobre el Danubio en 1850, hasta nuestros días, se han producido numerosos avances.

Los productos de acero según el proceso de fabricación pueden ser:

Conformados en caliente: Incluyen a los perfiles laminados, que son los de mayor aplicación en estructuras metálicas.

Conformados en frío: Aumentan el límite elástico y la resistencia a tracción, mientras que se reduce el alargamiento a rotura. Son perfiles en los que se evitará la soldadura.

Obtenidos por moldeo: su estructura es colada, no poseen propiedades direccionales.

Lo más destacado son las mejoras introducidas en las técnicas de obtención del acero logrando incrementar su resistencia y mejorando en gran medida los procedimientos de inspección. Así mismo, cabe señalar la obtención de aceros resistentes a la corrosión, que conservando el resto de sus propiedades características, presentan una sensibilidad menor frente a los agentes atmosféricos.

Solicitaciones típicas

A pesar de que globalmente las estructuras metálicas suelen presentar menor cantidad de problemas que otros sistemas constructivos, en edificación y en España tal vez por su menor uso, éstos se resumen en corrosión y deformabilidad fundamentalmente. No obstante, los fallos que experimentan tienen consecuencias catastróficas. De acuerdo con las explicaciones del profesor Félix Lasheras Merino en la asignatura de Patología de la ETSAM⁶, los problemas que sufren dichas estructuras son los siguientes:

1. Necesidad de protección superficial.
2. Para facilitar su accesibilidad, efectuar la evacuación de agua, realizar operaciones de mantenimiento, puesta a tierra, impidiendo el riesgo de captación de corrientes parásitas.

Por estos motivos, muchos forjados metálicos anteriores a 1960 utilizaban yeso para ejecutar los entrevigados, y a veces para regularizar la cara superior, favoreciendo en este caso la corrosión en presencia de humedad.

3. Deformabilidad y dilatación térmica

Las estructuras metálicas presentan una mayor deformabilidad y dilatación térmica que las admisibles por estructuras de fábrica. Esto explica el hecho de que las primeras lesiones observables aparezcan primero en cerramientos y forjados, y no directamente en la estructura como cabría suponer. La deformabilidad y flexibilidad se expresan en:

1. Deformaciones verticales.
2. Vibración excesiva.
3. Pandeo local de patines y almas comprimidas.

4. Ejecución de nudos y encuentros

La importancia decisiva reside en estos puntos para lograr las disposiciones de articulación y empotramiento establecidas en el proyecto. Este aspecto muestra una gran diferencia respecto a las estructuras de hormigón, en el sentido de que el acero requiere un mayor grado de precisión en la ejecución. Precisamente, son las uniones defectuosas las causantes de los desastres en estructuras metálicas, sobre todo si se les añaden los efectos de otros problemas típicos como la corrosión, la presencia de zonas de absorción o transmisión de tracciones.

Las uniones soldadas debido al proceso de ejecución en obra y la dificultad que presenta su control, son más complejas que las atornilladas e implican un mayor trabajo de supervisión, a pesar de que éstas tienen mayor complejidad y sobredimensionan la estructura. La cuestión radica en el carácter más dúctil de las uniones soldadas.

Muchos defectos están ocasionados en la construcción y por los propios soldadores, lo cual, en obras pequeñas y medianas, suele ser frecuente.

Algunas veces, en las soldaduras incorrectamente detalladas y erróneamente ejecutadas se pueden producir concentración de tensiones que pueden comprometer la integridad de la junta.

En las cubiertas ligeras, la presencia de numerosos nudos y uniones, así como la relativa importancia de las sobrecargas, las convierten en estructuras muy propensas a sufrir procesos patológicos.

La escasa rigidez de los nudos requiere de arrostramientos externos mediante el uso de bielas de acero o tirantes, o bien con paños confinados de fábrica.

La corrosión afecta especialmente a elementos ocultos, exteriores o de difícil acceso, próximos a bajantes o instalaciones de hidráulicas (presentan fugas, condensaciones, etc.) o con escaso revestimiento protector contra condensaciones, filtraciones, humedad capilar o lluvia.

La ventaja principal de las estructuras metálicas es que las reparaciones, excepto en casos extremos, suele ser sencilla mediante la incorporación de nuevas chapas o perfiles atornillados, soldados a los dañados, previa verificación de la compatibilidad de aceros y recubrimientos de los electrodos.

Las lesiones a las que se ven afectadas las estructuras metálicas pueden clasificarse en tres grupos: biológicas, físicas y mecánicas y químicas, que a continuación se describen:

Agresiones biológicas

Este es un caso poco frecuente en la edificación, puesto que no es corriente encontrar (micro) organismos alimentados por metal. A pesar de esto, sí existen ciertas bacterias que pueden intensificar con su actividad los procesos de corrosión. Por tanto, su importancia respecto a la corrosión electroquímica es mínima corrosión microbiológica.

Como se mencionó en el anterior párrafo, se desarrolla en presencia de microorganismos, especialmente bacterias, hongos y algas microscópicas en sistemas con un alto grado de humedad.

Agresiones físicas y mecánicas

Este tipo de agresiones son similares a las que puede padecer cualquier tipo de estructura. Probablemente, las vibraciones, dependiendo de la configuración de la estructura se transmitan con una mayor facilidad comparando con estructuras cuyo módulo de deformabilidad sea menor. Respecto a las demás agresiones físicas, el fuego es la más significativa debido a su gran destructividad, lo cual hace necesario establecer una cuidada protección específica en el material, su disposición y la propia organización del edificio, facilitando su evacuación y la rápida extinción en caso de incendio.

Los motivos mecánicos que originan la alteración y deterioro de los materiales incluyen movimientos, deformaciones y rupturas originados por:

Cargas externas directas: Actúan sobre la estructura u otros elementos.

Cargas indirectas: Debidas a variaciones de temperatura o humedad, que en caso de movimientos impedidos en las piezas, provocan importantes deformaciones.

Cargas reológicas: Están producidas por la fatiga de los materiales.

Desplazamientos de la estructura: Son consecuencia de las alteraciones experimentadas en los terrenos sobre los que se cimenta.

(Leyton, Galvis Giron, Reyes Bernal, Sarria Castillo, & Chamorro, 2014)¹⁰

Agresiones electroquímicas:

La corrosión electroquímica tiene, junto al fuego, un poder destructivo muy importante, pero se diferencia en que su tiempo de actuación es mucho más lento y no suele percibirse hasta que los daños ya son significativos. Además, puede actuar localmente en áreas muy reducidas y peligrosas de la estructura como ocurre en las soldaduras o tornillos de unión. La dificultad radica en que la estructura presenta zonas de acceso e inspección complicadas, lo cual dificulta tanto el control como el mantenimiento de estos elementos estructurales frente a la corrosión.

Algunas de las causas que favorecen este tipo de procesos son:

1. Agua

Las aguas de tipo duro tienen un alto contenido de iones de calcio y magnesio que favorecen las reacciones químicas, incluso las limpias presentan impurezas minerales, oxígeno y dióxido de carbono disueltos.

2. Ácidos

Procedentes de lluvia, terrenos, enyesados, maderas (roble, tuyas, castaño), algas y musgos. Provocan la perforación de los metales.

3. Sales

En muchos casos ayudan en la formación de una película protectora e inhibidora de la corrosión, si no se superan en determinadas cantidades.

4. Álcalis

El hidróxido de sodio y de potasio liberados por el cemento Portland es muy perjudicial para el zinc, el aluminio y el plomo en presencia de humedad; sin embargo, no afectan al cobre y protegen de la corrosión a los materiales ferrosos embebidos en hormigón rico en cemento. La cal aérea si no es carbonatada también protege a los metales ferrosos, pudiendo atacar al aluminio y ser ligeramente corrosiva para el plomo y el zinc.

Clima

Existe una clasificación de los climas según sea su impacto en los metales estructurales.

Factores de diseño

Para prevenir una corrosión prematura se debe dotar a las superficies de una ligera inclinación para posibilitar la evacuación de agua, distribuir orificios de drenaje y disponer espacio suficiente entre elementos para preparar las superficies y pintarlas, evitando lugares donde se acumule agua y otros contaminantes. Las zonas que experimentan deformaciones, tienden a comportarse como ánodos y de ahí resulten más propensas a la corrosión. Normalmente aparece en bordes, cantos vivos y dobleces, lo cual debe ser considerado previamente en la fase de diseño y al determinar el tipo de protección anticorrosivo requerido.

2.2 Marco Conceptual

Agujeros de Acceso: Se encuentran ubicados en la parte superior e inferior de los extremos del alma de la viga. Permiten que la transmisión de esfuerzos no se produzca en las esquinas donde tiene más incidencia a romperse sino en la unión del alma de la viga-columna. Según el Código ANSI/AISC 360-10, los agujeros de acceso para soldadura deben tener un

radio no menor a 10mm. (ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Building)⁷

Anclajes: Sistema de unión que permite la unión entre la columnas metálica y un elemento de hormigón armado que le sirve de apoyo. En este sistema se resaltan los elementos como placas base y varillas de anclaje.

Atornillado: Posibilita la resolución de uniones practicas, lo cual facilita el montaje y desmontaje. Se emplean tornillos y tuercas de apriete.

También existen las articulaciones, que sólo transmiten esfuerzos axiales, imprescindibles en estructuras trianguladas y en aquellas en las que se limiten los esfuerzos de flexión.

Conexión a corte: Junta que reaccionara ante fuerzas de corte. Estas juntas utilizan placas y tendrán un comportamiento diferente al de otras juntas.

Ductilidad: Es una propiedad específica de los materiales que hace referencia a la capacidad del acero para deformarse bajo carga de tracción una vez superado el límite elástico, antes de romperse.

Empates: Uniones que se realizan en un elemento cuando este no llega a la longitud necesaria. La posición del empate debe ser analizada para que no sea realizado en un lugar donde los esfuerzos sean máximos y puedan provocar la rotura del mismo.

Formas trianguladas o en celosía: En algunas circunstancias mejoran el rendimiento del material base junto a un aligeramiento del conjunto, a partir de la triangulación lograda mediante barras fraccionadas y comprimidas. Están compuestas por combinación de perfiles laminados para todas las

piezas o sólo para las comprimidas, mientras que las sometidas a tracción son barras y cables.

Suelen presentar complicaciones en las uniones que han de trabajar en articulación, pero que han sido sustituidas por un empotramiento para facilitar su ejecución. Los procesos patológicos se concentran en los nudos: aparición de esfuerzos, corrosión por aireación diferencial o de par galvánico. En las barras puede producirse corrosión por condensación superficial.

Junta: Área en donde dos o más extremos, superficies o bordes se conectan. Dependiendo del uso de soldaduras o pernos, las juntas pueden ser soldadas o empernadas, respectivamente. Las juntas pueden clasificarse también dependiendo del mecanismo de transferencia de fuerzas. Por ejemplo, si el cortante es el mecanismo de transferencia de fuerzas, la junta se denomina junta a cortante. (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵

Tenacidad: Es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones.

Lesiones: Manifestaciones de un problema constructivo. Síntoma o efecto final del proceso patológico. Cada una de las lesiones pueden ser desencadenantes de nuevas lesiones por lo que pueden dividirse en primarias y secundarias confundiendo entre sí. Lógicamente, las lesiones secundarias son consecuencias de las lesiones primarias. (Leyton, Galvis Giron, Reyes Bernal, Sarria Castillo, & Chamorro, 2014)¹⁰.

Losa Autoportante: Están constituidas por un panel metálico conformado en frío conocido como Steel Deck, que realiza la función de soporte de losa. En este caso el panel conformado debe soportar la totalidad de cargas sobre

él depositadas, así como su propio peso y la sobrecarga de uso por lo que los pesos y cargas a considerar son: peso propio del panel, el peso del hormigón de la losa, las sobrecargas permanentes como revestimientos, tabiques, cielorrasos, instalaciones y sobrecargas de servicios.

Los datos necesarios para su cálculo son:

1. Distancia entre apoyos y número de vanos.
2. Los pesos y sobrecargas citados anteriormente.
3. Las deformaciones verticales máximas admisibles

Presenta una serie de ventajas considerables gracias a su rapidez de colocación y su capacidad autoportante en vanos de hasta 6 m (Ostrilion Steel Deck Catalogue, 2015)¹⁸.

Material base: Corresponde a los elementos de acero que van a ser sometidos a un proceso de soldadura.

Materiales de uniones: Transmiten y soportan esfuerzos. Se emplean materiales análogos al metal base.

Montaje: Puesta en obra y colocación de cada uno de los elementos fabricados en planta.

Patología: La patología puede ser definida como “parte de la Ingeniería que estudia los síntomas mecánicos, causas y orígenes de defectos de obras civiles.” (Leyton, Galvis Giron, Reyes Bernal, Sarria Castillo, & Chamorro, 2014)¹⁰ Esto quiere decir que es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema.

Placa base de columna:Ensamble de placas, conectores, pernos y varillas en la base de la columna, usada para transmitir fuerzas entre la superestructura de acero y la cimentación.(NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).⁵

Planos de Fabricación: Son planos que deben ser emitidos por el contratista. En él se deben de detallar las longitudes y características de los elementos a fabricar. Son mencionados en el NEC como parte de los documentos que deben ser remitidos por el Contratista al Fiscalizador de Estructuras para su revisión, antes de que los elementos sean fabricados. (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵.

Planos de Montaje:Son planos que deben ser emitidos por el contratista. En él se deben de detallar la posición de los elementos y el orden a ser montados. Son mencionados en el NEC como parte de los documentos que deben ser remitidos por el Contratista al Fiscalizador de Estructuras para su revisión, antes de que los elementos sean montados y puestos en obra. (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵

Sistemas Constructivos:Es un conjunto de elementos, materiales, técnicas, herramientas, procedimientos y equipos, que son característicos para un tipo de edificación en particular, Un ejemplo claro, de elemento, es el denominado “ladrillo“. Esta pieza permite levantar muros, hacer pisos y techos. Además, tiene la facultad de crear numerosas formas, con la misma pieza, como: bóvedas, arcos, etc.

Sistemas y técnicas de unión: Los elementos empleados en estructuras metálicas están sometidos a controles de calidad que garantizan su idoneidad, de modo que los procesos patológicos surgirán sobre todo en las

uniones efectuadas en el montaje. Éstas deberán someterse a inspección para poder establecer la reparación necesaria.

Soldadura: Es la solución de unión permanente más adecuada puesto que asegura la continuidad de esfuerzos entre las piezas mediante el propio material. De esta manera se crean empotramientos que requieren juntas de dilatación más próximas para absorber los cambios dimensionales.

Soldadura de Filete (SF): Soldadura de sección transversal triangular generalmente hecha entre superficies de elementos que se intersectan. (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵

Soldadura de Penetración Completa (SRPC): Soldadura depositada en una ranura fabricada en los elementos de conexión. (NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵.

Soldadura por arco eléctrico: Es el caso más empleado en el montaje de estructuras de edificios. Consiste en utilizar un material de aporte como electrodo o alambre para realizar la unión soldada. El material de aporte debe ser compatible con el metal base de las piezas utilizadas.

Soportes: Están constituidos por perfiles laminados simples, combinaciones de perfiles o en el caso de cargas pequeñas se emplean también perfiles tubulares.

Vigas y viguetas: Están formadas por perfiles laminados en T ó I que optimizan la capacidad de sus alas.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Planteamiento de la hipótesis

Se plantean dos hipótesis:

1. Los errores constructivos afectan el comportamiento estructural del elemento estructural o de todo el conjunto.
2. La oportuna detección de estos errores durante la etapa de fabricación puede impedir que ocurran patologías mayores en la etapa posterior de montaje de la estructura.

3.2 Diseño de la Investigación:

3.2.1 Tipo de Investigación

Para el presente trabajo se utilizó una investigación de Campo de tipo exploratorio, ya que la temática a tratarse no ha sido muy investigada en otros trabajos en nuestro medio. Esto nos ha permitido hacer conciencia de la problemática que representa el no identificar las fallas constructivas a tiempo.

El identificar las patologías que ocurren en una estructura metálica puede ser considerado como un estudio de viabilidad afirmativo ya que se cuenta con elementos que nos permiten analizar dichos problemas.

Una de las mejoras que han permitido incrementar el entendimiento que se tiene de este material es la cantidad de detalles en los elementos a fabricar. 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 cuales han sido mejorados agregando una mayor cantidad de

detalles internos que permiten una mejor comprensión del elemento al fabricante.

A continuación podemos observar en el Gráfico #4 lo antes mencionado.

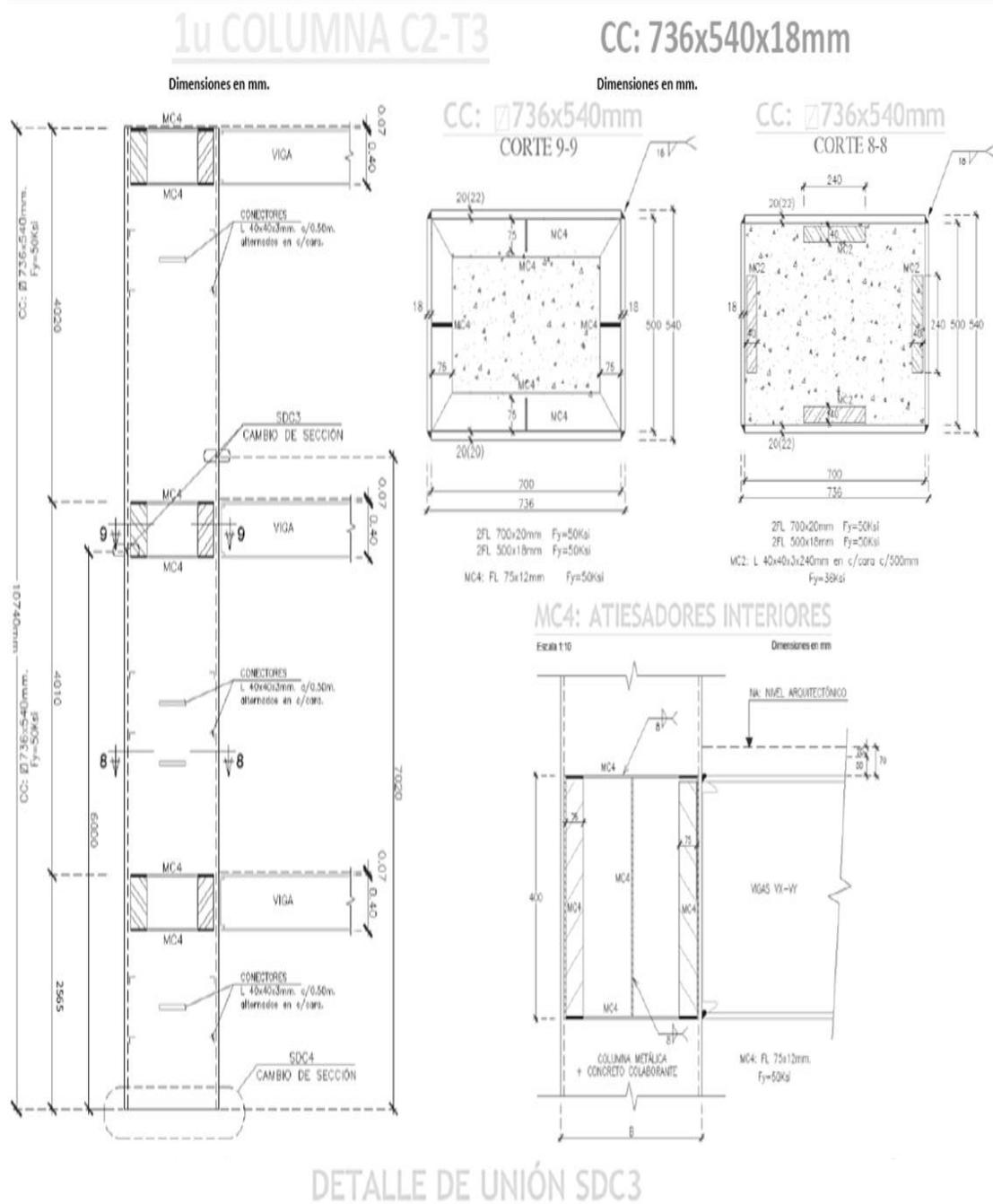


Gráfico # 4: Ejemplo de detallamiento en Planos de taller de Columnas

Es importante recalcar la importancia del factor R que disminuye la carga sísmica aplicada, utilizando la fórmula de: $E/R=E_R$. El factor R se encuentra en función del tipo de estructura, del tipo de suelo, del periodo de vibración considerado y de los factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite, se ha simplificado a un parámetro constante dependiente únicamente de la tipología estructural. Las consideraciones sísmicas más importantes a cumplir son:

1. las conexiones sísmicas columna placa base
2. Unión viga-columna precalificada.
3. Unión de tramos de columnas.

| Sistemas Estructurales Dúctiles | R |
|--|----------|
| Sistemas Duales | |
| Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales). | 8 |
| Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado. | 8 |
| Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas). | 8 |

| Sistemas Estructurales Dúctiles | R |
|---|----------|
| Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras. | 7 |
| Pórticos resistentes a momentos | |
| Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas. | 8 |
| Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas. | 8 |
| Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente. | 8 |
| Otros sistemas estructurales para edificaciones | |
| Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado. | 5 |
| Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda. | 5 |

Gráfico # 5: Factor R tomada del (FEMA350, Julio 2000)¹⁵(NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014)⁵

Todas estas consideraciones aseguran la ductilidad de las conexiones anteriormente mencionadas. Es importante recalcar que debe existir soldadura de penetración completa en todos los lugares en donde existen las uniones anteriormente citadas.

Los detalles de juntas y uniones están diseñados para que al ser realizados de la forma en la que se encuentran en los planos funcionen al 100%. Si no sucede eso baja el porcentaje de eficiencia, por ende la estructura no va a trabajar como fue diseñada originalmente. Esto nos demuestra la importancia del detallamiento sísmico y de que este sea ejecutado tal como fue diseñado.

En las universidades se comenzó a implementar la materia de Diseño en Acero. De esta forma se fue incrementando los deseos de innovación de los futuros profesionales para desarrollar actividades en acero. Inclusive se ha empezado a realizar reformas en el pensum de las carreras universitarias para que se incluyan estos temas.

A partir del 2000 se empezó a traer acero de mayor resistencia a la tracción ($F_y=50$ Ksi) y a la rotura. También se empezó a evidenciar mejoras en los procesos de soldadura, se realizaron mejoras en los procesos de control de calidad realizado por los contratistas y en los procesos de garantía de calidad realizado por los supervisores encargados de Fiscalización.

Tanto en hormigón como en acero, los clientes descargar a una compañía externa todos los controles de calidad que se necesitan realizar en una obra. El acero es un material que puede ser industrializado y con un buen control de calidad se puede brindar un adecuado control de garantía en obra.

De no seguirse de una correcta forma todo lo que se detalla en las especificaciones técnicas y planos, se puede llegar a caer en la configuración que se muestra en la parte inferior.

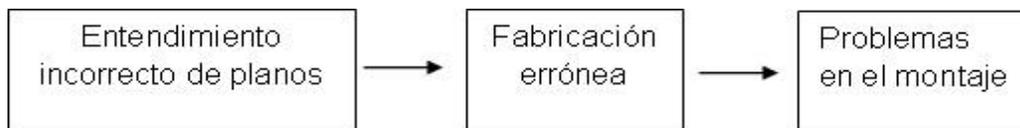


Gráfico # 6: Secuencia de Problemas

3.2.2 Población y muestra

La población del presente trabajo son las estructuras multipisos de acero de la ciudad de Guayaquil. Para el presente trabajo se han utilizado los errores de fabricación y montaje que se han repetido en las 3 obras utilizadas como muestra, de las cuales no se menciona nombre por un acuerdo de confidencialidad realizado antes de elaborar el presente trabajo de titulación.

3.2.3 Instrumentos, herramientas y procedimientos de la investigación

Los instrumentos utilizados para desarrollar este trabajo fueron las siguientes herramientas:

Una cámara fotográfica.

Una libreta o cuaderno de campo.

Un calibrador Vernier.

Una galga.

Un micrómetro.

Un flexómetro.

Un nivel de mano.

Un nivel topográfico.

Una cinta de 25 m.

Dos Marcadores especiales.

Una Escalera/ Andamio.

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se detallan los errores constructivos que mediante la experiencia y observación de profesionales de la Ingeniería Civil, se ha podido apreciar en construcciones realizadas con acero.

Debido a que esta es una investigación acerca de las patologías en estructuras, se deben tener presentes los antecedentes históricos de la misma. Esto nos permite llegar a las causas por las que se está presentando dicha patología en la estructura.

Dentro de los aspectos que se deben tener en consideración al iniciar un estudio patológico tenemos los sismos o movimientos telúricos ocurridos durante la vida útil de la estructura, los procesos constructivos que se llevaron a cabo para el montaje de la estructura, el estado de los materiales refiriéndose a la calidad, forma de su composición y el entorno (geografía, topografía, donde se encuentra ubicada la estructura).

Para identificar un problema patológico no es necesario utilizar todas las características anteriormente mencionadas, se puede utilizar una como herramienta para poder analizar y desglosar el problema.

No se hace referencia al nombre de las obras ni al constructor debido a motivos de confidencialidad que fueron analizados antes de proceder a realizar este trabajo de titulación.

Los errores constructivos pueden ser divididos en dos:

1. Errores de fabricación y
2. Errores de montaje

A continuación se enlistan los errores de fabricación y montaje resultados de esta investigación de tipo exploratoria.

FABRICACIÓN

PROBLEMA #1:

Biseles irregulares y ausencia de biseles en extremos de patines de vigas y de tramos inferiores de columnas. La presencia de biseles irregulares compromete la eficiencia de la junta ya que al momento de soldar en obra no se podrá realizar la soldadura de penetración completa.

SOLUCIÓN:

Este corte no deberá ser efectuado manualmente debido a que presenta un acabado con bordes irregulares. Si este problema es detectado en planta, su solución es la siguiente: Se deberá pasar el fleje nuevamente por la máquina que realiza los biseles, para efectuar un corte adecuado a 45° o de acuerdo a lo solicitado en los planos. Se debe utilizar un calibrador para la correcta supervisión del ángulo de bisel.

Es preferible que el corte del bisel sea efectuado con tractor de corte mecanizado “tortuga” en donde se regule el dial a 45° para conseguir acabados de excelente calidad de forma automatizada.

En el caso de que este problema sea detectado en el sitio de la obra, se deberá corregir utilizando oxiacero con personal capacitado y después de eso aplicar el disco de desbaste apropiado para formar biseles.



Foto # 7: Biselado en patines de vigas



Foto # 8: Biselado en columnas

PROBLEMA #2:

Distorsión por exceso de calor debido al procedimiento de soldadura en refuerzos internos de columnas. En la Foto #9 podemos observar el refuerzo que va colocado en donde se realiza la unión viga-columna y como éste ha sido soldado utilizando cordones de soldadura continua a ambos lados de cada refuerzo. El calor emitido por la soldadura provoca que los flejes que conforman las paredes de la columna se deformen lateralmente en ese punto. (Foto #10). (Ver Anexo 1)

SOLUCIÓN:

La deformación del fleje puede ser rectificada colocando topes laterales alineados y adosando los flejes a estos topes. Se puede evitar la deformación del elemento cambiando el procedimiento de soldado utilizando cordones intermitentes tal como se indica en la Foto #11. En la Foto #12 se puede apreciar cómo la alineación ha sido corregida. Una vez que los cuatro flejes han sido instalados, la columna pasa al área donde está ubicada la máquina del arco sumergido para completar las soldaduras de esquina.

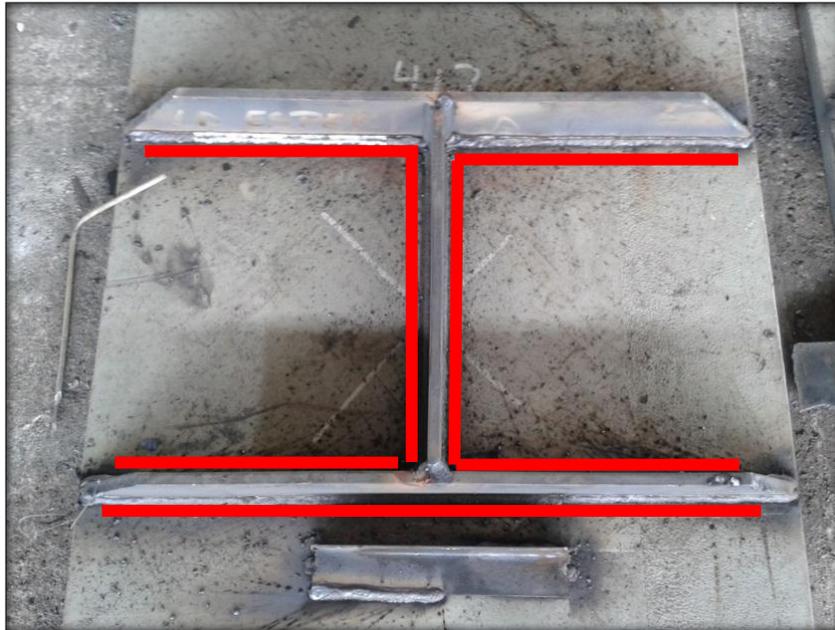


Foto # 9: Refuerzo Interno en Unión Viga-Columna con soldadura continua a ambos lados



Foto # 10: Placa Deformada

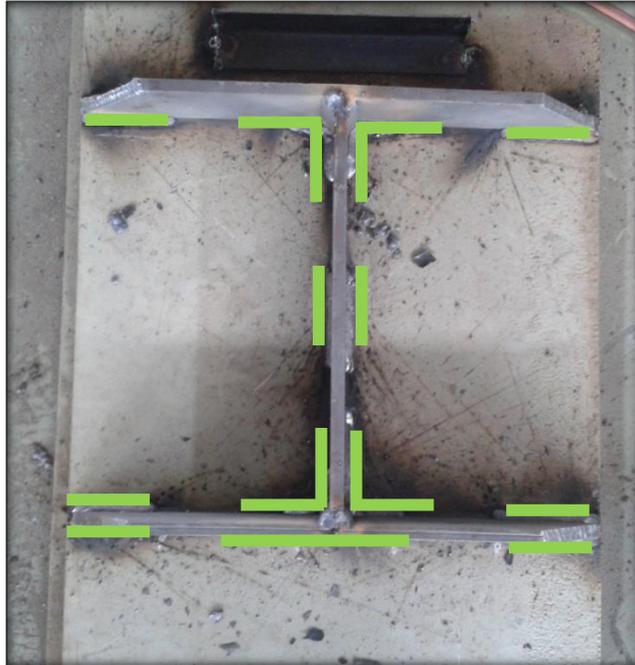


Foto # 11: Refuerzo Interno en Unión Viga-Columna con soldadura intermitente



Foto # 12: Fleje enderezado en proceso de armado

ANTECEDENTE: Antes de proceder a elaborar la soldadura longitudinal de esquina entre los flejes de las columnas fueron elaboradas unas probetas de ensayo, en las cuales se detectó el siguiente problema:

PROBLEMA #3:

Disminución de espesor en cordón soldadura al finalizar la unión de flejes de columnas. Esto se debe a que la aguja de la máquina del arco sumergido que se desplaza a un mismo nivel, al llegar al extremo de la junta desciende por la ausencia del metal base, provocando una disminución del espesor del cordón de soldadura.

SOLUCIÓN: Se colocaron placas de respaldo en los extremos de la columna al finalizar la junta para que el arco sumergido siga manteniendo su continuidad. Posteriormente se cortan estos respaldos y se obtiene un cordón de espesor uniforme en toda la extensión de la junta.



Foto # 13: Terminación adecuada de cordón de soldadura utilizando placas de extremo

Nota: La soldadura debe ser continua y el espesor debe ser uniforme a todo lo largo de la unión.



Foto # 14: Segunda pasada de soldadura con arco sumergido en una probeta de columna con placas de extremo



Foto # 15: Columna soldada con arco sumergido

PROBLEMA #4:

Lentitud en producción de uniones soldadas de esquinas de columnas.

Para soldar en las esquinas de las columnas había que realizar tres pases de soldadura con el arco sumergido, totalizando 12 pases por columna a fin de llegar al espesor requerido. El número de cordones totales generaban un tiempo excesivo de fabricación retrasando la producción de columnas.

SOLUCIÓN:

Con el fin de acelerar el proceso de fabricación y en conjunto con la fiscalización se decide traslapar 4 mm de una cara de la columna con la cara subsecuente. Esto permitió generar un respaldo para la soldadura de arco sumergido y llegar al espesor de soldadura solicitado (10mm) con un solo pase. El traslape permitió también que la soldadura de arco sumergido tenga un respaldo en el cual pueda fijarse para que el calor no consuma los filos de los flejes de la columna. Para validar esta solución se elabora una probeta de la unión de flejes para la conformación de las columnas, la cual se puede apreciar en el Gráfico #16. Se verifica el traslape anteriormente mencionado y los espesores de soldadura en esta unión.



Foto # 16: Probeta de Columna



Foto # 17: Soldadura con arco sumergido en probeta de columna



Foto # 18: Sobreespesor de 4 mm

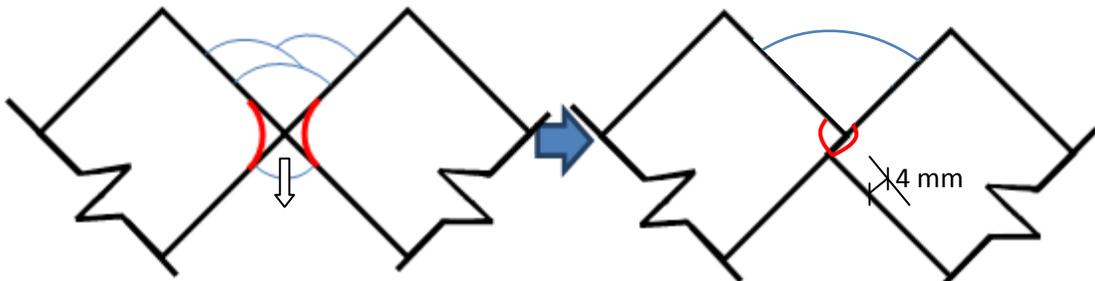


Gráfico # 19: Soldadura en columnas antes y después del traslape

PROBLEMA #5:

Espesores insuficientes de cordones soldadura en las uniones patín-arma. Esta unión es realizada con proceso MIG semiautomático. El espesor del cordón dependerá netamente de la habilidad y destreza del operador, en algunos casos no se llegaba al espesor requerido. Es por esto que el personal involucrado en soldadura debe contar con su PQR (Personal Qualification Record) según el Código ANSI/AWS D1.1-2010. (Ver Anexo #3)

SOLUCIÓN:

Durante el proceso de inspección se miden los cordones de soldadura utilizando una galga. Esta medición se debe realizar mínimo en 5 lugares en toda la extensión de la viga, llenando el registro de soldadura para cada uno de los elementos fabricados. Aquellos lugares donde la medición revele espesores insuficientes se deben de resoldar hasta llegar al espesor necesario.



Foto # 20: Galga para medir espesor de cordones de soldadura en unión patín-arma



Foto # 21: Inspección al espesor de cordones de soldadura por parte del Ingeniero de Calidad



Foto # 22: Soldadura en vigas

PROBLEMA #6:

Espesor insuficiente de película seca de pintura (EPS) en columnas y vigas. Al verificar con el calibrador se evidencia que en los flejes de las columnas y vigas, el espesor de película seca de pintura no llegaba al mínimo acordado de 70 micras en planta.

SOLUCIÓN:

En las columnas se preparó la superficie con sand-blasting, para proceder luego a la fase de pintado utilizando epóxico. El espesor de película seca de pintura era medido utilizando un calibrador digital marca MITOMO.

En las vigas se trabajó con anticorrosivo hasta completar las 70 micras de pintura en planta.



Foto # 23: Medición de espesores de pintura con micrómetro



Foto # 24: Vigas pintadas con espesores insuficientes

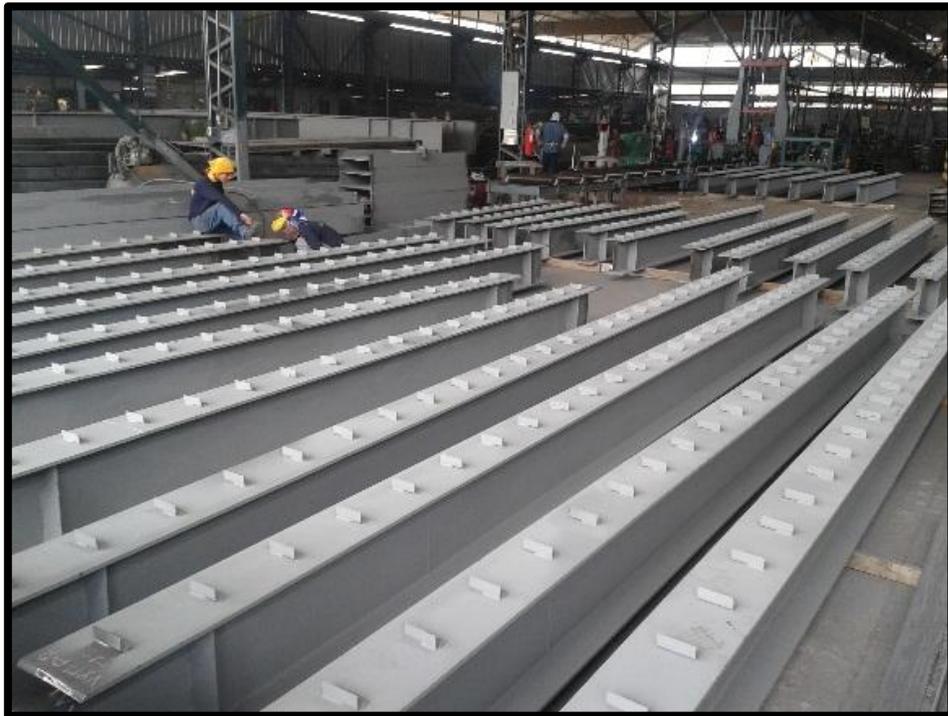


Foto # 25: Vigas repintadas (70 micras de espesor)

PROBLEMA #7:

Perdida de identificación de elementos por falta de organización. Debido a la gran cantidad y a las diferentes medidas de cada uno de los elementos producidos en planta, las piezas son marcadas con una codificación en los patines o el alma. Si este registro no se lleva adecuadamente, el código de los elementos puede perderse al momento de entrar a la fase de pintado, lo que ocasiona desorganización, ya que se pueden duplicar innecesariamente los elementos.

SOLUCIÓN:

Se empezó a marcar los elementos en el momento en el que salían de la fase de armado. Una vez que pasaban por la fase de resoldado se verificaba que el elemento siga marcado para que se proceda a la fase de pintado. En la fase de pintado se cubría los extremos en donde estaba marcada la codificación de los elementos. Antes de detectar este problema, la codificación era colocada en el metal base de las vigas, utilizando un marcador blanco, posteriormente se empezó a utilizar un marcador amarillo para poder detectar la codificación de los elementos.



Foto # 26: Codificación de viga



Foto # 27: Codificación de vigas antes de ser pintadas



Foto # 28: Codificación de vigas en campamento



Foto # 29 Vigas con sus respectivas codificaciones

MONTAJE

PROBLEMA #8:

Pandeo del alma debido al calor emitido por la soldadura, provoca alabeo en el alma. Puede provocar roturas en la unión viga-columna debido al peso de la misma.

SOLUCIÓN:

Colocación de tapas verticales o placas en finalización del alma para rigidizar el extremo de la viga. De esta manera se evita la flexión de la misma.



Foto # 30: Pandeo del Alma



Foto # 31: Placa rigidizadora frontal

PROBLEMA #9:

Posible deformación de los patines y aplastamiento del alma debido a cargas puntuales. Esto puede provocar un hundimiento de los patines de la viga cargadora.

SOLUCIÓN:

A fin de evitar el aplastamiento del alma se colocan atiesadores verticales en ambas caras del elemento, para que la carga puntual no produzca daños en la viga y se pueda asegurar la transferencia de carga hacia el siguiente elemento. En donde la carga puntual es aplicada, se pueden producir fallos debidos al aplastamiento del alma. Puede ser pandeo localizado (cripling) en la proximidad de la carga donde se concentran las deformaciones transversales a pandeo (buckling) del alma entre las dos alas. (Capítulo 6 - Miembros en Flexión y Flexo compresión)¹⁹



Foto # 32: Posible aplastamiento del alma por ausencia de rigidizadores y solución al problema.

PROBLEMA #10:

Placas de refuerzo en uniones de tramos de columnas. Los empates de tramos de columnas deben ser realizados en zonas alejadas de los nudos a fin de que los esfuerzos sean los menores posibles (Ver Anexo 2). No se debe irrespeter el $L/3$, considerando que L es igual a la altura del entrepiso. Al estar cerca del tercio medio estas uniones se ven comprometidas ya que los esfuerzos mayores se producen en los nudos o uniones. Es por esto que es preferible que las uniones de tramos de columnas sean realizadas a una distancia mayor a $L/3$. De preferencia $L/2$, lo que equivale a la mitad de la altura de entrepiso.

SOLUCIÓN:

Se detecta casos en que los empates se producen muy cerca del nudo donde están los mayores esfuerzos. Se refuerza la unión soldada utilizando flejes adicionales formando un anillo. Primero se esmerila la unión y luego se procede a colocar el refuerzo. Estas placas de refuerzo son del mismo espesor de los flejes de las columnas.



Foto # 33 Soldada de refuerzos en uniones de tramos de columnas



Foto # 34: Colocación de refuerzos en unión de tramos de columna menor a L/3



Foto # 35: Esmerilado, Colocación y Pintado de refuerzos exteriores en columnas

PROBLEMA #11:

Desplome en vigas de borde en voladizo. Alteran la fachada del edificio y por ende en cómo se verá la estructura al ser finalizada.

SOLUCIÓN:

Se rectifican las medidas de las vigas que producen el desplome. Aquellas vigas que se encuentran más largas se las corta para reducir su dimensión. En el caso de ser viga corta, se la alarga hasta alcanzar la medida necesaria. Se busca corregir la fachada del edificio realizando estas modificaciones a los elementos que alteran la vista lateral y frontal del mismo.



Foto # 36: Fachada de edificio desplomado



Gráfico # 37: Fachada de edificio desplomado

PROBLEMA #12:

Espesor de soldadura insuficiente en patín inferior de vigas principales.

De acuerdo a los planos estructurales, los patines inferiores de las vigas principales debían de tener cordones de filete de 10 cm de lado. Según el código AWS, los espesores de soldadura mínimos son cordones de 10 mm por lo que las especificaciones mínimas estarían acorde al código (ANSI/AWS Standard Methods for Mechanical Testing of Welds (US Customary Units), 2007). La gran mayoría de cordones no respetaban el espesor anteriormente mencionado. En aquellas uniones en donde no se respetaba el cateto, la soldadura no trabajaba con el 100% de eficiencia ya que estaba incompleta. Esto compromete la ductilidad de la unión.

SOLUCIÓN:

Se procedió a revisar con una galga cada uno de los cordones de los patines inferiores de las vigas principales. Se completó el cordón de soldadura hasta que cumpla con el espesor mínimo recomendado. Se los identificó en obra marcando en la cara de la columna adyacente, un triángulo con los catetos de soldadura de cada una de las vigas que no cumplían el espesor mínimo solicitado y un visto a aquellas vigas que si cumplían. También se identificó estos elementos en un plano para la posterior revisión de correcciones. Aquellas uniones que carecían de soldadura fueron resoldadas para poder llegar a los espesores solicitados en el diseño. Posteriormente se volvió a chequear haciendo uso de una escalera y una galga para verificar que se había cumplido con lo solicitado.

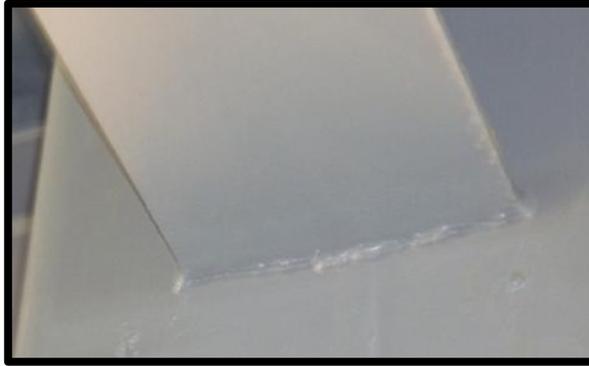


Foto # 38: Cordones insuficientes de patín inferior de vigas principales

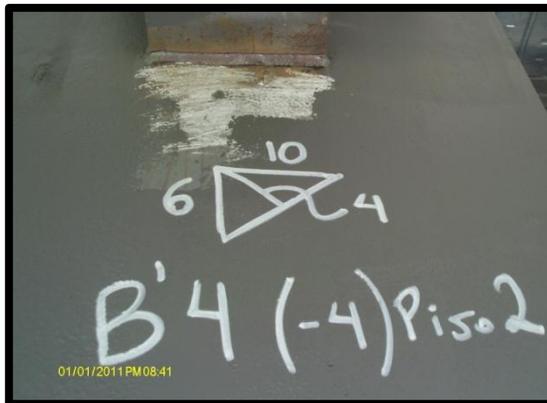


Foto # 39: Triángulo con dimensiones de soldadura



Foto # 40: Soldadura con medidas correctas

PROBLEMA #13:

Poca separación entre las tuercas de placas base y la cara de la columna. Debido a que las columnas aumentaron la dimensión de su sección, el espacio que existía entre las tuercas y la cara de la columna se redujo. Esto provocó que la utilización del torquímetro para apretar dichas tuercas se vuelva una maniobra complicada. .

SOLUCIÓN: Se empezó a apretar las tuercas ubicadas en las placas de las columnas antes de que la unión placa –columna sea rematada. Una vez apretadas las tuercas se procedía a rematar la unión columna-placa base.



Foto # 41: Utilización de torquímetro



Foto # 42: Separación entre tuerca y cara de columna

PROBLEMA #14:

Procedimiento erróneo para soldar uniones de vigas

columnas. Las platinas de respaldo deben ser soldadas adecuadamente. Existen platinas de respaldo que quedan perdidas (acero) y existen platinas recuperables (cobre). Es importante saber qué tipo de platina es la que se va a colocar y hacerlo de la manera como se indica en el detallamiento sísmico, asegurándose de que lleve colocada soldadura en el lado adecuado y en las proporciones correctas.

SOLUCIÓN:

Se procedió a realizar un mejor control de la utilización de las platinas. Cada platina se utiliza para un caso especial. La platina de acero que se utiliza para respaldar los cordones de soldadura del patín superior de la viga queda pérdida en la unión del elemento viga columna, mientras que la platina de respaldo de cobre se coloca en el patín inferior de la viga y debe ser retirada antes de realizar el pase inferior de soldadura.



Foto # 43: Soldadura en platina de respaldo en patín superior de viga.



Foto # 44: Soldadura patín superior e inferior de unión viga-columna



Foto # 45: Separación entre unión viga-columna patín inferior

PROBLEMA #15:

Ausencia de soldadura continúa en atiesadores y rigidizadores en vigas. Estos elementos rigidizan el alma de la viga para evitar posibles deflexiones que pueden afectar la integridad del elemento.

SOLUCIÓN:

Resoldar los lugares faltantes a ambos lados de los atiesadores horizontales y rigidizadores verticales con cordones continuos de soldadura. Se debe pintar una vez que se haya resoldado, ya que la soldadura es más propensa a afectarse por la oxidación que el metal base de los flejes.



Foto # 46: Rigidizadores horizontales y verticales sin soldar

PROBLEMA #16:

Soldadura con deficiencias e imperfecciones en uniones de patines de vigas curvas. Esto produce cortes irregulares en el steel panel y problemas en el momento de la fundición al vaciar hormigón. (Ver Anexo #4)

SOLUCIÓN:

Para solucionar la deficiencia de soldadura se procedió a fabricar las vigas curvas uniendo dos flejes rectos, produciendo un sesgo en los extremos en donde se quería dar la curvatura. Se soldaba tanto la parte superior como la parte inferior de la unión para lograr que ambas partes se encuentren unidas perfectamente.



Foto # 47: Vista inferior de doblez de viga curva

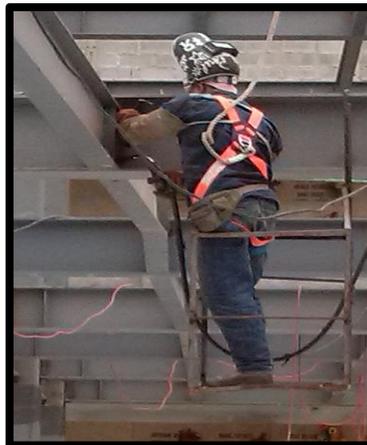


Foto # 48: Doblez para viga curva

PROBLEMA #17:

Altura incorrecta de malla de refuerzo. Acero de refuerzo en losas y altura de mallas electrosoldadas deben estar a la altura adecuada según planos de diseño ya que de lo contrario no cumplirán su función y se producirá agrietamiento en la losa.

SOLUCIÓN:

Utilizar más separadores en la losa. Se utilizaron pequeños cubos de mortero denominadas “separadores” que ayudaban a elevar la altura a la que se encontraba la malla y mantenían constante la separación entre el acero de la malla y el hormigón del nivel de piso terminado.



Foto # 49: Maestras y malla electrosoldada, grieta en losa

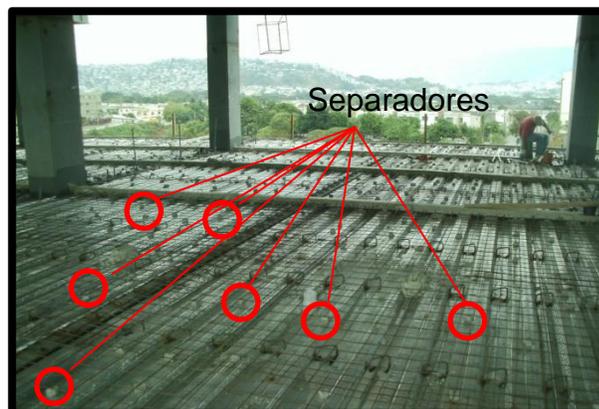


Gráfico # 50: Colocación de separadores para elevar la malla electrosoldada

PROBLEMA #18:

Mala alineación y colocación de conectores de corte.

Los conectores de corte deben ir alineados con la posición de las vigas ya que se deben soldar sus extremos a la viga de acero. El soldador iba colocando en una línea recta los conectores pero no verificaba la posición de la viga de acero bajo el steel deck. Se estaban colocando incorrectamente los conectores de corte debido a que no se estaba verificando la posición en la que se encontraba la viga.

SOLUCIÓN:

Se solicitó trazar una línea con marcador en el steel deck siguiendo la posición de la viga de acero para soldar correctamente los conectores.



Foto # 51: Conector de corte desalineado



Foto # 52: Conector de corte con un extremo fuera de la viga

PROBLEMA #19:

Suciedad en elementos montados. Técnicamente no es un problema estructural, pero sí afecta el estado del arte de la construcción ya que esta se ve perjudicada por cómo se muestran estos elementos en fachadas frontal y posterior.

SOLUCIÓN:

Se solicitó al contratista que se limpien los elementos antes de ser izados y montados. Inicialmente se solicitó que sean limpiados con agua y cepillo. Debido a la reincidencia del contratista en no acatar órdenes brindadas para la limpieza de estos elementos, se procedió a multarlo económicamente.

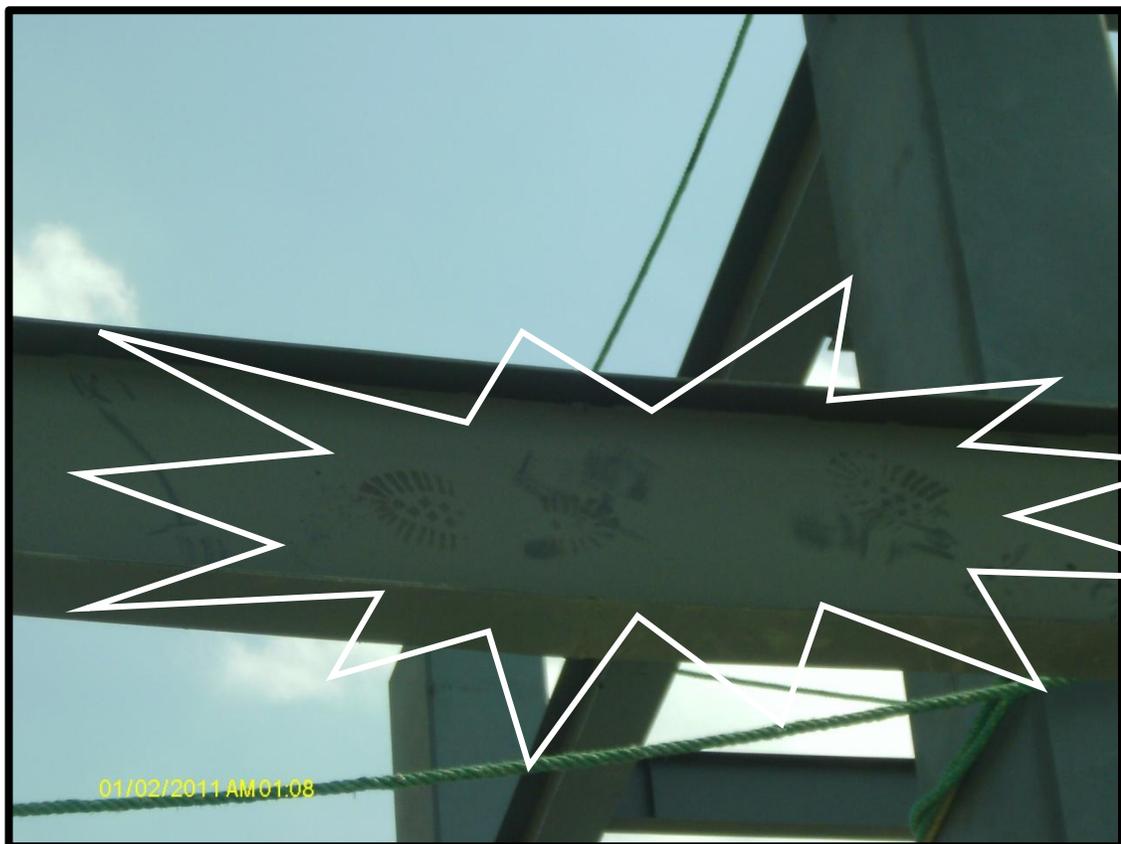


Foto # 53: Vigas izadas sucias con marcas de pisadas

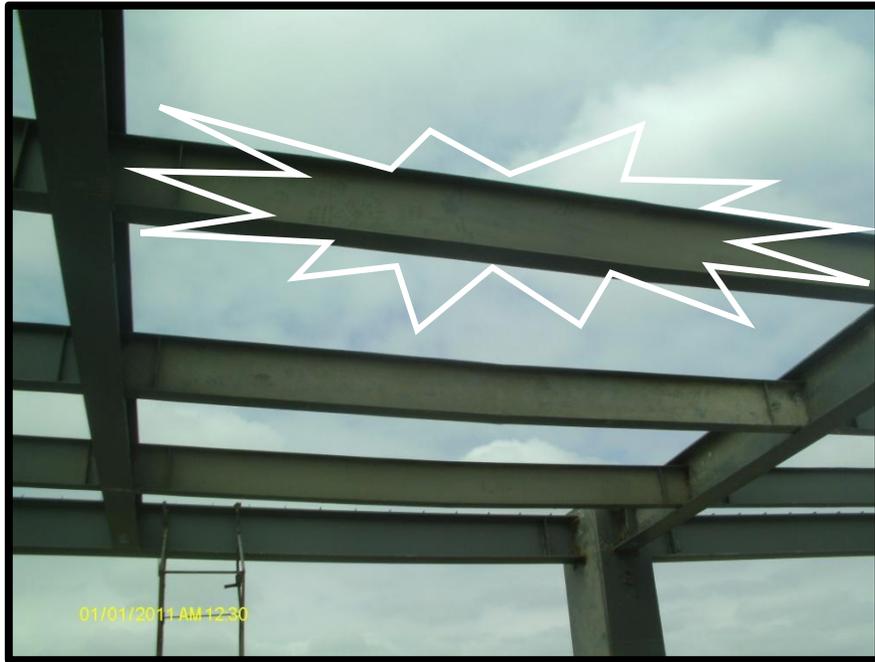


Foto # 54: Vigas Montadas Sucias en 8avo Piso



Foto # 55: Trabajador limpiando y repintando viga manchada

PROBLEMA #20:

Suplex y reforzamientos en vigas con deficiencias en proceso de soldado. Debido a factores como menor longitud de la requerida en elementos, el contratista adicionó refuerzos en los extremos en una sola cara del alma. Esto permitió el alargamiento de los elementos.

SOLUCIÓN:

Se procedió a examinar todos aquellos suplex y reforzamientos que se hicieron a las vigas. Se los identificó y marcó en un plano para su posterior revisión una vez que hayan sido rectificadas. Se imparte la sugerencia de soldar en todo el perímetro del refuerzo.



Foto # 56: Placa de Reforzamiento al finalizar viga



Foto # 57: Placa para corregir patín de viga

CAPITULO 5: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA SITUACIÓN PRÁCTICA.

5.1 Conclusiones

1. Los problemas y patologías pueden presentarse en cualquier etapa de la construcción pero igual se debe buscar una solución de manera inmediata.
2. Algunos de los errores presentados se debieron a una incorrecta interpretación del detallamiento en los planos estructurales.
3. Los problemas enunciados en este trabajo se aplican para la gran mayoría de obras de estructuras metálicas.
4. De la experiencia en fiscalización de obras, se puede afirmar que algunos de los problemas se debieron a la falta de criterio de los trabajadores y a la falta de supervisión del personal técnico del contratista encargado del control de calidad.
5. Todos los errores detectados en este trabajo hubiesen afectado el comportamiento estructural, de no haberse implementado la solución a tiempo. Hay que recordar que algunas veces, la suma de errores constructivos en un proyecto es lo que lleva a daños estructurales severos.
6. La participación efectiva de una fiscalización técnica y competente permite realizar un trabajo de garantía de calidad para identificar, evitar y corregir los problemas de patologías estructurales.
7. Debido a la muy escasa información que existe sobre este tema en nuestro medio, este trabajo representa un esfuerzo significativo para la mejora de los procedimientos constructivos en acero estructural.

5.2 Recomendaciones

1. A fin de cumplir con lo estipulado en las normas NEC 2014 se recomienda cumplir con la calificación de soldadura del personal de obra, del personal técnico encargado de control de calidad y de la fiscalización encargada de la garantía de calidad.
2. Todo el personal de soldadores en obra deberá contar con su respectiva *Certificación de soldadura*, PQR (*“Personal Qualification Record”*) a fin de aumentar la confiabilidad de los trabajos realizados por ellos.
3. De la experiencia en fiscalización en los trabajos de garantía de calidad se recomienda el cumplimiento de lo estipulado en el NEC14 sobre la implementación de los planos de fabricación y montaje en los que se detallan las secciones y calidad de material de cada uno de los elementos previo a la ejecución de los trabajos.
4. Todos los registros de la obra (liberaciones de elementos como vigas y columnas) deberán de ser archivados como parte del proceso de garantía de calidad de la obra. Esto garantizará la ejecución de un proceso de supervisión adecuada de los diferentes elementos de la estructura.
5. Se recomienda realizar un listado “checklist” de los detalles a cumplirse para la liberación de los elementos tanto en fabricación en montaje.
6. Para el control y monitoreo durante las etapas de fabricación y montaje se recomienda contar con la experiencia de profesionales vinculados a la construcción de estructuras en acero.
7. Todos los errores detectados en posteriores construcciones deben ser registrados y difundidos para garantizar un mayor conocimiento sobre las estructuras metálicas.
8. Los problemas enunciados en este trabajo corresponden a un pequeño grupo de los errores que se cometen diariamente utilizando acero. Se recomienda en un futuro ampliar y difundir este trabajo de investigación para identificar nuevos casos de defectos en la construcción en acero.

9. El personal que desee realizar una tesis de investigación a futuro es recomendable que tenga un fundamento teórico y práctico en estructuras metálicas que le permita visualizar y entender los errores que se cometen en este tipo de obras.

5.4 Referencias bibliográficas

1. AISC 2007, Seismic Design Module 2. (2007). *American Institute of Steel Construction*. Chicago, IL.
2. ANSI/AISC 341-05 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. (s.f.). *American Institute of Steel Construction*. Chicago, IL.
3. ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. (s.f.). *American Institute of Steel Construction*. Chicago, IL.
4. ANSI/AISC 358-05. Prequalified Connections or Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. (s.f.). *American Institute of Steel Construction*. Chicago, IL.
5. MIDUVI. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Guayaquil, Ecuador: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
6. Felix Lasheras, Patología de la edificación Estructuras metálicas Acero
7. ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Building. (s.f.). *American Institute of Steel Construction*. Chicago, IL.
8. ANSI/AWS Standard Methods for Mechanical Testing of Welds (Metric Customary Units). (2000). *AWS B4.0 American Welding Society*. Miami, FL.
9. ANSI/AWS Standard Methods for Mechanical Testing of Welds (US Customary Units). (2007). *AWS B4.0 American Welding Society*. Miami, FL.
10. Leyton, A.Galvis, J.Reyes, I.Sarria, P. Chamorro, D. (2014) *Patologías de las estructuras del concreto y estructuras metálicas*
11. ASNT SNT TC 1a. (2001). *Recommended Practice for the Training and Testing of Nondestructive Testing Personnel*.
12. AWS Structural Welding Code Seismic Supplement. (2009). *AWSD1.8/1.8M American Welding Society*. Miami, FL.
13. Cassagne, A. (2009). *Especificaciones Técnicas de Construcción para PARM fabricados a partir de planchas soldadas*. Guayaquil, EC: Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral "Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra".
14. Emén, A. (2008). *Análisis, Diseño y Evaluación Sísmica de Pórticos Especiales de Acero Resistentes a Momento (PEARM) a base de planchas soldadas*. Guayaquil, EC: Tesis de grado, Escuela Superior Politecnica del Litoral, "Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra".

15. FEMA350. (Julio 2000). *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings*. Washington, DC.: Federal Emergency Management Agency.
16. GARCIA HERNANDEZ, D. E. (2008 Septiembre 02). *DESARROLLO Y APLICACION DEL ACERO ESTRUCTURAL EN OBRAS EN INGENIERIA MECANICA*. Mexico: Escuela Superior de Ingenieria Mecánica y Eléctrica.
17. Secretaria Nacional de Riesgos. (s.f.). Gye.
18. Ostrillion Steel Deck Catalogue, (2015). Sistema de paneles colaborantes para ejecución de losas mixtas.
19. BENDITO TORRIJA, A. (2015). INTRODUCCIÓN AL COMPORTAMIENTO Y AL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO Método de los estados límites. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES NÚCLEO UNIVERSITARIO "RAFAEL RANGEL" DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

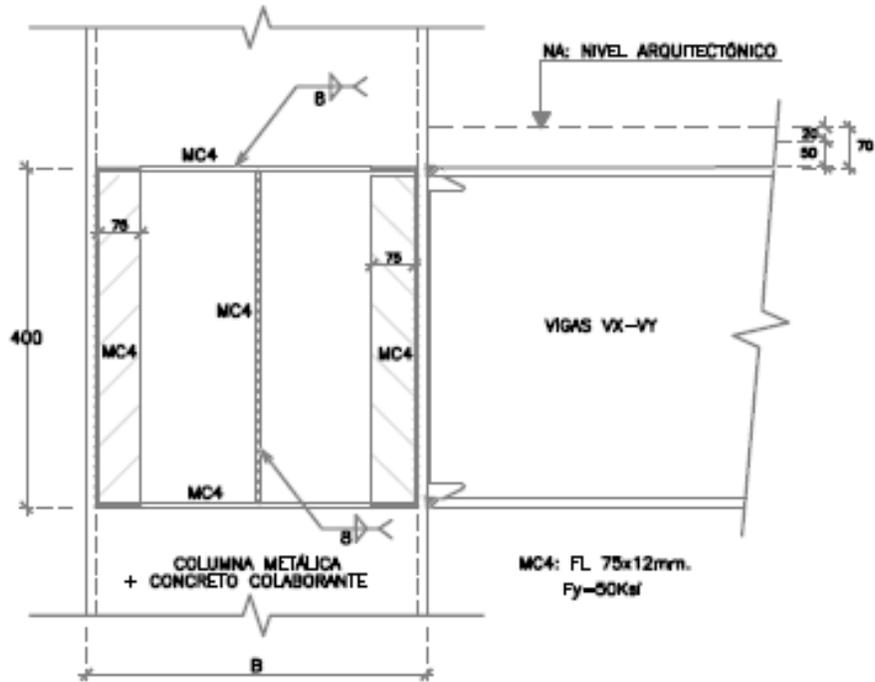
5.3 Anexos

Anexo 1 (Ver Problema #2)

MC4: ATIESADORES INTERIORES

Escala 1:10

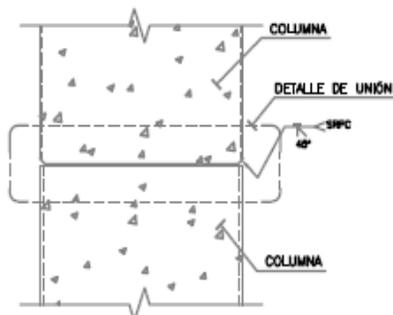
Dimensiones en mm



Anexo 2 (Ver Problema #10)

SDC3: CONEXIÓN SÍSMICA

UNIÓN DE TRAMOS DE COLUMNA

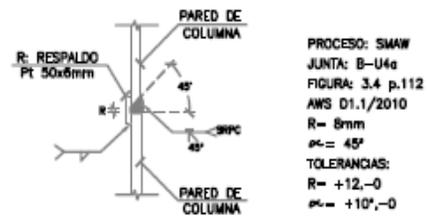


SDC: SOLDADURA DE DEMANDA CRÍTICA

DETALLE DE UNIÓN SDC3

Escala 1:5

Dimensiones en mm



ELECTRODO:
ESPECIFICACIÓN: AWS A5.5
CLASIFICACIÓN: E7018-A1
Ó SU EQUIVALENTE EN OTROS PROCESOS

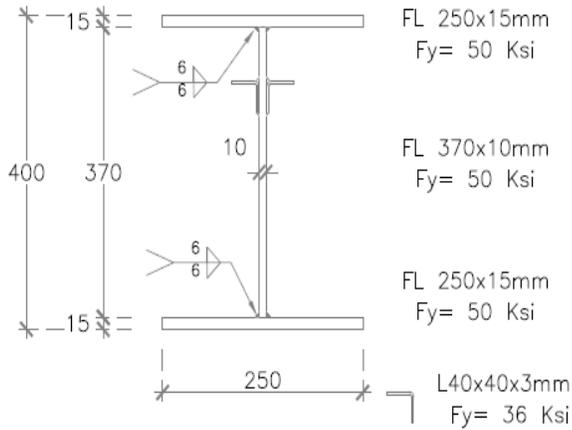
SRPC.- SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN COMPLETA.

Anexo 3 (Ver Problema #5)

CORTE 1-1'

Escala 1:10
Dimensiones en mm.

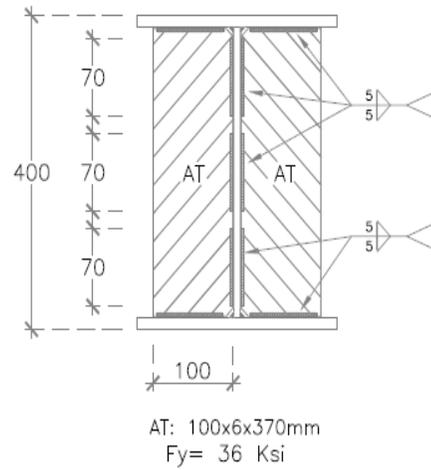
I 250x15x370x10mm



CORTE 2-2'

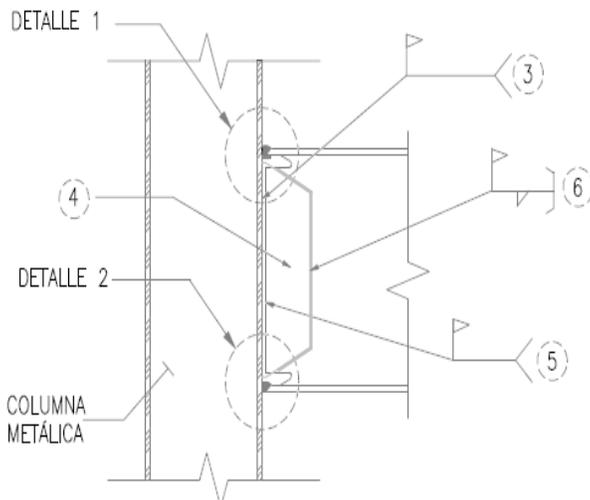
Escala 1:10
Dimensiones en mm.

I 250x15x370x10mm



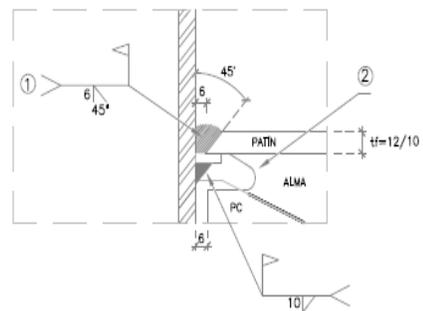
SOLDADURAS EN CONEXIÓN SÍSMICA VIGA-COLUMNA

FEMA 350 / ANSI AISC 348-05



UNIÓN VIGA-COLUMNA

DETALLE 1: PATÍN SUPERIOR



Vigas Curvas

