



ANÁLISIS DE LOS BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LA
HERRAMIENTA BIM PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
ELEMENTOS PREFABRICADOS EN ACERO.

Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil

Estudiante: Guido Alexis Díaz Alegría

Profesor Guía: Alejandro Ossandon Sasso

Agosto 2019

Santiago, Chile

Dedicatoria

Dedicado a mi esposa e hijos por la confianza incondicional puesta en mí, a mis padres y hermanos por siempre sentirse orgullosos de su hijo y hermanos.

SOLO USO ACADÉMICO

Agradecimientos

Agradezco a mi esposa, María Fernanda González Navarro, por haberme regalado lo más hermoso de la vida y siempre apoyarme en mis proyectos, a mis padres, Marisol y Luis, por formar mis valores y cuidarme siempre, a mis hermanos Luis y Néstor por ser mis amigos incondicionales y mis cómplices, a mis suegros Luis y Dolores por haber sido como unos padres, por confiar y apoyarme en todo momento.

A Rodrigo Jaramillo Gerente General de Proindar en esa época por incentivarme a tomar nuevos desafíos y Francisco Porré Gerente General de Renovatek por darme el último empujón para terminar este ciclo.

Al Ingeniero Civil, arquitecto y MBA. Alejandro Ossandon, docente de Unidad Mayor, por brindarme sus palabras de apoyo, fortaleza, respaldo y guía para que el presente proyecto finalice con éxito.

A mis amigos y compañeros de clase, con los cuales he compartido los años de formación a lo largo de mi vida académica.

Y a todas las personas que me extendieron su mano para ver este sueño hecho realidad.

Resumen

El presente Proyecto de Título consiste en analizar los beneficios internos de la ingeniería de detalle en la fabricación de un galpón de acero utilizando el sistema BIM, el aspecto técnico que involucra un proyecto de arquitectura en acero se expone de forma clara y precisa. En estas páginas se encontrarán desde una breve síntesis histórica del uso del hierro y acero en la construcción, hasta las respuestas más comunes en cuanto al diseño con acero, tanto desde el punto de vista arquitectónico, así como de premisas estructurales. El conocimiento del material, sus propiedades físicas y mecánicas explicadas en términos sencillos, así como una descripción del trabajo realizado en taller y en el departamento de diseño resultan en una mejor comprensión de todo el proceso que conlleva desde el diseño hasta la fabricación final de la obra. Durante el desarrollo del proyecto, la etapa del diseño tiene una mayor relevancia, ya que en ella se produce un mayor intercambio de modificaciones e ideas que condicionan la futura construcción del mismo. Gracias a la tecnología BIM utilizada en este proyecto, se puede tener un mejor control del proyecto completo en cada una de sus etapas, teniendo un buen manejo y acceso de la cantidad de información necesaria al nivel que se desee. Se trabaja en base a este modelo virtual con la información del proyecto de cada especialidad, logrando mejorar la manera en que se diseña y construye una obra.

Palabras Claves:

Acero

BIM

Estructuras Metálicas

Ingeniería de Detalle

Planificación

Soldadura

Summary

The present Project Title pretends to analyze the internal benefits of detailed engineering design in the manufacture process of a steel shed using the BIM system. Technical aspect that are involve into a steel architecture project is clearly and precisely exposed. In this pages you will find from a historical briefing synthesis of using iron and steel in constructions projects to the most comonn responses regarding steel design, from an architectural as well as structural point of view.

The knowledge of the materials, its physical and mechanical properties are explained in simple terms, as well as a detailed explanation of the work done in the workshop as well as in the design department resulting in a better understanding of the entire process that goes from the design to the final manufacture of the building.

During the development of the project, the design stage is one of the most important phases since there proyect may present a lot of modifications and changing ideas that condition the future construction of it.

Thanks to the BIM technology used in this project, you can have a better control of the entire project in each stage, having excelent management and access to the amount of information needed at the desired level. BIM technology works based on virtuals models providyng all the information needed for each specialty, managing and improving the way in which a proyect is designed and constructed.

Keywords:

Steel

BIM

Metallic Structures

Detail Engineering

Planning

Welding

Índice

Contenido

1	Estructuras Metálicas	3
1.1	Definición	3
1.2	Ventajas del acero	3
1.3	Desventaja del acero.....	3
1.4	Condiciones que Debe Cumplir Cualquier Estructura	3
1.5	¿Qué es una estructura metálica?	4
1.6	Estructura Metálica Principal	4
1.7	Estructura Metálica Secundaria.....	5
1.8	Tipos de Estructuras Metálicas.....	5
2	Definición de sistema BIM	7
2.1	Diferencias entre CAD y BIM.....	7
2.2	Aspectos en los que BIM destaca sobre CAD:.....	8
2.3	Aplicaciones en proyectos	9
3	Evolución del acero	11
3.1	Proceso de producción de acero	12
3.2	Composición del acero	13
3.3	Objetivos generales y particulares	14
3.4	Clasificación y utilización del acero en las estructuras.	16
3.4.1	Estructuras apoyadas en muros de carga.....	17
3.4.2	Construcción reticular.	17
3.4.3	Estructuras de acero de claros grandes.....	17
3.4.4	Estructuras combinadas de acero y concreto.	18
3.4.5	Aceros estructurales modernos.	18
3.4.6	Aceros de Carbono.	19
3.4.7	Aceros de alta resistencia y baja aleación.	19
3.4.8	Aceros de alta resistencia baja aleación y resistencia a la corrosión. ..	19
3.4.9	Aceros templados y revenidos.	19
3.5	Ventajas del acero como material estructural.....	22
4	Origen de sistema BIM	24

4.1	Evolución cronológica:.....	24
4.2	Características BIM.....	27
4.3	Dimensiones BIM.....	29
4.4	Niveles de desarrollo (LOD)	31
4.5	Beneficios para los diferentes agentes.....	33
5	Proceso y desarrollo del proyecto.....	36
5.1	La arquitectura.....	36
5.1.1	Definir las Expectativas / Objetivos del Proyecto	37
5.1.2	Elaborar el Diseño.....	37
5.1.3	Estimar los Costos.....	37
5.1.4	Presentar el Diseño.....	38
5.1.5	Guiar la Implementación del Diseño	38
5.1.6	Evaluar Modificaciones de Construcción	39
5.1.7	Liderar Equipos Multidisciplinarios.	39
5.2	Ingeniero Civil en obras civiles.....	40
5.2.1	Qué hace un ingeniero civil en obras civiles.....	41
5.2.2	Campo laboral de un ingeniero civil en obras civiles	41
5.2.3	Diferencia entre ingeniería civil e ingeniería civil en obras civiles	43
5.3	Constructor Civil	43
5.3.1	Donde se desarrollan	45
5.3.2	Historia de la Profesión de Constructor Civil	46
6	Detallamiento.....	49
6.1	Oficinas en Chile	52
6.2	Definición de funciones por cargo dentro de una oficina.	53
6.3	Flujo de Trabajo en Oficina:.....	55
6.4	Definiciones flujo de trabajo:	55
6.5	Envío y recepción de aprobación:	56
6.6	RFI's:.....	58
6.6.1	Recepción de RFI's	59
6.7	Normas AISC, ICHA.:	59
6.8	Chequeo de un proyecto	60
6.9	Software de detallamiento	60
6.9.1	SDS/2 Connect	61
6.9.2	Ejemplo de cómo funciona el SDS/2	62

7	Fabricación de estructuras metálicas.	63
7.1	Carga de datos del proyecto a software de control de producción	63
7.1.1	StruMis	63
7.2	Entrega de planos a maestranza.....	65
7.3	Planificación de producción	65
7.3.1	Control Documental	66
7.3.2	Adquisiciones	66
7.3.3	Check de proyectos	66
7.3.4	Programación de máquinas.	67
7.4	Fabricación de estructuras	67
7.4.1	Pedido de material.....	67
7.4.2	Transporte y recepción del material a maestranza	67
7.4.3	Enderezado	68
7.4.4	Trazado y preparación.....	69
7.4.5	Corte de material	70
7.4.6	Limpieza y preparación de juntas	74
7.3.6.1	Preparación de la superficie	74
7.4.7	Pre-armado en taller	74
7.4.8	Soldadura en taller.....	75
7.4.9	Sistemas Estructurales.....	79
7.5	Inspección de soldadura	87
7.5.1	Tintas Penetrantes	87
7.5.2	Partículas Magnéticas.....	88
7.5.3	Prueba por conducción eléctrica	90
7.6	Pintura en taller	91
7.6.1	Almacenamiento y mezclado	91
7.6.2	Aplicación	92
7.7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
7.7.1	CONCLUSIONES	95
7.7.2	RECOMENDACIONES	96
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

Índice Figura

Figura 1Diferencias entre BIM y CAD. Fuente Ana montilla, INESEM Busines	9
Figura 2AutoCad History Timeline. Fuente Autodesk blogs. 2017.....	25
Figura 3Concepto BIM. Fuente Aracons.exatto. 2017	27
Figura 4Formato de archivo estandarizado IFC para software de arquitectura.....	28
Figura 5 Dimensiones BIM. Fuente espaciobim. 2016.....	30
Figura 6Niveles de desarrollo. Fuente Structurmag. 2017	32
Figura 7Metodología BIM. Fuente Animum3d - Máster BIM. 2017	35
Figura 8Plano de estructuras para aprobación	57
Figura 9Plano de montaje para aprobación	57
Figura 10Aprobación de plano de montaje con comentarios.....	58
Figura 11RFI Enumerados para cambios	59
Figura 12Transporte del acero	68
Figura 13Enderezado	69
Figura 14Puntas de señalar	70
Figura 15Corte con cizalla	71
Figura 16Proceso Oxicorte convencional	72
Figura 17Proceso Oxicorte CNC	72
Figura 18Corte con arco de plasma.....	73
Figura 19Corte con arco de plasma CNC	73
Figura 20Corte con laser	74
Figura 21Posiciones de Soldadura, Uniones y conexiones de acero estructural.....	76
Figura 22Conexiones de perfiles y planchas por soldadura.....	76
Figura 23Tipos de soldaduras	77
Figura 24Biseles en los perfiles o planchas	77
Figura 25Zona afectada por el calor (ZAC – HAZ).....	78
Figura 26Placa base.....	79
Figura 27Pernos y uniones empernadas	80
Figura 28Columnas compuestas	81
Figura 29Perfiles para columnas.....	81
Figura 30Marco rígido con vigas de alma cerrada.....	81
Figura 31Marco rígido con vigas de alma abierta.....	82
Figura 32Larguero.....	82
Figura 33Tensor	83
Figura 34Arriostramientos	83
Figura 35Zonas que presentan deformación inelástica	85
Figura 36Comportamiento inelástico	85
Figura 37Armadura	86
Figura 38Tipos comunes de armaduras.....	86
Figura 39Interpretación de resultados Prueba acústica y magneto-acústica.....	89
Figura 40Herramientas para pintura.....	91
Figura 41Métodos de aplicación de pinturas	92
Figura 42Métodos de preparación de superficies.....	94

Índice Flujogramas

Flujograma 1Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014.....	50
Flujograma 2Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014.....	51
Flujograma 3Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014.....	52
Flujograma 4Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014.....	54
Flujograma 5Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014.....	62

SOLO USO ACADÉMICO

Introducción

Las diferentes formas en que se desarrolla un proyecto de construcción a lo largo de sus diferentes etapas han ido sufriendo cambios a lo largo de los años, y dado el aumento tanto de la magnitud como de la complejidad de estos, ha sido necesario mejorar la planificación y control entre todas las áreas, la gestión y comunicación entre especialistas, y todo lo que conlleva este proceso. La planificación que todos conocen no es suficiente para obtener mejores resultados, por lo que es necesaria la utilización de nuevas tecnologías y herramientas que ayuden en este aspecto. El modelo de Información para la Edificación/construcción o BIM por su sigla en inglés (Building Information Modeling) es el mayor cambio e implementación que se ha hecho para satisfacer esta necesidad. Esta es una metodología de trabajo integrada en la que se unen en un modelo virtual elementos con información paramétrica, y se controlan los procesos de construcción, diseño y operación de un proyecto durante sus distintas etapas de desarrollo. Es un proceso en que principalmente se administra una base de datos centralizada, una modelación de la obra con información que optimiza y facilita la manera de crear el proyecto. Gracias a las características de los softwares que se utilizan, se obtienen datos relacionados entre sí, por lo que en caso de que exista la necesidad de cambiar algún elemento o modificar parte del proyecto, se actualiza el modelo completo de manera automática. Así se puede agilizar la administración del mismo y se tiene un mayor control de la información, pudiendo detectar errores de diseño, interferencias de elementos e incluso cubriciones o análisis de costos del proyecto de manera rápida y efectiva. Esto principalmente evita la corrección de procesos en plena etapa constructiva, por lo que el ahorro de tiempo y optimización de recursos es significativo. Por lo tanto, al utilizar el sistema BIM se puede gestionar de manera óptima el proyecto en su totalidad. En nuestro país este tipo de modelo de trabajo no ha sido muy utilizada. Se han ido desarrollando proyectos de mayor complejidad y en algunos casos se ha tomado la decisión de cambiar la forma de trabajo hacia una metodología BIM, sin embargo, se va topando con nuevos desafíos para una efectiva implementación, los resultados no han sido siempre exitosos, o tienen costos elevados en diferentes aspectos, y por este motivo se produce un freno en la inclusión de estas opciones en las empresas de ingeniería.

Objetivo General

Analizar los beneficios de la herramienta BIM en el diseño y construcción de estructuras metálicas.

Objetivo Especifico

1. Dar a conocer los beneficios de BIM en la etapa de diseño del proyecto.
2. Dar a conocer los beneficios de BIM en la etapa de fabricación en maestranza.
3. Informar sobre la evolución del BIM y su aplicación en la construcción de las estructuras metálicas.
4. Describir el proceso de fabricación en maestranza con la herramienta BIM aplicada.

CAPITULO 1

1 Estructuras Metálicas

1.1 Definición

Una estructura es un conjunto de partes unidas entre sí que forman un cuerpo, una forma o un todo, destinadas a soportar los efectos de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo.

Las Estructuras Metálicas son las que la mayor parte de los elementos o partes que la forman son de metal (más del 80%), normalmente acero. A una estructura de este tipo se le puede llamar Estructura de Acero.

Recuerda que el acero es una aleación (combinación o mezcla) de hierro (Fe) y carbono (C) siempre que el porcentaje de carbono sea inferior al 2%. Este porcentaje de carbono suele variar entre el 0,05% y el 2% como máximo. A veces se incorpora a la aleación otros materiales como el Cr (Cromo), el Ni (Níquel) o el Mn (Manganeso) con el fin de conseguir determinadas propiedades y se llaman aceros aleados.

1.2 Ventajas del acero

Soporta grandes esfuerzos o pesos sin romperse.

- Es Flexible:

Se puede doblar sin romperse hasta ciertas fuerzas. Un edificio de acero puede flexionar cuando se empuja a un lado, por ejemplo, por el viento o un terremoto.

- Tiene Plasticidad:

Incluso puede doblarse (plasticidad) sin romperse. Esta propiedad permite que los edificios de acero se deformen, dando así la advertencia a los habitantes para escapar.

- Una estructura de acero rara vez se derrumba:

El acero en la mayoría de los casos se comporta mucho mejor en el terremoto que la mayoría de otros materiales debido a sus propiedades.

1.3 Desventaja del acero

Una de sus principales desventajas es que pierden sus propiedades en altas temperaturas, lo que hace que no se comporten bien en los incendios.

1.4 Condiciones que Debe Cumplir Cualquier Estructura

- Que sea Rígida
- Que la estructura no se deforme al aplicar las fuerzas sobre ella.
- Que sea Estable
- Que no vuelque.

➤ Que sea Resistente

Que, al aplicarle las fuerzas, cada uno de los elementos que la forman sean capaces de soportar la fuerza a la que se verán sometidos sin romperse o deformarse.

1.5 ¿Qué es una estructura metálica?

Una estructura metálica es cualquier estructura donde la mayoría de las partes que la forman son materiales metálicos, normalmente acero. Las estructuras metálicas se utilizan por norma general en el sector industrial porque tienen excelentes características para la construcción, son muy funcionales y su coste de producción suele ser más barato que otro tipo de estructuras. Normalmente cualquier proyecto de ingeniería, arquitectura, etc. utiliza estructuras metálicas.

Si observas en tu día a día podrás darte cuenta de que nuestras vidas dependen prácticamente del uso de los metales, echa un vistazo a tu alrededor y verás metal en todas partes: tu ordenador, tu mp3, las ventanas de tu casa, los edificios, los coches, etc. La mayoría de los metales son fuertes, conducen la electricidad y tienen un punto alto de fusión y ebullición. Tienen estas propiedades debido a su estructura. Aquí puedes ver Las Propiedades de los Materiales

Para que una estructura funcione bien tiene que ser estable, resistente y rígida. Estable para que no vuelque, resistente para que soporte esfuerzos sin romperse y rígida para que su forma no varíe si se les somete a esfuerzos, como por ejemplo el propio peso y el de las personas.

Cada estructura metálica está formada por la estructura metálica principal y la estructura metálica secundaria.

1.6 Estructura Metálica Principal

La estructura metálica principal se compone de todos aquellos elementos que estabilizan y transfieren las cargas a los cimientos (que normalmente son de hormigón reforzado). La estructura metálica principal es la que asegura que no se vuelque, que sea resistente y que no se deforme. Normalmente está formada de los siguientes elementos:

➤ Vigas Metálicas

Las vigas metálicas son los elementos horizontales, son barras horizontales que trabajan a flexión. Dependiendo de las acciones a las que se les someta sus fibras inferiores están sometidas a tracción y las superiores a compresión. Existen varios tipos de vigas metálicas y cada una de ellas tiene un propósito ya que según su forma soportan mejor unos esfuerzos u otros como pueden ser:

➤ viguetas

Son las vigas que se colocan muy cerca unas de otras para soportar el techo o el piso de un edificio, por ejemplo; cuando vemos un edificio que está sin terminar, suelen ser las vigas que vemos. o Dinteles: Los dinteles son las vigas que se pueden ver sobre una abertura, por ejemplo, las que están sobre las puertas o ventanas.

- Vigas de Tímpano

Éstas son las que soportan las paredes o también parte del techo de los edificios.

- Largueros

También conocidas como travesaños o carreras son las que soportan cargas concentradas en puntos aislados a lo largo de la longitud de un edificio.

- Pilares Metálicos

Los pilares metálicos son los elementos verticales, todos los pilares reciben esfuerzos de tipo axil, es decir, a compresión. También se les llama montantes.

1.7 Estructura Metálica Secundaria

Esta estructura corresponde fundamentalmente a la fachada y a la cubierta, lo que llamamos también subestructura y se coloca sobre la estructura metálica principal, y ésta puede ser metálica o de hormigón.

1.8 Tipos de Estructuras Metálicas

Partiendo de la base que las estructuras metálicas son artificiales ya que las ha inventado el ser humano podremos entonces destacar qué tipos de estructuras hay:

- Estructuras Abovedadas

Estas estructuras son todas aquellas en las que se emplean bóvedas, cúpulas y arcos para repartir y equilibrar el peso de la estructura, como por ejemplo puede verse en las catedrales o iglesias.

- Estructuras Entramadas

Estas son las más comunes ya que son las que utilizan la mayoría de los edificios que podemos ver en cualquier ciudad. Emplean una gran cantidad de vigas, pilares, columnas y cimientos, es decir, una gran cantidad de elementos horizontales y verticales para repartir y equilibrar el peso de la estructura. Estas estructuras son más ligeras porque emplean menos elementos que las abovedadas por ejemplo y así pueden conseguirse edificios de gran altura.

- Estructuras Trianguladas

Las trianguladas se caracterizan como su propio nombre indica por disponer sus elementos de forma triangular, suelen ser muy ligeras y económicas. Suelen utilizarse para la construcción de puentes y naves industriales. En estos casos hay dos formas que son las más utilizadas, la cercha y la celosía.

➤ Estructuras Colgantes

Las estructuras colgantes o colgadas son aquellas que utilizan cables o barras (tirantes) que van unidos a soportes muy resistentes (cimientos y pilares). Los tirantes estabilizan la estructura, como puede verse por ejemplo en los puentes colgantes.

➤ Estructuras Laminares

Todas aquellas formadas por láminas resistentes que están conectadas entre sí y que sin alguna de ellas la estructura se volvería inestable, como pueden ser las carrocerías y fuselajes de coches y aviones.

➤ Estructuras Geodésicas

Son estructuras poco comunes que están formadas por hexágonos o pentágonos y suelen ser muy resistentes y ligeras. Son estructuras que normalmente tienen forma de esfera o cilindro.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo 2

2 Definición de sistema BIM

El modelado de información de construcción (BIM, Building Information Modeling), también llamado modelado de información para la edificación, es el proceso de generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (también abreviado BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes.

BIM concierne tanto a la geometría, a la relación con el espacio, a la información geográfica, a las cantidades y las propiedades de los componentes de un edificio (por ejemplo, detalles de fabricantes de puertas). BIM puede ser utilizado para ilustrar el proceso completo de edificación, de mantenimiento e incluso de demolición (ahora se reciclan más materiales). Cantidades de materiales y propiedades compartidas pueden ser extraídas fácilmente. Además, ámbitos laborales, detalles de componentes y secuencias de actividades de construcción pueden ser aislados y definidos.

Los softwares BIM son capaces de lograr dichas mejoras por medio de representaciones de las partes y los componentes que están siendo utilizados en la construcción de un edificio. La representación asistida por computadora basada en objetos es un cambio sustancial en la tradicional elaboración basada en la representación vectorial.

2.1 Diferencias entre CAD y BIM

- Building Informating Modelling o Modelización de la información del edificio.
- Computer-Aided Desing o Diseño asistido por ordenador.

La diferencia principal reside en que CAD imita el tradicional estilo de dibujo a mano, solo que, con herramienta de software informático, utilizando elementos genéricos como líneas y tramas y obteniendo así un dibujo virtual. Mientras que BIM no es una herramienta de dibujo como tal, aunque también sirva para dibujar, su característica principal es el almacenamiento de información y la relación existente entre ella.

2.2 Aspectos en los que BIM destaca sobre CAD:

➤ Coherencia

cuando se hace un cambio en el proyecto, este aparece en planta, alzado, secciones, etc. Algo que en CAD difícilmente se puede conseguir. Esto es porque existe un único objeto en el que las plantas, alzados, secciones, etc., son solo representaciones de este, dónde tu puedes elegir qué parte quieres visualizar. Sin embargo, con CAD esto no ocurre puesto que cada representación, al igual que los dibujos en papel, es una entidad independiente, por tanto, cada cambio de diseño hay que cambiarlo manualmente en cada uno de los dibujos que se vea afectado.

➤ Fases

Al concentrar el mayor esfuerzo en fase de diseño como parte de la metodología BIM, nos permite detectar y resolver los distintos problemas e inconvenientes que hayan podido aparecer. De este modo el coste y esfuerzo posterior en fase de construcción es mínimo, puesto que ya hemos dejado definido el proyecto totalmente en las primeras fases.

➤ Propiedades físicas de los elementos

En BIM en lugar de usar líneas se crean suelos, muros, techos, puertas, ventanas, etc. los cuales pueden asignarse propiedades físicas tales como materiales, acabados, transmitancia térmica, precios, etc., y poder generar informes con ellos.

➤ Bases de datos relacionadas

Los elementos tienen propiedades y estas se guardan en una base de datos relacionada. Por tanto, sabiendo los datos de los elementos y el número de ellos con propiedades similares, se pueden generar informes de recuento de elementos constructivos, por ejemplo, carpinterías, que se actualiza automáticamente por lo que si cambiamos las propiedades de algo en el plano se cambiarán también en el informe y viceversa.

➤ Gestión de la información

Siempre que hemos trabajado en CAD hemos tenido el problema de la gran cantidad de archivos distintos que se generan (planos de alzados, planos por plantas de estructura, de cerramientos, de carpintería, de instalaciones, etc.) y con distintas versiones o actualizaciones que se van almacenando y dificulta para trabajar e imprimir, agravándose exponencialmente en función del número de trabajadores y la dificultad del proyecto. Esto con los programas BIM se facilita considerablemente gracias al archivo único y se aumenta el trabajo en grupo.

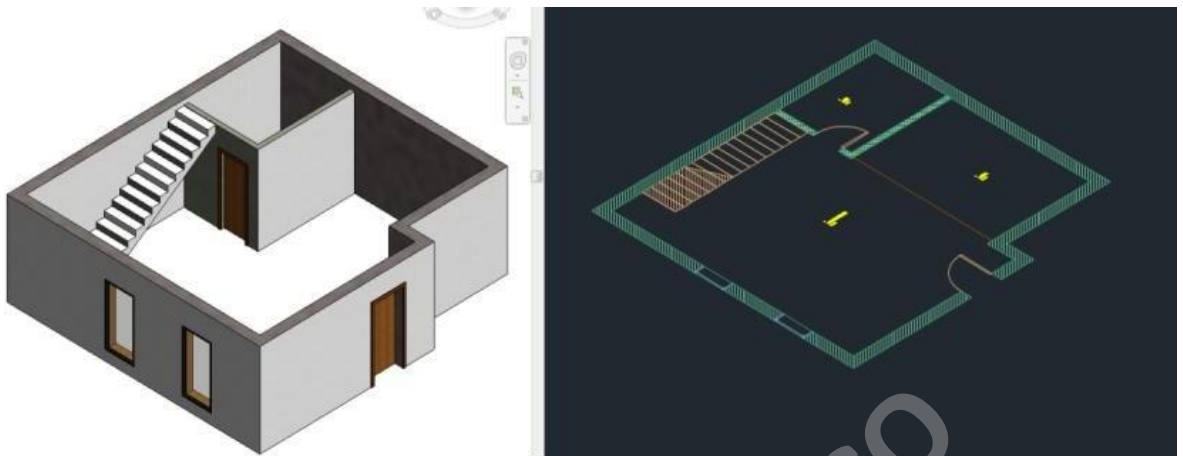


Figura 1 Diferencias entre BIM y CAD. Fuente Ana montilla, INESEM Business School. 2017

2.3 Aplicaciones en proyectos

Esta sería de manera esquemática la evolución de un proyecto de BIM:

➤ Diseño general

En primer lugar, los arquitectos representan el modelo que buscan. El diseño suele estar asistido por ingenieros para explicar viabilidad de la estructura o sus elementos.

➤ Diseño en detalle

Se diseñan todos los elementos, los ingenieros actúan como equipo realizando sketches y mejorando nivel de detalle (LOD), estos se juntan en el archivo grande. En esta parte suele haber cambios del diseño general del edificio, debido a causas estructurales o económicas.

➤ Agrupación de archivos

Después los técnicos BIM agrupan los archivos generados por los distintos equipos de trabajo en un solo archivo para su posterior chequeo.

➤ Búsqueda de incongruencias

Una vez agrupados los archivos, suelen reunirse los técnicos intervinientes para estudiar al detalle el modelo en busca de puntos de conflicto entre los elementos del edificio. Este proceso es de gran relevancia para corregir los posibles fallos de diseño que posteriormente nos pueden perjudicar en fase de construcción.

➤ Actualización del archivo

Tras resolver las incongruencias del proyecto se dispone a actualizar el archivo quedando así listo para entregar al cliente para su evaluación.

➤ Coordinación con contratistas y subcontratistas

Seguidamente se hace entrega del archivo a contratistas y subcontratistas para coordinar sus modelos y trabajos. Las subcontratistas suelen realizar sus modelos 3D y posteriormente se chequean para que no existan diferencias o conflictos entre los elementos que se van a instalar. En este punto se realizarán posibles cambios en función de mejoras en eficacia y seguridad.

➤ Actualización del archivo

Se actualiza el archivo después de los cambios de coordinación con las subcontratistas.

➤ Entrega de planos y modelos para la construcción

Una vez actualizado el modelo final y coordinados los trabajos con las subcontratistas, el proyecto está listo para entregar al cliente y se crean todos los planos listos para la construcción.

Al mismo tiempo puedes visualizar el modelo conforme al programa de trabajos, lo que permite ver en todo momento en que punto de la construcción nos encontramos.

En general te permite incrementar la productividad y mejora la seguridad de que lo que se representa es correcto y coherente.

Capítulo 3

3 Evolución del acero

Las aleaciones producidas por los primeros artesanos del hierro (y, de hecho, todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.C.) se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar y consolidar el hierro. El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero.

Aunque el primer metal que usaron los seres humanos probablemente fue algún tipo de aleación de cobre, tal como el bronce (hecho a base de cobre, estaño y algún otro aditivo), los avances más importantes en el desarrollo de los metales han ocurrido en la fabricación y uso del hierro y del acero. Actualmente el hierro y el acero comprenden casi el 95% en peso de todos los metales producidos en el mundo.

A pesar de los esfuerzos de los arqueólogos durante muchas décadas, no ha sido posible descubrir cuándo se usó por primera vez el hierro. El uso del hierro ha tenido una gran influencia en el avance de la civilización desde los tiempos más remotos y probablemente la seguirá teniendo en los siglos venideros. Desde el principio de la edad de hierro, alrededor del año 1000 a.C., el progreso de la civilización en la paz y en la guerra ha dependido mucho de lo que el hombre ha sido capaz de hacer con el hierro.

El acero se define como una combinación de hierro y pequeñas cantidades de carbono, generalmente menos del 1%. También contiene pequeños porcentajes de algunos otros elementos. Aunque se ha fabricado acero desde hace 2000 o 3000 años, no existió un método de producción económico hasta la mitad del siglo XIX.

El primer acero seguramente se obtuvo cuando los otros elementos necesarios para producirlo se encontraron presentes, por accidente cuando se calentaba el hierro. Con el paso de los años, el acero se fabricó probablemente calentando hierro en contacto con carbón vegetal.

La superficie del hierro absorbió algo de carbono del carbón vegetal que luego se martilló en el hierro caliente. Al repetir este proceso varias veces, se obtuvo una capa exterior endurecida de acero.

3.1 Proceso de producción de acero

Al primer proceso para producir acero en grandes cantidades se le dio el nombre de Sir Henry Bessemer de Inglaterra. Bessemer recibió una patente inglesa para su proceso en 1855, pero sus esfuerzos para conseguirla en Estados Unidos en 1856 no tuvieron éxito, ya que se aprobó que William Kelly de Eddyville, Kentucky, había producido acero mediante el mismo proceso siete años antes que Bessemer.

Kelly y Bessemer se percataron de que un chorro de aire a través del hierro fundido quemaba la mayor parte de las impurezas en el metal. Desafortunadamente, el chorro de aire eliminaba algunos elementos provechosos como el carbono y el manganeso. Después se aprendió que esos elementos podían restituirse añadiendo hierro especular, que es una aleación de hierro, carbono y manganeso; se aprendió además que, al agregar piedra caliza en el convertidor, podía removerse el fósforo y la mayor parte del azufre.

Antes de que fuese desarrollado el proceso Bessemer, el acero era una aleación costosa utilizada principalmente para fabricar cuchillos, tenedores, cucharas y ciertos tipos de herramientas cortadoras. El proceso Bessemer redujo los costos de producción por lo menos en un 80% y permitió por primera vez la producción de grandes cantidades de acero.

El convertidor Bessemer se usó en Estados Unidos hasta principios de este siglo, pero desde entonces se ha reemplazado con mejores métodos como el proceso de hogar abierto y el de oxígeno básico.

Aproximadamente 80% del acero estructural producido hoy en día en Estados Unidos, se hace fundiendo la chatarra de acero (principalmente de automóviles viejos) en hornos eléctricos. El acero fundido se vierte en moldes que tienen aproximadamente las formas finales de los miembros. Las secciones resultantes pasan por una serie de rodillos que los oprimen para darles su forma final. Los miembros resultantes tienen mejor superficie y menores esfuerzos residuales que el acero recién hecho.

El término hierro fundido se usa para materiales con contenido muy bajo de carbono, mientras que a los materiales con contenido muy alto de carbono se le llama hierro forjado. Los aceros se encuentran entre el hierro fundido y el hierro forjado y tienen contenidos de carbón en el rango de 0.15% al 1.7%.

El primer uso del metal para una estructura tuvo considerable lugar en Shropshire, Inglaterra en 1779, ahí fue construido con hierro fundido el puente Coalbrookdale en forma de arco de 30.48 m de claro sobre el Río Severn.

Se dice que este puente fue un punto crítico en la historia de la ingeniería por que cambió el curso de la Revolución Industrial al introducir al hierro como material estructural.

El desarrollo del proceso Bessemer y avances subsecuentes, como el proceso de corazón abierto, permitió la fabricación de acero a precios competitivos, lo que estimuló el casi increíble desarrollo del acero estructural, que ha tenido lugar en los últimos 100 años.

3.2 Composición del acero

La materia prima para la fabricación del acero es el mineral de hierro, coque y caliza.

- Mineral de hierro

Tiene un color rojizo debido al óxido de fierro

- Coque

Es el producto de la combustión del carbón mineral (grafito) es ligero, gris y lustroso.

- Piedra caliza

Es carbonato de calcio de gran pureza que se emplea en la fundición de acero para eliminar sus impurezas.

Para convertir el coque en carbón mineral se emplean baterizo de hierro donde el carbón se coloca eliminándole el gas y alquitrán, después es enfriado, secado y cribado para enviarlo a los altos hornos.

El primer producto de la fusión del hierro y el coque se conoce como arrabio, el cual se obtiene aproximadamente a los 1650 0 C.

Una vez en el alto horno, los tres componentes se funden a los 1650 0 C, que aviva el fuego y quema el coque, produciendo monóxido de carbono el cual produce más calor y extrae el oxígeno, del mineral de hierro dejándolo puro. La alta temperatura funde también la caliza, que siendo menos densa flota en el crisol combinándose con las impurezas sólidas del mineral formando la escoria, misma que se extrae diez minutos antes de cada colada.

Para obtener una tonelada de arrabio, se requieren aproximadamente las siguientes cantidades de materia prima:

1600 Kg de mineral de hierro.

700 Kg de coque.

200 Kg de piedra caliza.

4000 Kg de aire inyectado gradualmente.

Los hornos de hoyo abierto se cargan con las cantidades indicadas, mismo que se introducen con algo de chatarra para reciclarlo mediante grúas mecánicas.

Además, se agregan 200 toneladas de arrabio líquido para completar la carga. Dentro del horno, la carga formada por 1/3 parte de chatarra y 2/3 partes de arrabio. Se refina por calor producido al quemar gas natural o aceite diésel y alcanzar temperaturas mayores a los 1650 °C.

Durante 10 horas se mantiene la mezcla en ebullición eliminando las impurezas y produciendo así acero. Algunos otros elementos como silicio, manganeso, carbono, etc., son controlados en la proporción requerida para el acero a producir.

La caliza fundida aglutina las impurezas de la carga retirándola de acero líquido y formando la escoria que flota en la superficie. Mientras tanto se realizan pruebas para verificar la calidad del acero.

Cuando la colada alcanza las especificaciones y condiciones requeridas se agregan "ferro ligas" (sustancias para hacer aleaciones con el hierro y dar propiedades especiales).

Después de alcanzar las condiciones de salida, la colada se "pica" con un explosivo detonado eléctricamente, permitiendo la salida del acero fundido para recubrirse en ollas de 275 toneladas cada una de donde se vacía a los lingotes de 9 a 20 toneladas.

3.3 Objetivos generales y particulares de factibilidad en edificación con estructuras de acero.

El ingeniero calculista debe aprender a distribuir y a proporcionar las partes de las estructuras de manera que puedan montarse prácticamente, que tengan resistencia suficiente y que sean económicas.

Una estructura no solo debe soportar con seguridad las cargas impuestas sino en forma tal que las deflexiones y vibraciones resultantes no sean excesivas, y alarmen a los ocupantes o causen grietas en ellas.

El proyectista siempre debe tener en mente la posibilidad de abatir los costos de la construcción sin sacrificar la resistencia.

Otro objetivo es el diseño de estructuras que puedan fabricarse y montarse sin mayores problemas. Los proyectistas necesitan conocer lo relativo a los métodos de fabricación

y deben adaptar sus diseños a las instalaciones disponibles. También deben aprender todo lo relativo al detallado y al montaje de las estructuras. Entre

más sepan de los problemas, tolerancias y márgenes de taller y campo, mayor será la posibilidad de que sus diseños resulten razonables, prácticos y económicos.

Debido a la creciente industrialización de los últimos años, se ha dado lugar a un notable desarrollo de la construcción a base de estructura metálica, tanto en el ámbito de la edificación industrial, que es el uso más frecuente, y en edificios de carácter urbano.

La innovación más trascendente, el nacimiento de una nueva era arquitectónica, se produjo gracias a la producción masiva del hierro y su introducción como elemento resistente. Es bien cierto que el hierro siempre ha desempeñado un papel importante en la Historia de la Humanidad y en la evolución de la cultura artesana. Desde hace aproximadamente 5000 años, las espadas, arados, hoces y martillos de hierro vinieron a sustituir a los utensilios de piedra y de madera. Pero solo hasta hace algunos años, en la construcción fue siempre un material de unión, un material auxiliar solamente. El desarrollo que ha tenido este material en la construcción en cuanto a fabricación y montaje lo ha llevado a formar parte importante de los materiales del constructor actual. Además de la industria de la maquinaria, también la ingeniería de caminos y obras públicas vino a beneficiarse principalmente de estos progresos, constituyendo así, una rama independiente de la Construcción, y como consecuencia, le dio al acero nuevos caminos de aplicación, como pueden ser: Tuberías de suministro y evacuación de aguas, puentes, canales, esclusas, líneas ferroviarias, etc.

Han contribuido a este desarrollo algunas características de la estructura metálica como pueden ser: reducidos plazos de construcción y montaje, prefabricación, posibilidad de reformas o ampliaciones, etc.

Hacia mediados del siglo pasado, el hierro se reveló como un material de construcción de primer orden.

Debido a sus propiedades resistentes se impuso a tal punto, que reemplazó a la madera en numerosas aplicaciones. Una de las principales ventajas fue la de permitir la construcción de entramados, cuyas reducidas secciones ocupaban mucho menos espacio que los materiales empleados hasta entonces, dando al conjunto de la estructura un aspecto de gran ligereza y permitiendo al mismo tiempo diseñar piezas portantes con claros más amplios.

Se produjo un desarrollo prodigioso en lo que a producción se refiere, conjuntamente las instalaciones industriales requerían edificios más espaciosos, de claros cada vez mayores, hasta tal punto que las cualidades del hierro fueron insuficientes.

Los progresos de la siderurgia permitieron poner a disposición de los constructores aceros estructurales que respondían perfectamente a las nuevas necesidades, algunas cualidades que el hierro no proporcionaba, por lo que su producción fue desplazada por la del acero.

Las acerías crearon materiales de propiedades mecánicas bien definidas, permitiendo índices de trabajo más elevados; por otra parte, el ingeniero, con ayuda de nuevos medios de investigación, se dedicó a calcular con mucha más precisión los esfuerzos que solicitan las piezas de una construcción.

Hasta aproximadamente 1930, las uniones se realizaban exclusivamente por remachado y atornillado. A partir de esta misma fecha, la soldadura eléctrica se ha generalizado, aportando profundas modificaciones en el campo de la construcción metálica.

Sin embargo, la siderurgia se encontró frente a un nuevo problema. No bastaba con producir aceros de propiedades mecánicas determinadas, sino que era preciso que representasen propiedades químicas que le confiriesen al elemento la necesaria soldabilidad, ya que este nuevo método de unión fue preferido por la mayoría de los constructores por su rapidez y alta efectividad.

En la actualidad, el problema ha sido resuelto. Las acerías producen, bajo demanda, aceros de calidad garantizada para el soldado. Además, se obtiene industrialmente en los altos hornos. Como fuente de calor se emplea el carbón de coque y la electricidad. Para conseguir los aceros y hierros dulces se emplean los hornos de pudelado o por medio de los convertidores de Bessemer y Thomas, en los que se oxidan las diferentes impurezas, siguiendo un ciclo fijo en su eliminación, formándose escorias o separándose en forma gaseosa.

3.4 Clasificación y utilización del acero en las estructuras.

Las estructuras de acero para edificios se clasifican de acuerdo con su tipo de construcción en uno de los cuatro grupos siguientes:

- Apoyadas en muros de carga.
- Reticular
- Estructuras para grandes claros.
- Combinada de acero y concreto.

3.4.1 Estructuras apoyadas en muros de carga.

La construcción a base de muros de carga es el tipo más común de construcciones comerciales ligeras de una planta. Se pensaba que este tipo de construcción tenía un límite comercial de 2 a 3 pisos. Sin embargo, se han llevado a cabo investigaciones recientes relativas a la construcción con muros de carga y se han descubierto que los muros de carga pueden ser bastante económicos en edificios de hasta 10 o 20 niveles.

La construcción de muros de carga no es muy resistente a cargas sísmicas y tiene desventajas de montaje para edificios de más de un piso, en tales casos es necesario

colocar los miembros estructurales de acero piso por piso; y alternar el trabajo de albañiles y montadores.

Para construcciones pequeñas, ya sean comerciales o industriales y cuando los claros no son mayores de 10 o 12 m, la construcción con muros de carga es bastante económica. Si los claros son más grandes, se hacen necesarios muros más gruesos y se utilizan castillos para asegurar la estabilidad.

3.4.2 Construcción reticular.

En la construcción reticular las cargas se transmiten a los cimientos mediante una retícula de vigas y columnas de acero. Las losas de piso, divisiones, muros exteriores, etc.; descansan en su totalidad sobre la retícula.

A este tipo de estructura que puede montarse a grandes alturas, a menudo se le llama construcción de vigas y columnas.

En la construcción de vigas y columnas, la estructura consta usualmente de columnas espaciadas a 6, 8 o 10 m, y de trabes principales y vigas secundarias conectadas entre sí, y a las columnas en ambas direcciones, en cada nivel de piso.

En la construcción reticular, las paredes descansan sobre la estructura de acero y generalmente se les menciona como muros de relleno o muros ciegos. Las vigas que soportan las paredes exteriores se llaman vigas de fachada.

3.4.3 Estructuras de acero de claros grandes.

En un gran porcentaje de construcciones actuales, se ha utilizado la combinación de concreto reforzado y acero estructural. Si se utilizaran columnas de concreto reforzado en edificios muy altos, tendrían que ser extremadamente gruesas en los pisos bajos y ocuparían demasiado espacio. Generalmente se usan columnas de acero embebidas y ligadas a concreto reforzado y se conocen como columnas compuestas

3.4.4 Estructuras combinadas de acero y concreto.

En un gran porcentaje de construcciones actuales, se ha utilizado la combinación de concreto reforzado y acero estructural. Generalmente se usan columnas de acero embebidas y ligadas a concreto reforzado y se conocen como columnas compuestas.

3.4.5 Aceros estructurales modernos.

Las propiedades del acero pueden cambiarse variando las cantidades presentes de carbono y añadiendo otros elementos como silicio, níquel, manganeso y cobre. La composición química del acero es de suma importancia en sus efectos sobre sus propiedades tales como la soldabilidad, la resistencia a la fractura, etc.

La A.S.T.M especifica los porcentajes exactos máximos de los materiales, que se permiten en los aceros estructurales. Aunque las propiedades físicas y mecánicas de los perfiles de acero las determina principalmente su composición química, el proceso de laminado, la historia de sus esfuerzos y el tratamiento térmico aplicado.

En las décadas pasadas, un acero estructural al carbono designado como A-36 y con esfuerzo mínimo de fluencia $F_y = 36$ ksi (o klb/pulg.²), era el acero estructural comúnmente usado. En décadas recientes los ingenieros y arquitectos han requerido aceros más fuertes, aceros con mayor resistencia a la corrosión, con mejores propiedades de soldabilidad y diversas características.

Los aceros estructurales se agrupan generalmente según varias clasificaciones principales de la A.S.T.M.: los aceros de propósitos generales (A-36), los aceros estructurales de carbono (A-529), los aceros de alta resistencia y baja aleación de carbono (A-572), los aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica (A-242 y A-588) y la placa de acero templada y revenida (A-514 y A-852).

3.4.6 Aceros de Carbono.

Estos aceros como principales elementos de resistencia al carbono y al manganeso en cantidades dosificadas. Los aceros al carbono son aquellos que tienen los siguientes elementos con cantidades máximas de 1.7% de carbón, 1.65% de manganeso, 0.65% de silicio y 0.6% de cobre.

Acero de bajo contenido de carbono ($< 0.15\%$).

- Acero dulce al carbono (de 0.15 a 0.29%). (El acero estructural al carbono queda dentro de esta categoría).
- Acero al medio carbono (0.3 a 0.59%).
- Acero de alto carbono (0.6 a 1.7%).

3.4.7 Aceros de alta resistencia y baja aleación.

Estos aceros obtienen sus altas resistencias y otras propiedades por la adición, aparte del carbono y el manganeso de uno o más agentes aleantes como el columbio, vanadio, cromo, cobre, níquel y otros. Estos aceros generalmente tienen mucha mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros al carbono.

El término baja aleación se usa para describir aceros en los que el total de elementos aleantes no excede el 5% de la composición total.

3.4.8 Aceros de alta resistencia baja aleación y resistencia a la corrosión.

Cuando los aceros se lean con pequeños porcentajes de cobre se vuelven más resistentes a la corrosión. Cuando se exponen a la atmósfera las superficies de esos aceros se oxidan y se les forma una película impermeable adherida conocida también como patina la que impide una mayor oxidación y se elimina así la necesidad de pintarlos.

3.4.9 Aceros templados y revenidos.

Estos aceros tienen aleantes mayores que los usados en los aceros al carbón, y son tratados térmicamente (templados y revenidos) para darles dureza y resistencias con esfuerzos de fluencia comprendidos entre 5630 y 7740 kg/cm².

El revenido consiste en un enfriamiento rápido de acero con agua o aceite cambiando la temperatura de por lo menos 900°C a 150° o 204°C. En el templado, el acero se recalienta por lo menos a 620°C y después se deja enfriar como proceso final.

Los aceros templados y revenidos no muestran puntos bien definidos de fluencia como lo hacen los aceros al carbono y los aceros de alta resistencia y baja aleación. En vista de ello su resistencia a la fluencia se define en función del esfuerzo asociado a una deformación del 0.2%.

TABLA. 1 PROPIEDADES DE ACEROS ESTRUCTURALES.

Designación de la A.S.T.M.	Tipo de acero	Formas	Usos recomendados	Esfuerzo mínimo de fluencia, F_y , en ksi.	Resistencia mínima especificada a la tensión, F_u , en ksi.
A-36	Al carbono	Perfiles, barras y placas.	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas o soldadas.	36, pero 32 si el espesor es mayor de 8 pulg.	58-80
A-529	Al carbono	Perfiles y placas hasta de ½ pulg.	Similar al A-36	42-50	60-100
A-572	Columbio – vanadio de alta resistencia y baja aleación.	Perfiles, placas y barras hasta de 6”.	Construcción soldada o atornillada. No para puentes soldados con F_y grado 55 o mayor.	42-65	60-80

A-242	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión.	Perfiles, placas y barras hasta de 5".	Construcción es atornilladas, soldadas; técnica de soldado muy importante.	42-50	63-70
A-588	De alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica.	Placas y barras hasta de 4".	Construcción atornillada.	42-50	63-70

A-852	Aleación templada y revenida.	Placas sólo hasta de 4".	Construcción soldada o atornillada, principalmente para puentes y edificios soldados. Proceso de soldadura de importancia fundamental.	70	90-110
A-514	Baja aleación templada y revenida.	Placas sólo de 2 ½ a 6 ".	Estructura soldada con gran atención a la técnica, no se recomienda si la ductilidad es importante.	90-100	100-130

Tabla 1 TECNOLOGÍA DE NUEVA GENERACIÓN PARA LA EDIFICACIÓN CON ESTRUCTURAS METÁLICAS

3.5 Ventajas del acero como material estructural.

El acero es el material estructural perfecto; hay un sinnúmero de puentes, edificios, torres, y otras estructuras de este material. Después de ver todas estas estructuras metálicas, se sorprendería al saber que el acero no se fabricó económicamente en Estados Unidos sino hasta finales del siglo XIX y que las primeras vigas de patín ancho no se laminaron sino hasta 1908. La supuesta perfección de este metal, tal vez el más versátil de todos los materiales estructurales, parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes.

➤ 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 de la cimentación.

➤ Uniformidad.

Las propiedades de acero no cambian apreciablemente en el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

➤ Elasticidad.

El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

➤ Durabilidad.

Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

➤ Ductilidad.

La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino.

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas

prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

➤ Tenacidad.

Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su formación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos,

cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo 4

4 Origen de sistema BIM

A día de hoy existen numerosas herramientas basadas en la metodología BIM que han ido surgiendo a lo largo de los últimos años, tales como:

- Revit
- Archicad
- Sketchup
- Inventor
- Tekla
- Vectorworks
- Bentley
- Navisworks
- Vasari
- Vico
- Ecodesigner
- Bimsight
- Autodesk QTO

4.1 Evolución cronológica:

- 1963

Se desarrolla el primer sistema de CAD diseñado por Iván Sutherland llamado Sketchpad. Es el primer programa informático capaz de crear líneas en la pantalla de una computadora.

- 1974

Se puede considerar a Charles Eastman como el padre del BIM, arquitecto formado en Berkeley (California) y trabajador en ciencias de la computación en la Universidad Carnegie Melón. Desarrollará en 1974 el sistema BDS cuando ni si quiera existían ordenadores personales. El BDS (Building Description System) tiene todos los ingredientes del actual BIM. En dicho software se aborda el problema del proyecto desde una base de datos en la que se han separado los componentes del edificio en

distintas piezas. Eastman critica la falta de coherencia en la información arquitectónica al no venir toda ella de un solo modelo.

➤ 1982

Si bien en EEUU y UK la industria del software se desarrolla a gran velocidad, el BIM tal y como lo entendemos hoy en día se debe a dos genios de la matemática del Bloque Soviético, Gábor Bojar y Leonid Raiz fundadores respectivamente de ArchiCAD y Revit. En 1982 Gabor Bojar se enfrenta al gobierno comunista de Hungría y crea una empresa privada para desarrollar ArchiCAD. Para poder escribir las primeras líneas de su código, Gabor tiene que empeñar las joyas de su esposa y pasar un Apple de estraperlo a través de la cortina de hierro.

En 1984 crea la primera versión de ArchiCAD llamada CH RADAR para el sistema operativo Apple Lisa. ArchiCAD se convierte en el primer software BIM para ordenadores personales. ArchiCAD se basa en el potente lenguaje GDL (Geometric Description Language).

En este mismo año nace AutoCAD de Autodesk. Esta sería su línea temporal:

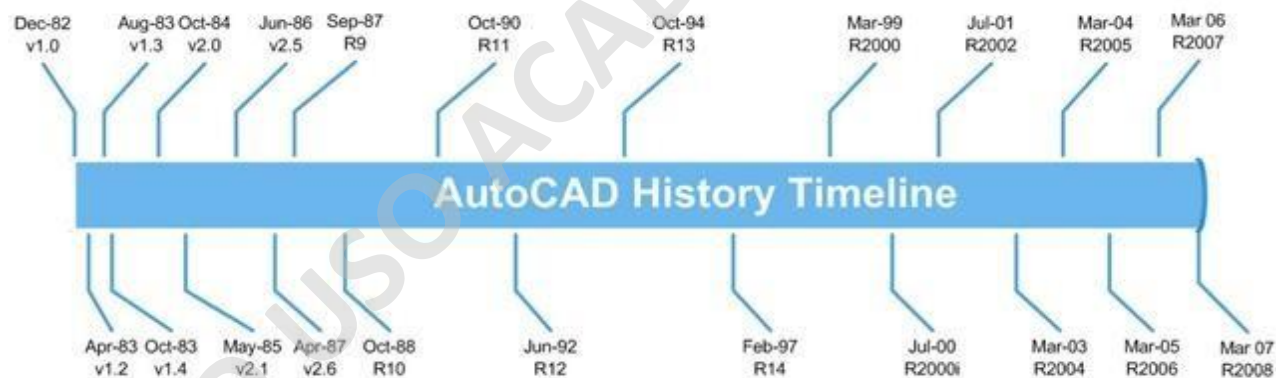


Figura 2 AutoCAD History Timeline. Fuente Autodesk blogs. 2017

➤ 1984

En 1984, después de desarrollar varios softwares de CAD para su propia oficina técnica, Georg Nemetschek crea Allplan. Allplan se puede considerar el segundo software BIM de la historia para ordenadores personales.

➤ 1985

Aparece en el mercado VectorWorks bajo el nombre comercial de MiniCAD desarrollado por Richard Diehl. Originalmente solo para plataforma MAC, VectorWorks se puede considerar el tercer BIM de la historia para ordenadores personales.

En este mismo año nace PseudoStation desarrollado por Bentley. Más tarde cambiará el nombre por Microstation.

➤ 1993

GraphiSoft hace la primera versión de ArchiCAD para Windows. Se convierte en el primer software CAD-BIM multiplataforma.

➤ 1996

Dihel GraphSoft desarrolla la versión 6 de Minicad disponible para Windows y Mac. Se convierte en el segundo CAD-BIM multiplataforma.

➤ 2000

Leonid Raiz e Irwin Jungreis, trabajadores de PTC (Parametric Technology corporation) empresa que se dedica a la creación de software de ingeniería desde 1985, dejan dicha empresa para formar Charles River Software, germen de Revit. La compañía fue renombrada posteriormente como Revit Technology Corporation apareciendo la primera versión de Revit el 5 de abril del 2000. Revit trató de distribuir el software de una forma novedosa, sin distribuidores físicos, solo con una suscripción mensual a través de internet. Dado que tanto Leonid como Irwin venían del mundo de la ingeniería contrataron al arquitecto David Conant para ayudarles en el diseño de la interface.

➤ 2002

Autodesk compra Revit en el año 2002 por 133 millones de dólares.

➤ 2009

Hasta el año 2009 Revit mantiene una interface basada en iconos similar a la del año 2002.

➤ 2010

En el año 2010 Revit cambia totalmente su interfaz asimilando la tecnología Ribbon (cinta) que mantiene en la actualidad.

En la actualidad el programa más usado para trabajar en BIM en España y a nivel global es Revit de Autodesk.

4.2 Características BIM

La adaptación de BIM en empresas constructoras aporta un ambiente de trabajo sobresaliente, donde todos los agentes, que forman el grupo de trabajo del proyecto, tienen la misma importancia, y todos conocen en gran medida las características y propiedades del proyecto. De esta forma no recae toda la responsabilidad sobre el arquitecto proyectista y la comunicación y se potencia el trabajo en equipo.

Usar BIM como método de proyectar, permite tener todo unificado no solo a nivel del modelado del edificio en tres dimensiones, sino también su documentación, puesto que se puede vincular el proyecto a distintos documentos, incluso cada elemento del edificio puede vincularse a un documento, ya sea un word, excel, pdf, etc. y al cambiar la información en uno o en otro, ambos se actualizan. De esta forma mejora la coherencia y fiabilidad a la información al mantenerla siempre actualizada en tiempo real. Al mismo tiempo el trabajo colaborativo de los agentes conocedores del proyecto sobre el modelo tridimensional permite la fácil detección de incidencias.

La utilidad y versatilidad de BIM permite su empleo ya sea en construcciones de nueva planta como en cambios de uso, rehabilitaciones, mantenimiento, restauración de patrimonio, etc. El modelado gráfico junto con la metodología BIM produce grandes mejoras de eficacia, ahorro de costes y tiempo en proyectos sin importar su complejidad y dimensión. Permite su desarrollo y seguimiento desde su proyección hasta el fin de su vida útil, manteniendo siempre toda la información en un único archivo.

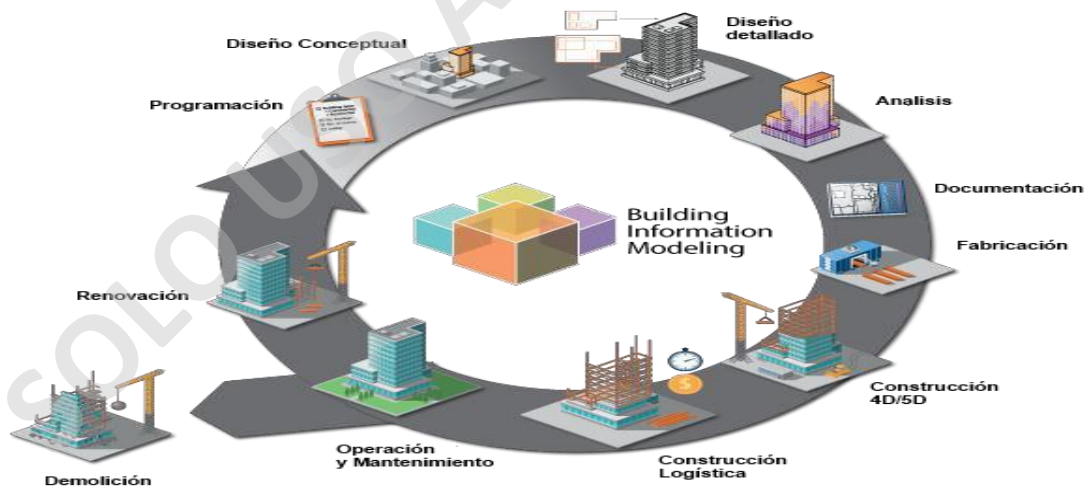


Figura 3Concepto BIM. Fuente Aracons.exatto. 2017

Su formato de archivo estándar IFC es compatible entre los distintos softwares y permite la interoperabilidad entre ellos sin pérdida de información, es decir, pueden leer y escribir información e intercambiarla con otros programas con software IFC. Por ejemplo, se puede hacer un proyecto en archiCAD y luego abrirlo con Revit. Esto mismo pasa también con multitud de programas del sector constructivo, como programas de instalaciones, de cálculo de estructuras, de mediciones, renderizados, etc. Estos se usan para complementar funciones del modelo en la que cada programa se especializa. Claramente la funcionalidad de este archivo IFC no es total entre aplicaciones, puesto que cada programa abarca un determinado terreno. Por ejemplo, puedo abrir el archivo con otro programa distinto y ver la información de un muro o un suelo, pero no puedo ver sus características acústicas o de resistencia, porque probablemente ese programa se centra en ver o añadir otras características. Pero solo el mero hecho de poder leer la información de los muros supone un gran avance y rapidez de comunicación.

Esta faceta da pie a una enorme mejora en la comunicación entre agentes intervinientes del proyecto que permite una mayor interacción de conocimientos. Al trabajar todos en el mismo modelo, no hay que repetir la información una y otra vez, sino que un agente responsable define una parte del modelo, se verifica y se comparte entre el resto de intervinientes, de modo que se consigue un aumento de calidad impidiendo la generación de incongruencias por distintas fuentes y su consiguiente arrastre hasta que es demasiado tarde para solucionarlo.

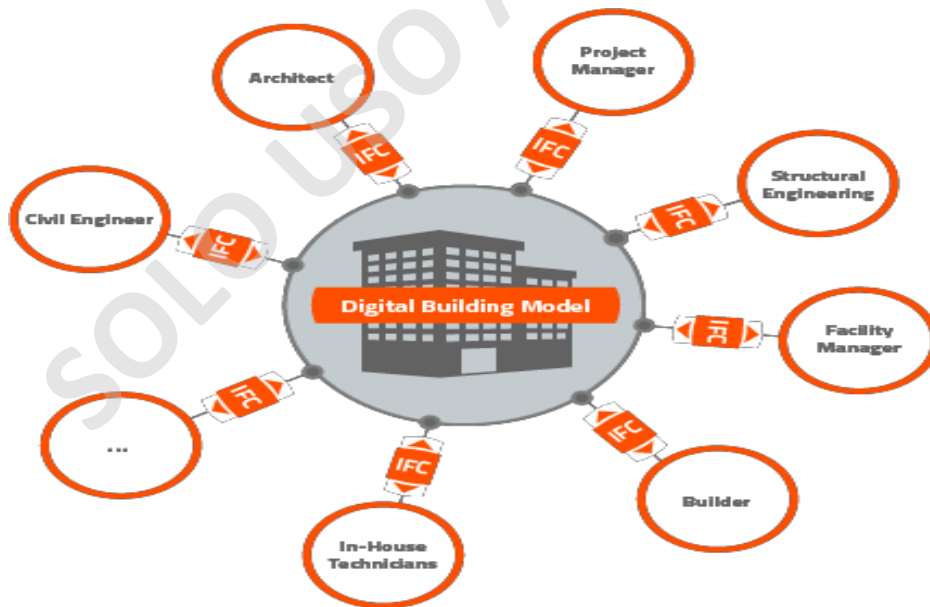


Figura 4 Formato de archivo estandarizado IFC para software de arquitectura. Fuente Cadenas - setting standards. 2017

Por otra parte, sirve y beneficia a todos los agentes de los sectores de edificación, ingeniería, infraestructuras, urbanismo, obra civil, geotecnia; y a promotores, promotores, propietarios, constructores, proyectistas, instaladores, fabricantes, administradores (ayuntamientos, catastro, etc.), compañías de suministros, tasadores, etc. En otras palabras, abre un abanico de nuevas posibilidades con un enorme potencial de rapidez y calidad.

4.3 Dimensiones BIM

Al hablar de BIM nos podemos encontrar con diferentes dimensiones de trabajo, que también podríamos nombrarlas como fases o procesos de proyecto como parte del modelo BIM. El Modelo BIM adquiere una nueva dimensión de información con cada nueva aplicación o conjunto de información. De esta forma podemos diferenciar las siguientes dimensiones BIM:

- BIM 3D. Modelado de información del edificio.

Corresponde a la modelación en 3D del conjunto de elementos del edificio que se quieren representar, de forma paramétrica y unificada. Enfocado a representar toda la información geométrica por medio de elementos integrados, tales como muros, suelos, techos, pilares, puertas, etc. No es solo algo visual, si no que comprende toda la información necesaria para las siguientes fases.

- BIM 4D. Tiempo.
- Al BIM 3D se le incorpora una cuarta dimensión: tiempo.

Con la ayuda del software BIM puedes realizar un cronograma de las actividades de proyecto, pudiendo asignar tiempos a las distintas partes de la obra y sus elementos, con el fin de programar totalmente la ejecución del edificio antes de su inicio. De esta forma tenemos controlada la organización de la obra viendo a tiempo real la evolución del edificio en el modelo virtual y en la realidad. Pudiendo optimizar al máximo los recursos utilizados para cada actividad (mano de obra, maquinaria, etc.).

- BIM 5D. Coste.

Añade la quinta dimensión: Coste

Incorpora el control de costes y estimación de gastos del proyecto, con el fin de mejorar la rentabilidad del edificio. Se definen la cantidad de materiales y costes de cada elemento, y se organizan los gastos. A la vez se estiman los costos para la fase de uso y mantenimiento del edificio.

➤ BIM 6D. Simulación energética y Sostenibilidad.

Esta dimensión nos da la posibilidad de saber cómo será el comportamiento del edificio antes de empezar la obra. Permite hacer simulaciones de las alternativas del proyecto para llegar hasta la forma más óptima y sostenible.

Se pueden hacer variaciones en las características de la envolvente y de los elementos que alteran el estado térmico y sonoro del edificio como: los materiales utilizados, la situación y orientación del proyecto, combustible utilizado o método para calentar o enfriar el edificio y muchas variables más.

➤ BIM 7D. Mantenimiento y Facilities Management (gestión del edificio y sus servicios).

La séptima dimensión abarca la gestión del ciclo de vida del proyecto y sus servicios asociados.

Se trata de dotar al modelo de información las operaciones que hay que seguir una vez construido el edificio. En relación al uso y mantenimiento

del edificio durante su vida útil, permitiendo el control logístico de estas. Consiguiendo mejorar la gestión y optimización de aspectos reparaciones, inspecciones, etc. [Gustavo Retete, 2016]



Figura 5 Dimensiones BIM. Fuente espaciobim. 2016

4.4 Niveles de desarrollo (LOD)

A la hora de valorar la información representada en el sistema BIM, nos damos cuenta que hay un amplio margen en la cantidad y calidad de la información, por ejemplo, puedes crear un muro conceptual con su espesor y altura, o puedes hacer un muro totalmente definido por materiales, capas, detalle, información de fabricante, características, etc.

Es por eso que The American Institute of Architects (AIA) desarrolló en 2008 un documento (E202-2008) donde se establece los LOD existentes y sus definiciones. Este documento fue actualizado posteriormente en 2013 y según él, y como se muestra en Dataedro.blog estos son los niveles de desarrollo existentes:

- LOD 100

Es un diseño conceptual, el modelo aportará una visión general, básicamente aportará el volumen, la orientación y área.

- LOD 200

Aporta una visión general con información de magnitudes aproximadas, tamaño, forma, localización y orientación. El uso que se da es simplemente incrementar la capacidad de análisis. Pero las mediciones son aproximados, nunca definitivas.

- LOD 300

Aporta información y geometría precisa, pendiente de algún detalle constructivo y aporta medidas más precisas que en caso de LOD 200, con un nivel de detalle externo importante pero no completo.

- LOD 400

Contiene el detalle necesario para la fabricación o construcción y el nivel de mediciones es exacto.

- LOD 500

El último nivel de desarrollo representa el proyecto, ya que se ha construido, son las condiciones conforme a obra. El modelo es adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento de la instalación.

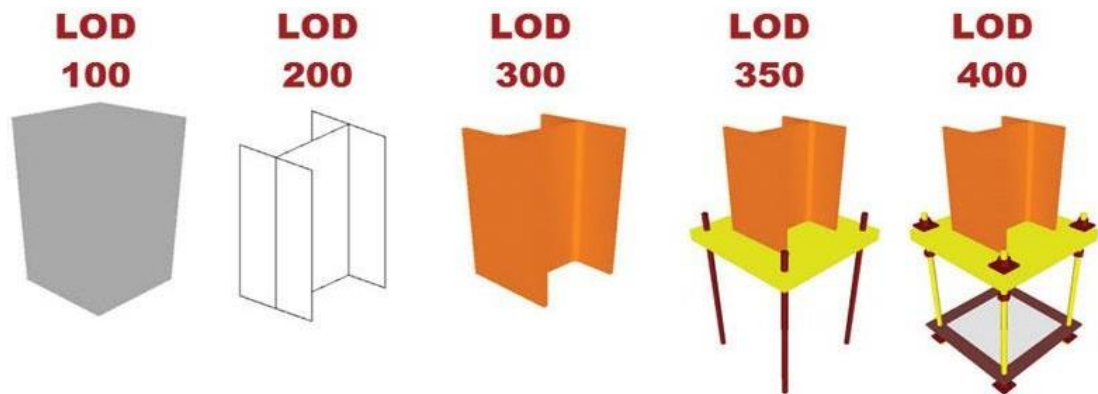


Figura 6 Niveles de desarrollo. Fuente Structuremag. 2017

Ventajas

Sabemos que con BIM son todas ventajas, pero hay una tarifa a pagar por usarlo y es la de cambiar totalmente nuestra metodología de trabajo, pues todo cambio crea una oposición que será tanto mayor cuanto más de revolucionaria tenga esta. Las principales ventajas que nos aporta en un proyecto de edificación son:

➤ Coherencia de la documentación:

Puesto que toda la documentación viene de un solo modelo, la documentación será siempre coherente y habrá una perfecta coordinación entre todos los documentos del proyecto.

➤ Mejor coordinación:

Todos los agentes implicados en el proyecto trabajan en un mismo modelo actualizado y es por eso que la coordinación aumenta enormemente.

➤ Evaluación temprana de costes y comportamientos energéticos:

Desde la fase inicial del proyecto se va incorporando información en cada uno de los elementos que se proyectan, por lo que permite ir calculando costes y ver su comportamiento energético al mismo tiempo que avanza el proyecto.

➤ Mayor productividad:

Menos horas por trabajador, por tanto, menos coste y más productividad.

➤ Mayor calidad de la arquitectura:

Con BIM se puede dedicar más tiempo al diseño, revisando y detectando errores o incongruencias de proyecto eficazmente.

➤ Mejor comunicación con el cliente:

En la fase de proyecto a partir del modelo, conseguiremos realizar imágenes 3D y renders de forma fácil.

En fase de construcción podremos mostrar al cliente el avance de la obra en 3D.

➤ Organización y seguimiento:

Permite generar el calendario de proyecto y hacer un seguimiento durante la construcción.

4.5 Beneficios para los diferentes agentes

➤ Arquitectos:

- Amplía el abanico de posibilidades en la búsqueda y análisis de opciones de diseño.
- Modelo único, lo que se traduce en eficiencia en tiempo de diseño.
- Toda la información unificada en un modelo tridimensional, permitiendo la detección temprana de incongruencias en el proyecto.
- Confianza en la introducción de datos, precisión al generar presupuestos, mediciones, planificación de trabajos, redactar y enlazar documentos.
- Genera documentación del proyecto de forma automática. Posibilidad de generar vista en cualquier nivel del edificio.

➤ Ingenieros:

- Rápida visualización de los elementos estructurales en contacto con las instalaciones, reduciendo posibles conflictos entre ambas partes y solucionándolos al instante.
- Manteniendo la información en un único modelo aumenta la confianza en lo que se introduce y reduce los descuidos y conflictos entre elementos del edificio.
- Instalaciones fácil y rápido de diseñar, ayudándonos de gran variedad de familias para insertar y visionado de estas en tres dimensiones.
- Compatibilidad para compartir información con otros programas que generan cálculos de estructuras, instalaciones, mediciones, costes, etc.

➤ Project Manager:

- Mejora la planificación y control del proyecto. Permite realizar mejores estudios de viabilidad y riesgo. Permite mejor cálculo y control de costes.

- Coordinación con los diferentes agentes más eficaz y constante. Velocidad de comunicación de información entre los agentes, sin necesidad de introducir información una y otra vez.
- Constructoras
 - Mayor acercamiento a la realidad del proyecto en fase de diseño. Menos incongruencias, menos modificaciones y cambios de presupuesto.
 - Compatibilidad con multitud de programas del sector y mejora comunicación con contratas. Mejora eficiencia operacional.
 - Menos tiempo en desarrollo de proyecto.
- Propietarios:
 - Entendimiento real del proyecto en fase de diseño. Visualizado del edificio y los espacios interiores en tres dimensiones logrando mayor conocimiento del producto por el que se va a pagar.
 - Todas las características del edificio se encuentran en el modelo y permite planear y seguir el mantenimiento del edificio y futuras actuaciones.
 - Ejecución más fluida y organizada permitiendo agilizar proceso de ejecución y posterior ocupación.
- Fabricantes:
 - Los fabricantes reciben las características en el modelo único y les posibilita la simulación de diferentes soluciones de forma rápida. Esto ahorra tiempo, dinero y la posibilidad de cometer equivocaciones.
 - Permite la creación de bibliotecas y personalizar sus características y materiales. También puedes crear catálogos y compartirlos con el resto de usuarios.
- Administraciones Públicas:
 - Mejor eficiencia en la revisión de proyectos por parte de la administración, optimizando el cumplimiento de la normativa.
 - Las incongruencias automáticas.
 - Fiabilidad y calidad de la documentación. Información en un único archivo y fácil almacenamiento para futuras consultas.
 - Mejores estudios de viabilidad, sostenibilidad y diseño. Planificación de trabajos eficiente y flujo continuo.



Figura 7 Metodología BIM. Fuente Animum3d - Máster BIM. 2017

Capítulo 5

5 Proceso y desarrollo del proyecto.

5.1 La arquitectura

La arquitectura podría ser descrita como el arte y la ciencia de crear infraestructuras con cualidades de belleza, geometría, poder emocional, contenido intelectual, solidez de construcción y planificación conveniente, tomando en consideración diferentes elementos como: materiales duraderos, decoraciones agradables, buenas proporciones, serenidad y dinamismo.

El arquitecto se define como un hábil maestro en el arte de la construcción, quien diseña y enmarca cualquier estructura compleja y es capaz de garantizar que la infraestructura cuente con un sofisticado contenido estético, supervisando que la edificación de la obra se realice de acuerdo con altos estándares de diseño.

Diseño de estructura (arquitecto) Los arquitectos están involucrados desde las primeras etapas de un proyecto de construcción, lo que se conoce como diseño o proyecto arquitectónico, que puede comenzar con el desarrollo de ideas junto con el cliente, acordando presupuestos, evaluando las necesidades de personal o proveedores hasta el impacto de dicha construcción en el medio ambiente local. Los arquitectos trabajan a la par con los ingenieros responsables de las otras especialidades; se aseguran de que los trabajos se desarrollen respetando los estándares y normas básicas, que sea sustentable, funcional y estéticamente agradable. Un arquitecto es un profesional que se encarga de diseñar proyectos de construcción desde el concepto inicial hasta su finalización.

Las funciones de un arquitecto son muy amplias e incluyen, entre otras, la planificación estratégica y la distribución del territorio, el diseño urbano, la preparación de estudios preliminares, la creación del concepto, el diseño, los modelos, los dibujos, las especificaciones y la documentación técnica, la administración de contratos, la supervisión de la construcción y la gestión de proyectos.

5.1.1 Definir las Expectativas / Objetivos del Proyecto

- Una de las principales tareas de un arquitecto es trabajar con las partes interesadas para identificar los requisitos del proyecto.
- A pesar de no ser el responsable de coordinar y documentar todos los requerimientos debe estar involucrado en las actividades de ingeniería de requisitos.
- Su visión técnica desempeña un papel crucial en el establecimiento de expectativas realistas y debidamente articuladas al inicio del ciclo de vida del nuevo desarrollo.
- Esta actividad garantiza la identificación plena de las características funcionales y los atributos de calidad esperados por cliente.

5.1.2 Elaborar el Diseño

- Una vez planteado el proyecto, el arquitecto debe encontrar la inspiración que le permita concebir planos altamente detallados, con estilo y que se adecúen a las necesidades del proyecto, respetando los requisitos del cliente y los códigos de construcción.
- Idear el diseño es una etapa creativa que amerita la comprensión de los principios básicos en los que se fundamenta la arquitectura: la belleza, la firmeza y la conveniencia.

5.1.3 Estimar los Costos

- Debido a la complejidad del entorno actual, la gran variedad de materiales disponibles, el empleo de diversas técnicas de construcción y la inestabilidad de los precios, la estimación de los costos totales del proyecto suele ser un proceso complejo.
- La evaluación económica permite al arquitecto estar mejor preparado para comprender las relaciones entre las opciones de diseño que plantea, sus beneficios y costos relativos.
- Considerando esta información, el arquitecto selecciona la alternativa de diseño óptima y que mejor se adapte a las expectativas económicas del cliente.

5.1.4 Presentar el Diseño

- Luego de la elaboración de los bosquejos y planos, y la determinación de los costos, el proyecto debe ser presentado a los clientes en reuniones informales o en elaboradas presentaciones formales que suelen contar con la presencia de equipos multidisciplinarios.
- En tal sentido el arquitecto debe ser capaz de hacer una buena exposición y saber cómo explicar su visión ante los ejecutivos.
- Es posible que en estas reuniones se le pida al arquitecto realizar modificaciones y ajustes a las ideas planteadas hasta que el cliente esté completamente satisfecho con el diseño.
- Es esencial que el arquitecto tenga una visión objetiva cuando su diseño esté siendo evaluado. Debe guardar su ego y utilizar las evaluaciones como una oportunidad para aprender a mejorar el diseño y garantizar que sea apto para el propósito.

5.1.5 Guiar la Implementación del Diseño

- Garantizar que la realización del proyecto se ajuste al diseño es un proceso práctico que es dirigido por el arquitecto.
- Esta actividad comienza con representaciones arquitectónicas documentadas que describen claramente el diseño de tal manera que los encargados de la obra saben qué construir.
- El diseño detallado de cada elemento se compara con la ejecución, para asegurar que cumple con lo que se planteó en la etapa de presentación del proyecto. El cumplimiento de conformidad es logrado a través de un proceso riguroso de inspecciones.

5.1.6 Evaluar Modificaciones de Construcción

- Durante las etapas de construcción del proyecto, es usual que las partes involucradas quieran cambiar el diseño original, para aumentar su funcionalidad, disminuir los tiempos de ejecución, reducir los costos de la estructura, entre otros motivos.
- También existen circunstancias imprevistas que pueden dar lugar a órdenes de cambio, tales como condiciones climáticas, modificaciones en los códigos de construcción de la ciudad o incluso errores y omisiones de diseño.
- En tal sentido, el arquitecto puede ayudar a las organizaciones a predecir el costo y el impacto de los cambios sistémicos y gestionar su ejecución en caso de ser necesarios.
- Los cambios que incluyen un solo elemento se llaman cambios locales y suelen ser menos costosos en términos de tiempo y dinero.
- Los cambios que se producen fuera de un solo elemento se denominan cambios no lineales y podrían afectar a muchos elementos.
- Los cambios estructurales generalmente demandan que la arquitectura del sistema sea rediseñada, siendo los más costosos que se pueden hacer.

5.1.7 Liderar Equipos Multidisciplinarios.

- En conjunto con las habilidades de comunicación, el arquitecto a menudo desempeña un papel implícito como gerente. Un proyecto arquitectónico implica la gestión hábil de personas, tiempo y recursos.
- Los arquitectos con frecuencia deben interactuar con clientes, proveedores, contratistas, organismos gubernamentales y especialistas, como ingenieros, para diseñar y desarrollar todas las edificaciones de nuestro entorno, desde fragmentos muy detallados hasta complejos urbanísticos de gran escala.
- Un buen arquitecto posee una perspectiva global del diseño sistemático y de la economía de la ingeniería, lo que le permite actuar como un mediador en la resolución de los conflictos que suelen presentarse entre las partes involucradas.
- Los arquitectos deben desarrollar la habilidad de escuchar activamente y de tomar las decisiones que sean más convenientes para el éxito del proyecto.
- Los arquitectos desempeñan un importante papel de liderazgo al examinar el panorama global y buscar oportunidades que permitan adoptar tecnologías

nuevas y emergentes. Para alcanzar este propósito con eficacia, deben comprender las implicaciones financieras de emplear nuevas tecnologías.

- En ocasiones, el arquitecto debe negociar con el contratista la ampliación de la jornada laboral para dar fiel cumplimiento a los lapsos de entrega que han sido previstos, sin que tales acuerdos generen exigencias por el pago de servicios adicionales.

5.2 Ingeniero Civil en obras civiles

Es una carrera universitaria de ingeniería civil en obras civiles que persigue capacitar profesionales para gestionar proyectos de infraestructura a nivel nacional, observando su integración a nivel regional. De allí que diseñan, planifican y dirigen significativas obras civiles; entre las cuales se encuentran especialmente proyectos de construcción vial, aeroportuaria, portuaria y sistemas de tratamiento de aguas.

Este profesional posee altos conocimientos en ciencias básicas y de la ingeniería, con destrezas para el diseño, la gerencia y el desarrollo de sistemas para la realización de procedimientos constructivos y proyectos de Ingeniería Civil en Obras Civiles.

Presenta un compromiso moralista con las personas y el medioambiente. Se integra con facilidad a equipos multidisciplinarios, contribuyendo con soluciones innovadoras a las dificultades de la Ingeniería. Manifiesta una definida preparación que lo faculta de conocimientos y competitividades para comunicarse eficientemente, propenso al mejoramiento permanente y con una responsabilidad con la sustentabilidad económica y medioambiental del país, donde debe ir de la mano con la ingeniería agroambiental.

Dentro de todas las ramas de ingeniería civil que existen, quizás la de ingeniería civil en obras civiles sea una de las más importantes, ya que está al servicio de lograr las metas destinadas al mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Se puede considerar que esta especialidad está dedicada, casi totalmente, al progreso de la población, en vista de que toda la infraestructura, el campo al cual está orientada, es para el bienestar de la población.

Es así como viviendas, edificios, puentes y carreteras son unos de los proyectos a los cuales está predestinada esta carrera, por lo que tiene una relación directa al área de la construcción. El desarrollo constante de las sociedades requiere nuevas infraestructuras, innovando en su construcción. En este sentido, se debería producir un incremento en la demanda de este tipo de ingenieros, para garantizar el mejor desarrollo de las ciudades y el bienestar de su población.

5.2.1 Qué hace un ingeniero civil en obras civiles

Al egresar este profesional tendrá una solvente formación en los basamentos de Química, Ciencias Básicas de Ingeniería, Matemáticas, Física, Análisis y Diseño de las Obras Civiles especializado en Ingeniería Estructural, Ingeniería de Construcción e Ingeniería Hidráulica, a manera de moldear y educar su pensamiento racional, analítico y abstracto como Ingeniero Civil.

Este Ingeniero se desempeña con facilidad en los sectores público y privado, en instituciones y organizaciones orientadas preferentemente a viviendas, ambiente obras públicas, construcción, etc. Su preparación le estimula a desarrollarse en oficinas de Ingeniería de Proyectos, o ejerciendo el libre ejercicio de la profesión en obras civiles en general, así como emplearse en centros de educación superior o de investigación

5.2.2 Campo laboral de un ingeniero civil en obras civiles

El ingeniero en esta especialidad está capacitado, como todo ingeniero civil, para desempeñarse como asesor ejerciendo labores de: estudio de factibilidad, proyección, gerencia, supervisión, auditoria, edificación, manipulación, sostenimiento, inspección, resarcimiento, adecuación y refuncionalización de:

- Estructuras resistentes y obras civiles.
- Obras de regulación, captación, abastecimiento y tratamiento de aguas.
- Obras de riego, desagüe y drenaje.
- Instalaciones hidromecánicas.
- Obras de aprovechamiento de la energía hidráulica y fuentes alternativas.
- Obras de corrección y regulación fluvial.
- Obras de saneamiento urbano, rural y regional
- Obras de control de erosión.
- Obras de urbanismo: trazado urbano y organización de los servicios públicos.
- Estudios, tareas y asesoramientos en mecánica de suelos y mecánica de rocas, áreas de la ingeniería civil mecánica.

- Trabajos topográficos y geodésicos.
- Riesgo sísmico en construcciones.
- Planeamiento urbano, rural y de sistemas de transporte.
- Loteos urbanos y subdivisiones por el régimen de propiedad horizontal.
- Estudio de tránsito en áreas urbanas y rurales.
- Planeamiento del uso y administración de recursos hídricos. Estudios hidrológicos.

Aparte de estas funciones generales, los ingenieros civiles en obras civiles ejercen las funciones propias de su especialidad. En este sentido se tiene que son profesionales con capacidad para de diseñar, proyectar y gerenciar obras civiles, entre las cuales figuran:

- Proyectos de infraestructura vial, portuarias, aeroportuarias, sistemas de tratamientos de aguas, entre otros.
- Materializan proyectos aplicando las ciencias de la ingeniería e interactuando con diversos profesionales: con el arquitecto para proyectos inmobiliarios, con ingenieros en geomesura para obras viales, con ingenieros mecánicos para proyectos hidráulicos.
- Aplica conocimientos en las áreas de las ciencias económicas, de la administración y la gerencia, debido a la preparación que recibe en la malla curricular de la especialidad.

Empresas constructoras e inmobiliarias son parte de ese campo laboral, para lo cual ser una persona innovadora, con habilidades de liderazgo, propenso a relacionarse con diferentes actores y con un gusto especial por el trabajo en campo, es imprescindible. Si posees esas características, es posible que estés por el camino correcto.

5.2.3 Diferencia entre ingeniería civil e ingeniería civil en obras civiles

El ingeniero civil en obras civiles desarrolla los cálculos correspondientes, relacionados con tensiones, cargas, resistencias, etc. Además, estudia la factibilidad técnica y estructural del proyecto. Busca las alternativas para darle viabilidad a la propuesta del arquitecto. En este sentido corrige dimensiones, elige los materiales adecuados, etc.

Por su parte el ingeniero civil materializa los planos donde él también ha participado. Es por ello que permanece todo el tiempo en la obra, aunque solicita autorización a los diseñadores para iniciar las distintas fases del proyecto (instalaciones, sellar fundaciones, etc.).

Los ingenieros civiles son los protagonistas de las obras públicas culminadas y entregadas, las cuales se concretan con planes parciales. Para ello aplican sus amplios conocimientos en ciencias de la ingeniería y matemáticas para el diseño de infraestructuras de gran envergadura que deben tener funcionalidad y perdurabilidad durante muchas décadas, sin presentar riesgo para el público.

5.3 Constructor Civil

El Ingeniero Constructor y el Constructor Civil es un profesional preparado para Administrar, Ejecutar, Controlar y Fiscalizar todo tipo de proyectos de Construcción, Suele desempeñarse en el sector privado o en el Estado, destacándose como Empresario, Profesional Residente de Obra, Inspector Fiscal, Director de Servicio, Etc.

También existen destacados profesionales que han desarrollado su profesión en empresas productoras de materiales e insumos para la construcción, además de laboratorios de control de calidad y Universidades.

Para alcanzar el desarrollo pleno en la profesión, el Ingeniero Constructor y el Constructor Civil, debe cultivar permanentemente la capacidad de Gestión y la capacidad de Liderazgo, sin dejar de lado su Formación Continua, adquiriendo nuevos Conocimientos Técnicos, que le permitan adaptarse a las nuevas tendencias y tecnologías disponibles.

Otra de las características de los Ingenieros Constructores y Constructores Civiles es su transversalidad ya que tienen que tener la capacidad de desenvolverse en forma natural en distintos ámbitos, ya sea en terreno dirigiendo a su personal, en reuniones técnicas junto a otros profesionales o en exposiciones informativas a Gerentes o Autoridades.

El Ingeniero Constructor y Constructor Civil, es considerado un profesional con decisión de compra por los proveedores de la construcción ya que constantemente está evaluando en Terreno el uso de nuevos materiales, productos, herramientas y maquinarias.

Los constructores civiles se encargan del diseño de diversos servicios de construcción, y también supervisan su instalación y funcionamiento. Se trata de sistemas de aire acondicionado, calefacción, iluminación y electricidad, ascensores y extractores de humo. Un aspecto importante de su trabajo consiste en encontrar sistemas que reduzcan al máximo su uso de energía.

Hay algunos tipos de edificios que necesitan servicios complejos. Por ejemplo, las salas de ordenadores necesitan controles muy sensibles de temperatura y humedad, mientras que las salas de operación de los hospitales deben permanecer completamente estériles. También controlan los sistemas de edificios que tienen requerimientos especiales, como piscinas, museos y centros de ocio.

Algunos ingenieros de la construcción trabajan principalmente como consultores del diseño de un edificio. Trabajan en estrecha colaboración con arquitectos, clientes y los demás miembros del equipo de diseño durante la preparación de un diseño para un proyecto de construcción.

Los diseños deben satisfacer las necesidades ambientales y hacer un uso eficiente de la energía, a la vez que deben cumplir con el presupuesto establecido por el cliente. Los ingenieros necesitan conocimientos generales de los distintos tipos de servicios de la construcción, aunque por lo general se especializan en un tipo de servicio, como los servicios mecánicos o los servicios eléctricos.

Los constructores civiles trabajan en estrecha colaboración con otros profesionales del sector, como el director de obra y el inspector, para tomar las distintas decisiones sobre la obra y decidir el personal necesario o calcular los costes. Supervisan la instalación de los servicios de construcción e inspeccionan la calidad de la obra, tratando los problemas que puedan presentarse.

Perfil profesional

Para ser ingeniero de la construcción se necesita:

Ser un buen cohesionador, ya que deberá trabajar en estrecha colaboración con diferentes profesionales de la construcción.

Creatividad e inventiva, así como capacidad para resolver problemas.

Ser un buen comunicador, ya que deberá explicar ideas y diseños a otros miembros del equipo.

Interés por la protección del medio ambiente, ya que tendrá que encontrar la mejor manera de utilizar la energía de forma eficiente.

Habilidades de TIC.

Interés sobre la construcción de edificios.

Tomar conciencia de la importancia de la salud y la seguridad en esta industria.

5.3.1 Donde se desarrollan

- Construcción de Viviendas: Cuando se construye una casa, el arquitecto es el encargado de diseñar la obra, el ingeniero civil calculará las medidas necesarias y realizará la evaluación del terreno para que después el constructor civil pueda realizar el trabajo de edificación, siendo este último paso el que a veces toma más tiempo, trabajo y dedicación. Actualmente la empresa constructora CHCR EIRL busca profesionales de esa área para su empresa.
- Obras viales: Los constructores civiles también pueden encargarse de supervisar obras viales urbanas y rurales, realizando las funciones de reportar los avances de la faena a la gerencia de la empresa. Para esa labor, por lo general se pide que el profesional tenga una buena capacidad de organización, sea responsable, proactivo y soporte el trabajo bajo presión y contra el tiempo. La empresa Intexa S.A. de Santiago contrata profesionales que puedan cumplir esa labor.
- Obras portuarias: Un constructor civil también puede trabajar participando en equipos que se dediquen a inspeccionar, construir obras marítimas o portuarias de distinto nivel donde podrás cumplir distintas funciones, aunque los más experimentados incluso pueden ser contratados como supervisores de obra. Algunos ejemplos son la construcción de diques, muelles o incluso un terminal portuario. Empresas de renombre que se dedican a contratar estos profesionales son la Empresa Portuaria Talcahuano de San Vicente o la Empresa Portuaria Valparaíso.
- Urbanización: Al realizar obras de urbanización el constructor civil puede realizar labores de inspección técnica (se necesita postítulo) de distinto nivel y que se relacionen con la edificación en altura y conjuntos habitacionales en sectores urbanos
- Profesor: Como profesional, el constructor civil también estará capacitado para trabajar como profesor en institutos técnicos y otras entidades educativas en donde podrá enseñar las distintas materias relacionadas a este trabajo que enseñan en distintas casas de estudio, como por ejemplo, La Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Tasador: En este trabajo, el constructor trabaja analizando los factores prospectivos y retrospectivos que inciden en la valoración de inmuebles

urbanos. También analiza las externalidades que afectan la valoración de los inmuebles en función de su localización, clasifica los factores que inciden en su valor en función de sus características, estructura la formalización a través de informes y fundamenta el valor de los inmuebles. Al igual que en el caso de la Inspección Técnica, para ser un tasador se necesita un postítulo o diplomado.

- Cubicando: En este trabajo al constructor se le encomienda calcular la cantidad de materiales que serán ocupados para la realización de obras de distinto tipo. Es una labor difícil ya que implica orden, organización y gran capacidad matemática para no salirse de los presupuestos. Se puede postular a un puesto de este tipo a través de la empresa Adecco Cerrillos.
- Dibujante Técnico: En algunos casos, los buenos constructores civiles que tienen gran manejo de programas informáticos como autocad, pueden terminar trabajando haciendo planimetría de piezas de nuevos productos, preparación, corrección y chequeo de planos. En esta labor también se les puede encomendar tomar medidas en la fábrica y mantener
- Proveedor de materiales: El Constructor Civil también es profesional que podrá desempeñarse como proveedor de materiales de construcción ya que constantemente está evaluando en terreno la utilización de nuevos materiales, herramientas, productos y maquinarias, los cuales son utilizados en distintos tipos de obras. Distintas empresas como ésta pueden requerir un profesional de esa área que pueda desempeñarse como proveedor.
- Profesional independiente: Este profesional también está capacitado para crear su propia empresa de construcción, la cual podrá financiar de manera privada o postulando a distintos proyectos que son subvencionados por el Gobierno o relacionados a otras entidades como la Cámara Chilena de la Construcción.

5.3.2 Historia de la Profesión de Constructor Civil

En 1944 la Universidad de Chile crea el título Profesional de Constructor Civil como respuesta académica a la necesidad de regular y fiscalizar de mejor manera la Construcción en Chile, la que se comportó de muy mala manera en el terremoto de Chillán de 1939, en el cual murieron 5648 Personas producto del colapso de casas y estructuras de uso público, como Teatros, Colegios y Hospitales los que no dieron tiempo a nadie para escapar.

La incorporación de un Profesional Universitario de Terreno que ejecutara las obras bajo un nuevo marco regulatorio, garantizaba a las autoridades, la correcta ejecución de las obras proyectadas, dando tranquilidad a la ciudadanía afectada por los hechos recientes. Si bien la profesión Universitaria era nueva, esta actividad era ejercida por

Constructores Prácticos, quienes ejercieron una gran presión en el Congreso para ser considerados dentro de la nueva ley que regulaba la Profesión de Constructor Civil.

En 1955 bajo el Gobierno de Carlos Ibáñez del Campo se promulga la ley 11.994 que crea el Colegio de Constructores Civiles incluyendo a Constructores Civiles Universitarios y a Constructores Prácticos que hayan adquirido la experiencia antes de 1955, dando un plazo de un año para regularizar su situación, los que debían presentar un Certificado de más de 5 años de experiencia emitidos por una Municipalidad o el Colegio de Arquitectos que llevaba el registro de Constructores Prácticos, otra opción era rendir un exámenes de competencia en la Universidad de Chile, (En la actualidad ya no hay Constructores Prácticos que ejerzan al profesión)

La Ley que regulaba la actividad le otorgo gran poder al Colegio de Constructores estableciéndolo como un ente fiscalizador de la profesión, incluso con la facultad de suspender o multar a los colegiados, sanciones muy fuertes, considerando que era obligatorio estar inscrito para ejercer.

En 1981 se promulga la ley N°3.621, que entregaba libertad para ejercer la profesión sin estar inscrito en un Colegio Profesional, siendo el único requisito para ejercer, estar en Posesión de un Título Profesional, lo que provoco la pérdida masiva de Colegiados.

En 1990 Producto de las circunstancias Políticas que atravesaba el País y el Colegio, no se pudo impedir que la profesión fuera excluida de las profesiones de carácter exclusivamente Universitarias, La ley LOCE de 1990 otorgo la facultad de emitir Títulos de Constructor Civil a Institutos Profesionales y Centros de Formación Técnica.

En 1991 La PUCV cambio el nombre de su Escuela, otorgando el título de Ingeniero Constructor, con este cambio empieza a cobrar fuerza la idea de Cambiar el Nombre de la Profesión, en especial entre los estudiantes de diferentes planteles de Provincia. El cambio fue muy resistido entre los Profesionales de mayor edad y las Universidades Fundadoras, en especial la UC y la UTFS, ya que consideraban que afectaría gravemente la identidad de la Profesión. Pero la idea se transformó en Realidad al cabo de 9 años, donde la mayoría de las Escuelas cambiaron de Nombre, generando una dualidad que se mantiene hasta el día de hoy.

En 2001 la Cámara de Diputados se percata del conflicto que ha generado el vacío de la Ley LOCE con Respecto a los Constructores Civiles e Ingenieros Constructores en especial por la falta de uniformidad en la duración de la carrera 4 años en Institutos y 5 años en Universidades, además de la incorporación de menciones de especialidad no incorporadas en la Ley y la entrega de títulos de Ingeniero Constructor por parte de algunos institutos, situación que comenzó a generar confusión. En 2003, un estudiante de la UNAB, crea la comunidad Virtual de Ingenieros Constructores y Constructores Civiles de Chile en conjunto con Estudiantes y Profesionales de la UTEM, la USACH, UC y la UFRO creando las siguientes paginas www.ingenieroconstructor.cl y www.constructorcivil.cl

En 2008 después de 7 años de discusión se aprobó por 68 Votos a favor, 5 en contra y 9 abstenciones, la ley que obliga a que la Profesión de Constructor Civil e Ingeniero Constructor sea Impartida exclusivamente por Universidades, volviendo a su condición Original, con esto se cumplió el primer trámite legislativo, quedando para ser discutido en el Senado sin urgencia, por lo que pueden pasar varios años para que se vuelva Ley.

SOLO USO ACADÉMICO

Capítulo 6

6 Detallamiento

El detallamiento de estructuras en acero es la especialidad que genera planos de partes y piezas para los fabricantes y montajistas de estructuras metálicas.

El detallador estructural o (Steel detailer) prepara la planimetría acotada de una estructura, como también los documentos necesarios para llevar a cabo una correcta ejecución en maestranza y terreno. Algunos de estos documentos son:

- Lista avanzada de materiales
- Tonelaje y transporte
- Listado de pernos
- Archivos CNC, etc.

Todo esto en función de una correcta planificación de los perfiles requeridos en un proyecto.

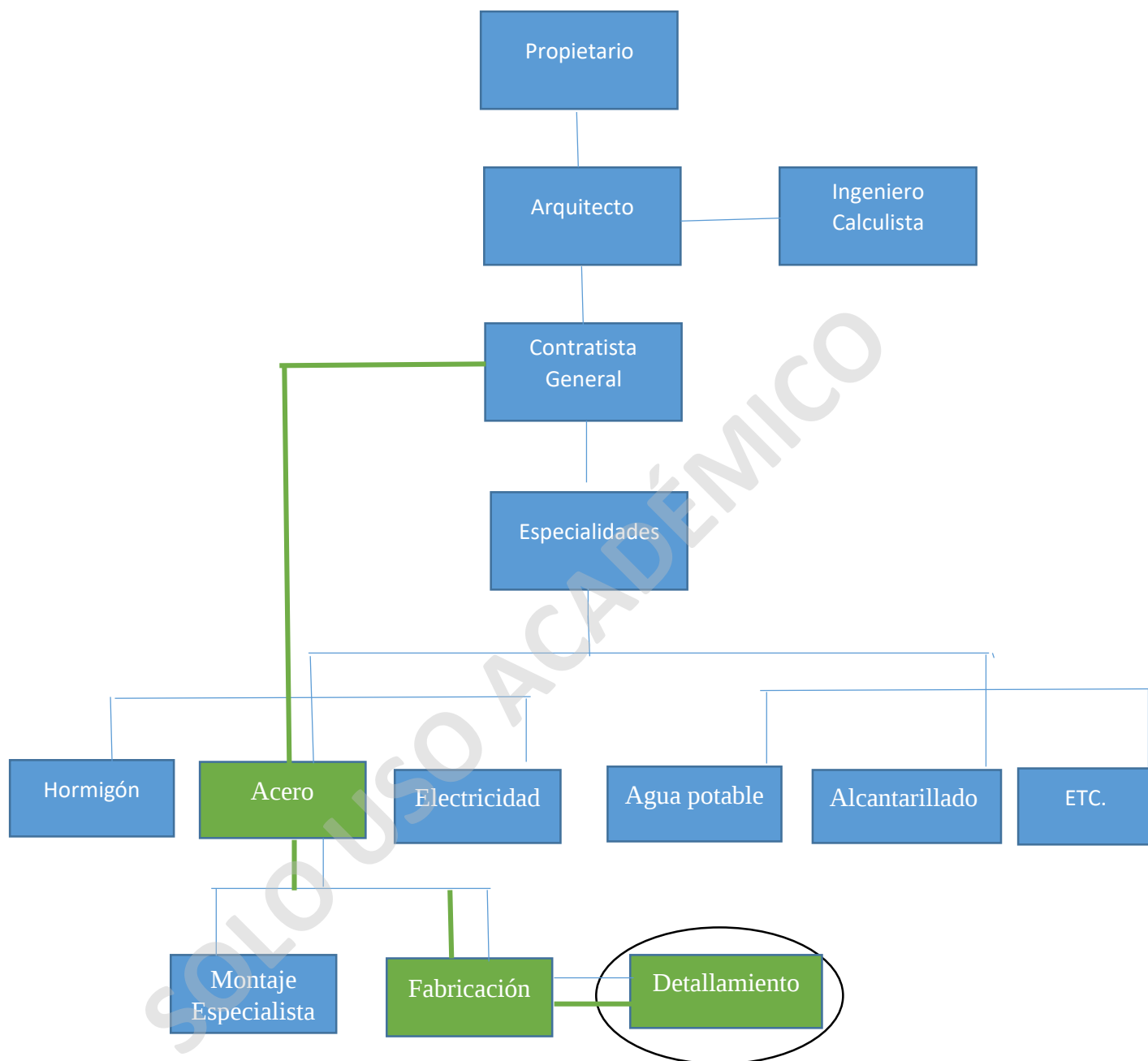
Encontramos esta disciplina en construcciones de mediana y gran envergadura, ya sea proyectos comerciales o industriales. El detallador estructural (normalmente llamado detallador dentro de su campo) trabaja en estrecha colaboración con los siguientes profesionales:

- Arquitectos
- Ingenieros
- Contratista general

Las compañías de manufactura en acero subcontratan empresas dedicadas a este rubro, las cuales se basan en software computacionales en tres dimensiones para gestionar la planificación, fabricación y montaje de una construcción en acero.

Para poder comprender los procesos de un proyecto de estructuras metálicas, debemos saber cuáles son los profesionales y personas naturales que tienen directa relación con esta especialidad. (propietario, arquitecto, ingeniero, contratista y sub especialidades, agua potable, alcantarillado, electricidad, etc.) en los siguientes casos veremos cómo se aplica el flujo de trabajo actualmente en nuestro país.

Caso 1: En este caso la empresa presta servicios a un subcontratista de acero, más conocido en Chile como maestranza, fabricante o manufacturera.

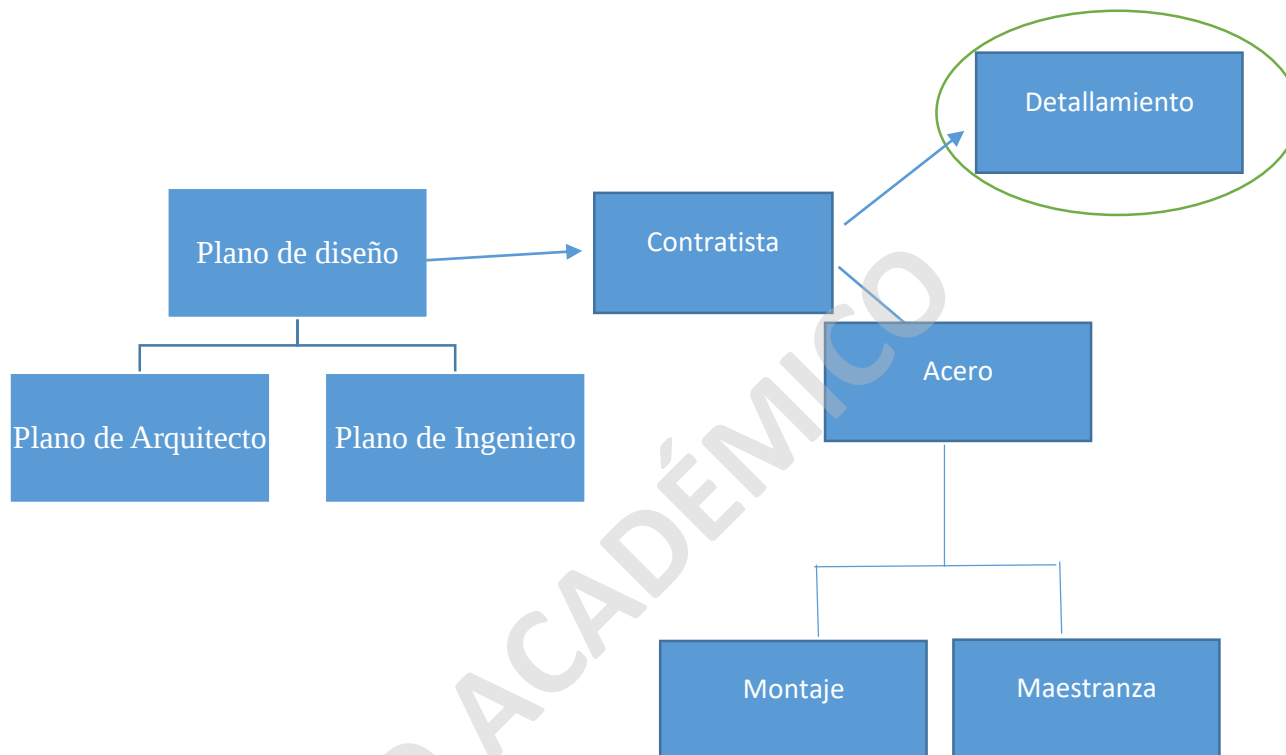


Flujograma 1 Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014

En el flujograma 1 podemos apreciar que la información de trabajo es recopilada por el contratista general, este a su vez la envía a una maestranza o fabricante, el cual se encarga de subcontratar los servicios de una oficina de detalle para la gestión de la planimetría (fabricación y montaje). Además, la creación de archivos CNC y en algunos casos la coordinación con distintas especialidades a través de archivos neutros.

Se muestra también en color verde el traspaso de información desde una oficina hacia los subcontratos.

Caso 2: En este caso la oficina presta servicios directamente al contratista general.
Imagen 2



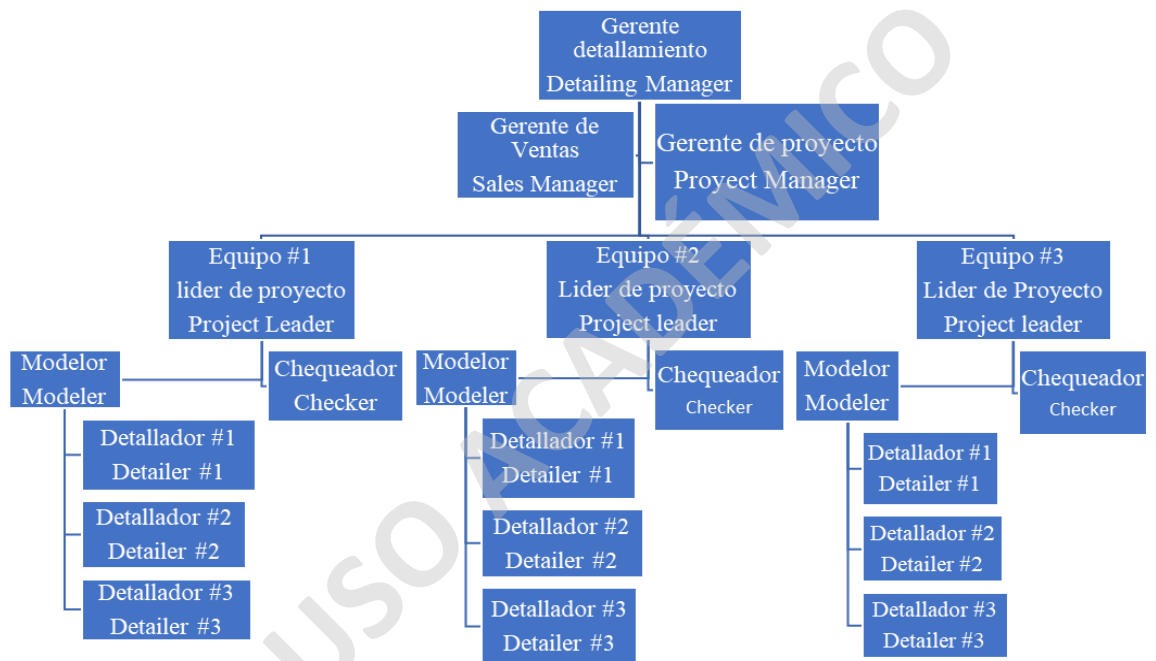
Flujograma 2 Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014

Como se aprecia en los flujos 1 y 2 la especialidad de detallamiento o llamado en ocasiones ingeniería de detalle es una práctica que no solamente abarca el acero como su único objetivo, sino que también presta colaboración con subcontratos involucrados en el proyecto. De allí la necesidad de contar con capital humano que posea una fuerte experiencia y habilidades en la interpretación de dibujos ligados a la construcción, y por supuesto conocimientos de procesos constructivos.

Existen otras posibilidades de flujo de trabajo, pero las que se señalan en el caso 1 y 2 son las más comunes.

6.1 Oficinas en Chile

Como se menciona anteriormente, las grandes empresas manufactureras de acero ligadas a la construcción, subcontratan oficinas técnicas de detalle estructural para la realización de planos y despiece de estructura. Estas oficinas por lo general se conforman por el recurso humano graficado en el flujograma 3.



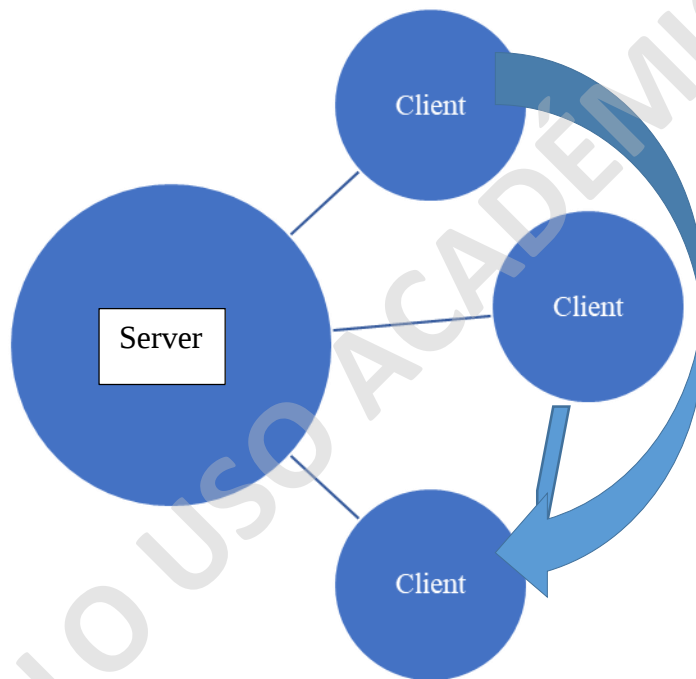
Flujograma 3Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014

6.2 Definición de funciones por cargo dentro de una oficina.

- Gerente detallamiento (Detailing Manager): La función de este cargo es administrar el departamento o la oficina de detalle, mantiene la supervisión de lo que sucede globalmente en la oficina informado por el gerente de proyecto. Coordina el estudio de propuesta y adjudicación apoyado por el gerente de ventas.
- Gerente de Proyecto (Project manager): Encargado de coordinar los trabajos en la oficina, coordinar avances y entregas con las distintas especialidades. Vela por el envío a tiempo de los plazos estipulados en el contrato, como también administra la carga de trabajo del líder de proyecto. Finalmente es el encargado de clarificar dudas provenientes de la planimetría base (arquitectura e ingeniería) generando RFI's.
- Líder de Proyecto (Project Leader): Su función es ejecutar el proyecto en el software 3D y supervisar el correcto modelamiento. Además de distribuir la carga de trabajo hacia los detalladores y chequeador.
- Modelador (Modeler): Es el encargado del modelo en si, por lo general es un proyectista detallador senior. Su función es ingresar los datos generales en el proyecto.
- Detallador #1 (Detailer #1): Su función es el modelado más acotado del proyecto, misceláneos, escaleras, ángulos de borde, etc.
- Detallador #2 (Detailer #2): Encargado de generar planos de fabricación y montaje en 2D, archivos CNC, reportes.
- Detallador #3 y #4: Encargado de generar planos de fabricación y montaje en 2D.
- Chequeador: La función del chequeador es revisar el modelo, corroborando que el grueso de este calce a la perfección con los planos de diseño. Una vez que el proyecto esté en la etapa de envío para aprobación o fabricación, el trabajo del chequeador es revisar plano por plano y corroborar que estos coincidan con el diseño. Además, es quien cerciora la información necesaria para la correcta fabricación de las piezas. Este cargo generalmente es ocupado

por proyectistas o detalladores con más experiencia incluso que el líder de proyecto. El chequeador es un actor involucrado y al mismo tiempo ajeno al proyecto, ya que su mirada debe ser crítica al momento de revisar y agregar comentarios.

Nota: los perfiles se ingresan en forma simultanea por el equipo de detallado, alojando toda la información en un solo servidor. Esto permite que todos los miembros de la oficina puedan apreciar en tiempo real lo que sucede con el avance de este. Tal como lo grafica el flujo 4.



Flujograma 4

6.3 Flujo de Trabajo en Oficina:



6.4 Definiciones flujo de trabajo:

- Adjudicación del proyecto: Una vez que el proyecto se adjudica, paralelamente se recibe la O.T. (Orden de trabajo) con los planos de diseño definitivos. Dando curso a la distribución del proyecto.
- Preparación del modelado 3D: Incorporación de ejes y elementos primordiales.
- Chequeo para aprobación: Se incluyen los comentarios del chequador al modelo.
- Preparación de planos 2D: Se crea la planimetría a partir del modelo previamente chequeado.
- Recepción de planos desde aprobación: Una vez recibida la aprobación se da curso a la incorporación de los comentarios.

- Preparación de planos para fabricación y montaje: Incorporados los comentarios se preparan los dibujos para la materialización de estos en maestranza.
- Chequeado de fabricación y montaje: Se incorporan los comentarios del chequeador dentro del modelo y la planimetría en 2D.
- Entrega: Se envía en algún formato previamente acordado con el mandante, incluyendo los archivos CNC para la maquinaria que se encuentra en la maestranza y los respectivos reportes del despiece.

Nota: para la incorporación de ejes y perfiles, existe la posibilidad de importar archivos neutros. Siempre y cuando el diseño fuese efectuado en un software 3D, como es el caso de REVIT el cual permite el correcto traspaso de información al software de detallamiento SDS/2

6.5 Envío y recepción de aprobación:

Envío: El envío para aprobación, consiste en generar un paquete completo de dibujos a los distintos actores involucrados en el proyecto (arquitecto, ingeniero, subcontratista, etc.) como se aprecia en la imagen número 8, y número 9.

[illegible]

6.6 RFI's:

58

tienen ciertos complementos o variaciones. En el resto de los países de América latina existe un atraso significativo en la emisión de reglamentos para la construcción en acero respecto a las emitidas por la AISC. Esto genera que en muchos casos para obras importantes los calculistas tomen directamente como referencia las especificaciones norteamericanas.

La construcción en acero liviana cuyos elementos son perfiles conformados se rigen por la norma AISI, existiendo también para estas un cierto atraso en la adopción de las normas norteamericanas por parte de los países latinoamericanos. Para la gran mayoría de las oficinas de detallamiento la incorporación de los códigos de la AISC es recurrente. Su homólogo en Chile es la ICHA (instituto Chileno del Acero) el cual entrega un manual de diseño con conexiones recomendadas para proyectos nacionales.

6.8 Chequeo de un proyecto

El chequeo de un proyecto de detallamiento estructural es el último filtro antes de la entrega de los planos de fabricación y montaje. El chequeador mencionado en un comienzo, cumple una función primordial como agente externo, pero a su vez es parte del equipo del proyecto, es el quien visa la entrega.

El chequeo debe partir desde el detallador número 4, es responsabilidad del chequeador velar por la garantía del producto. Usualmente se le entrega un juego de planos ya sea de fabricación o montaje con un tiempo considerable para que estos sean comentados y comparados con el diseño entregado en el contrato.

6.9 Software de detallamiento

Para efectos de este material, definiremos software como un programa lógico de un sistema informático, creado para facilitar el trabajo planímetro de un proyecto de construcción. El software que veremos en este documento es SDS/2, creado y distribuido por Design Data Corporation.

SDS/2 es un software asistido por computadora creado para proveer el despiece, fabricación y montaje de una estructura metálica. Este programa se basa en el modelado en 3D de todos los elementos de acero dentro del proyecto. Esta aplicación no dibuja simplemente líneas, sino más bien directamente sólidos con propiedades físicas, las cuales al momento de interactuar entre si generan la planimetría automática del proyecto, además crea soluciones de cálculo y conexiones de perfiles (no existe en el mercado otro software de detallamiento que entregue estos resultados). Al momento de comenzar un nuevo proyecto, el SDS/2 pregunta al usuario en qué tipo de libro o

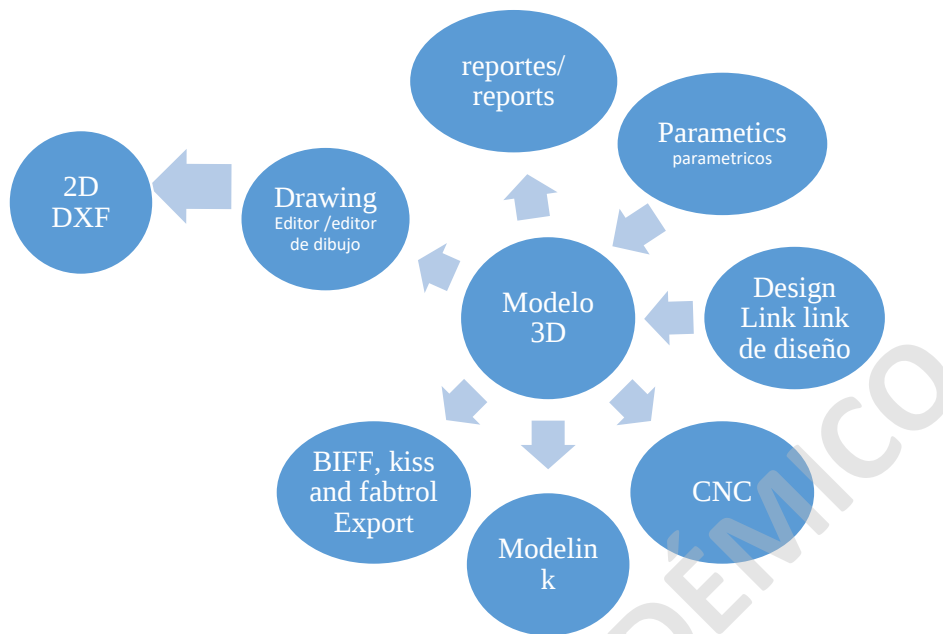
norma prefiere generar estas conexiones (ASD13, LRFD13, AS 4100, CSA8, ASD9, LRFD3, CSA9).

Este cálculo de conexiones puede ser impreso y enviado al calculista para comprobar la veracidad del diseño, o proponer soluciones a conexiones no resueltas. Esta herramienta nos entrega un protagonismo importante en el equipo de ingeniería, ya que no solamente acota los tiempos significativamente de la planimetría, sino que además podemos chequear que los encuentros estén aceptados por los momentos de inercia, y proponer nuevas soluciones avalados por alguno de los libros de conexiones citados anteriormente. Todo esto respaldado por una memoria de cálculo entregado automáticamente en formato reporte.

6.9.1 SDS/2 Connect

Otro modulo recientemente liberado al mercado por la empresa Design Data es SDS/2 connect, este plug-in es un conector entre Revit Structure (software creado por Autodesk) y SDS/2 (software creado por Design Data). La idea de esta alianza generada por estos dos grandes de la industria de software, es facilitar el traspaso de información desde las oficinas de calculo que trabajan con Revit Structure, hacia los detalladores y maestranzas. En definitiva, los usuarios de Revit con esta herramienta podrán comprobar las conexiones de perfiles dentro del modelo. Por otro lado, los usuarios de SDS/2 podrán importar y exportar modelos desde y hacia las oficinas de ingeniería.

6.9.2 Ejemplo de cómo funciona el SDS/2



Flujograma 5Diplomado de Detallamiento de Estructuras de Acero 2014

Nota: El SDS/2 consiste en un programa de modelado 3D llamado Modeling, un programa 2D CAD llamado Drawing Editor, un programa 3D para grabar paramétricos llamados Parametric Modeling, y varios otros programas de soporte.

Capítulo 7

7 Fabricación de estructuras metálicas.

7.1 Carga de datos del proyecto a software de control de producción

7.1.1 StruMis

Este software está diseñado para fabricantes de acero y les permite gestionar todas las etapas de un proyecto desde la oferta inicial hasta el montaje, controlando el presupuesto durante todas las etapas, entregando calidad y eficiencia para las operaciones. Está compuesto por varios módulos para suplir las necesidades de los distintos departamentos de la empresa, los que serán detallados a continuación.

- **Solicitudes y Presupuestos:** en este módulo se crean cotizaciones con valores predefinidos de estimación, accediendo a la base de datos de aceros para obtener propiedades de peso, área y precio, proporcionando una estimación de costos de procesos como pintura, galvanización, etc.
- **Compras y Proveedores:** las órdenes de compra de materia prima se generan automáticamente desde el asistente de aprovechamiento, asegurando compras eficientes y que luego son enviadas al proveedor. Las recepciones de inventario permiten verificar y asignar el material rápidamente. Además, permite ingresar información de certificados de calidad y número de seguimiento, permitiendo una trazabilidad de la materia prima
- **Control de Documentos:** este módulo permite importar archivos de control numérico, planos y certificados de calidad directamente desde los sistemas de modelamiento 3D, disminuyendo tiempos de ingreso y eliminando errores. La revisión, ubicación e historia de todos los documentos se controlan en todo momento.
- **Gestión de Contratos:** este módulo permite la creación de contratos que contienen información crítica como cliente, peso, área, fases, dibujos, marcas de ensamblaje, hitos de facturación, etc. La función de presupuesto de contrato importa automáticamente los valores de estimación/oferta y los costos (material, mano de obra, servicios), luego los compara con los compromisos (asignación de inventario, órdenes de compra) y los costos reales (horas de trabajadores), proporcionando un rendimiento financiero constante y claro.
En este módulo se importa el listado de conjuntos y partes a fabricar, con compatibilidad con muchos componentes de software de modelamiento en 3D de estructuras metálicas, principalmente con Tekla [3], utilizando por la mayoría de los fabricantes de ACERO en Chile. Las modificaciones en el diseño durante el proceso de fabricación (una de las principales complicaciones de las empresas) se gestionan fácilmente en el sistema, gracias a la trazabilidad se identifican los cambios específicos, identificando las nuevas compras de materia prima y los nuevos elementos que se deben fabricar, eliminando errores costosos.

- **Ventas y Clientes:** permite ingresar los detalles de contactos, direcciones, nombres y luego se pueden vincular a proyectos adjudicados. Permite la creación de solicitudes de venta. Las facturas de ventas se crean automáticamente en los hitos a lo largo del contrato, el módulo de ventas muestra el estado de producción de todos los conjuntos, permitiendo facturar en ciertas etapas de producción o hitos. Los valores de la factura de ventas se exportan al módulo de presupuesto para la comparación de costos con el gasto.
- **Elementos e Inventario:** este módulo entrega un estado del inventario en tiempo real. La materia prima asociada a un contrato se puede controlar, al igual que sus consumibles, y realiza un ajuste automático con las órdenes de compra recibidas, emitidas y consumidas, por lo que no es necesario realizar ajustes manuales. Existe una trazabilidad y seguimiento completos. Los estados del inventario son: libre, asignado, remanente y trabajo en curso. El módulo de inventario permite realizar un seguimiento a través de los números de colada, número de pedido, número de orden de entrega, fecha de pedido y fecha de recepción, estos datos críticos permiten cumplir con las normas de control de calidad para la trazabilidad y el control. El valor de inventario se muestra como costo por tipo de materia prima, precio unitario por metro de estructura lineal o por tonelada. Además, existen numerosos informes de gestión, por ejemplo: El valor/estado del inventario, el uso histórico por tipo o proveedor y ubicación del inventario.
- **Control de Producción:** este módulo entrega una visión clara y transparente del progreso, monitoreo y estado actual de cada conjunto y parte, las que pueden ser avanzadas a la siguiente etapa y proceso. Se definen agrupaciones o Lotes, con sus respectivas fechas de fabricación y entrega. La generación de órdenes de producción se realiza interrogando los archivos de control numérico CAM/NC para obtener tiempos, asignar procesos y máquinas de corte, perforado, etc. de forma automática. Con esto se obtienen las cargas de trabajo por máquina, empleado o proceso, permitiendo una adecuada planificación de la producción. El seguimiento de la producción se puede realizar visualmente a través del modelo 3D del proyecto. Este módulo permite la creación de notas de entrega entre procesos, guías de despacho a subcontrato, y guías de despacho a obra de productos terminados (que se puede realizar a través de código de barra). También se obtienen informes de las horas invertidas por cada trabajador.

Entre las ventajas y desventajas de este software se pueden mencionar las siguientes:

Ventajas

- Permite integración con software de modelamiento 3D, entre ellos Tekla, para el ingreso de conjuntos y partes a fabricar.
- Permite controlar y gestionar los procesos productivos, el control de calidad, montajes, etc., con un nivel de detalle importante.

- Este software es bastante configurable, lo que es bastante útil en empresas metalmecánicas sin tanto proceso automatizado y que realizan varios procesos manuales y en forma dinámica.

Desventajas

- Los costos de licenciamiento son bastante elevados para una empresa metalmecánica promedio.
- Los tiempos de implementación de esta solución se extienden por al menos 6 meses, dado que contempla varios departamentos dentro de la empresa.

7.2 Entrega de planos a maestranza

Los Planos de Construcción o de Taller son Planos de Trabajo para la colocación del acero de refuerzo. Estos planos incluyen detalles de cómo colocar el acero de refuerzo en los elementos estructurales que componen una construcción, debe mostrarse la longitud y ubicación de los empalmes traslapados, la ubicación de los empalmes mecánicos o soldados, la posición de las placas de aceros. Esto incluye la lista de perfiles, detalle de doblado, plantas o elevaciones de construcción. Estos planos son elaborados por el modelamiento 3D e impresos por computadora.

Estos planos deben incluir toda la información detallada para la completa colocación de todos los componentes y los apoyos de los perfiles y deben ser preparados en función del diseño estructural, contenidas en los documentos contractuales

El objetivo fundamental de los Planos de Construcción es comunicar al personal de Campo en la obra, la intención del diseñador estructural expresada en los Planos Estructurales y Especificaciones Técnicas.

Una vez contando con los planos pasan al departamento de planificación.

7.3 Planificación de producción

El proceso de planificación es el punto intermedio entre el detallamiento estructural y la fabricación de la estructura metálica, es donde se tienen que plasmar todos los beneficios de la utilización del BIM en favor de una correcta fluidez del proceso de fabricación, se tienen que considerar aspectos como, tiempo de ejecución, maquinaria disponible, materia prima disponible, complejidad de la estructura y otros factores a considerar, el líder del departamento es el encargado de abrir el proyecto y separarlo en una serie de procesos más pequeños dentro del departamento.

7.3.1 Control Documental

Es el encargado de distribuir y registrar información correspondiente a un determinado proyecto, tanto interna como con cliente y proveedores. Entrega de copia dura de planos a las áreas pertinentes.

Tareas específicas:

- Recepción de Solicitudes de Emisión de Documentos
- Generación de RFI con la oficina de ingeniería
- Distribución de Documentación
- Confección de Carpetas de Informes de Proyecto
- Registro de modificaciones históricas del proyecto
- Recepción y registro de RFI
- Control, distribución y registro de los documentos del Sistema de Gestión de Calidad
- Copia en servidor de antecedentes del proyecto
- Impresión de planos autorizados para fabricación.

7.3.2 Adquisiciones

Encargado de comprar materia prima e insumos del proyecto teniendo como principal objetivo el control del presupuesto y las calidades de los productos sean iguales a las especificadas en el proyecto, en este punto uno de los beneficios de BIM es que permite comprar por una lista avanzada de materiales los perfiles principales para iniciar la preparación de materiales.

Tareas específicas:

- Comprar listado avanzado de materiales.
- Establecer compromisos con proveedores de fecha de llegada de material.
- Obtener un buen precio y condición de pago.
- Analizar periódicamente precios de los productos.
- Controlar toda la gestión documental que acompaña a cada compra

7.3.3 Check de proyectos

Encargado de analizar los aspectos constructivos del proyecto como su factibilidad en terreno, generalmente una persona de vasta experiencia en el rubro con la capacidad de detectar errores, documentarlos y corregirlos, al poder visualizar el proyecto en 3D es mucho más certero el trabajo del check ya que permite visualizar el 100% de la obra sin estar ejecutada.

Tareas específicas:

- Revisar factibilidad de perfiles mercado nacional
- Revisar dimensiones para transporte
- Revisar factibilidad de conexiones de estructuras
- Revisar factibilidad y condicionantes de espacio para montaje de estructura

7.3.4 Programación de máquinas.

Encargado de hacer los aprovechamientos de materiales (planchas y perfiles) con los softwares correspondientes y los archivos CNC que se desprenden del modelamiento 3D, permite hacer optimizaciones de planchas por espesores entregando el mayor porcentaje de ocupación de las planchas de acero con una variación de 1mm por metro de corte efectivo y en perfiles el corte de flejes utilizando los formatos comerciales de las planchas de acero para mayor aprovechamiento y optimización de los perfiles entregando un perfil dimensionado, perforado y marcado según su requerimiento.

7.4 Fabricación de estructuras

El proceso de fabricación de una estructura tipo se realiza en áreas especializadas para el desarrollo de cada procedimiento con sus respectivos equipos y personal capacitado para ejercer el trabajo respectivamente designado, lo cual se vigila con constancia, mediante un programa de control de calidad de cada proceso por el que pasa la pieza de la estructura metálica.

Las instalaciones deben brindar el confort y seguridad necesaria para la ejecución del trabajo, esto garantiza la excelencia en la mano de obra y la mayor confianza en el proceso.

Contando con un diseño racional, un acero estructural de alta calidad, Implementando tecnología en los procesos de fabricación, empleo de materiales de aportación de fabricación controlada, una mano de obra calificada y apegado a la norma especificada, tendremos como resultado una estructura de alta confiabilidad, que responde a las condiciones que sirvieron para su análisis y diseño.

7.4.1 Pedido de material

Para realizar el pedido de material, se deberá tener en cuenta las dimensiones, tolerancias, juntas y ajustes que deben tener las piezas, evitando desperdicios, desde el punto de vista estructural y económico, el material deberá ajustarse a las medidas comerciales, entendiendo por esto las medidas estándar de fabricación de cada pieza o elemento necesario para la estructura.

7.4.1.1 Certificación

Es de gran importancia contar con el Certificado de Conformidad de la Producción del Acero caso contrario se debe realizar pruebas de laboratorio con el fin de determinar su composición.

7.4.2 Transporte y recepción del material a maestranza

La gestión en cuanto al transporte debe ir en función de suplir las necesidades del espacio asignado para la obra.

El transporte de láminas, perfiles y todo lo que implica la fabricación del edificio se debe realizar de manera que éstos no sufran ningún daño causado por el inadecuado embalaje de los mismos. Para evitar daños físicos, se acondicionan “cunas” que imposibilitan el movimiento y contacto entre el material a utilizar.

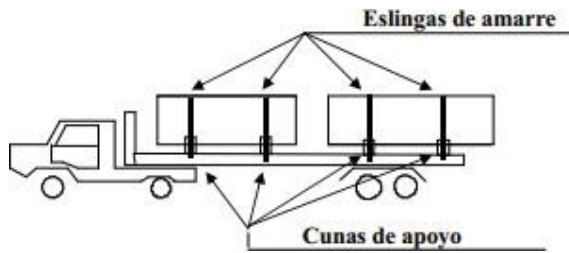


Figura 12 Transporte del acero

Cuando el transporte se realice en camiones sin techo, es necesario utilizar un protector plástico para evitar corrosión.

Por parte de la logística encargada de la obra, se debe adecuar el acceso apto para permitir la entrada de camiones tipo tráiler. Se debe limitar el acceso a camiones de acceso estrechos o con limitaciones de peso, además la pendiente máxima que admiten este tipo de camiones es del 6%. Los tráileres utilizados como medio de transporte deben cumplir con las leyes de tránsito vigentes. La descarga de los elementos constituyentes en la obra se realizará con la ayuda de grúas o elementos adecuados al peso.

Al recibir el material, deberá hacerse una selección cuidadosa de éste, seleccionándolo de acuerdo con las longitudes y secciones requeridas, con objeto de evitar pérdidas de operación del material en el taller.

Es indispensable dotar de un área adecuada para el almacenamiento. El espacio destinado a la realización de la obra debe constar de dos bodegas, la primera para almacenar los elementos estructurales (materia prima) y una adicional para el almacenamiento de herramientas y equipo de seguridad (guantes, cascos, etc.).

7.4.3 Enderezado

Contraflecha, curvado y enderezado son procedimientos que se usan para corregir deformaciones en perfiles o chapas metálicas dadas por el almacenaje, transporte, fabricación, efectos térmicos, empalme. Se puede realizar por conformado mecánico o térmico.

El enderezado por medio de llama resulta una práctica común en el procesamiento de aceros estructurales. El objetivo que se persigue con dicha técnica consiste en introducir o revertir modificaciones en la forma del componente metálico con el fin de ajustarse a una geometría dada. Las deformaciones introducidas, de origen térmico, se consiguen mediante la aplicación de un flujo de calor sobre el componente, dando lugar a expansiones térmicas durante el proceso y a contracciones permanentes tras el enfriado.

El enderezado en frío con prensa o trenes de rodillos ofrecen resultados satisfactorios

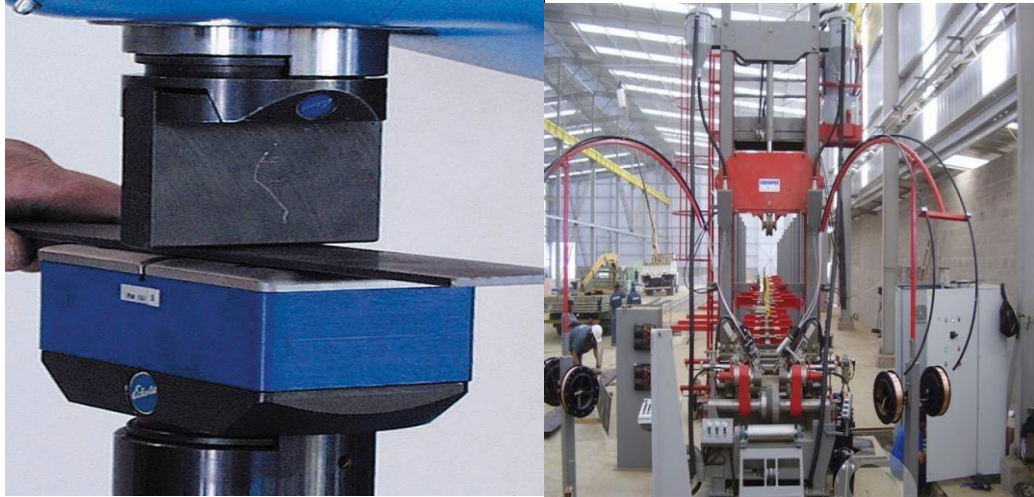


Figura 13 Enderezado y conformado y enderezado CNC, corimpex, procedencia Italiana

La contraflecha y curvado de la placa es medida en el proceso y no estará presente de igual manera a lo largo de la sección de la viga. La contraflecha es una ligera curvatura, convexa, que se realiza en una viga o cercha para compensar cualquier flecha prevista cuando soporte un peso. También llamada combadura.

La longitud máxima que puede ser contraflechada depende de la longitud a la cual una sección puede ser rolada con un máximo de 30m.

La operación de curvado es un proceso de fabricación que busca darle forma a perfiles metálicos.

El curvado depende del diámetro del caño a doblar, así como el espesor del mismo y el material con el que se ha confeccionado. La maquinaria usada para el curvado debe proveer de una energía suficiente como para poder deformar la pieza, sin generar efectos adversos como tensiones innecesarias o dobleces excesivos.

7.4.4 Trazado y preparación

El proceso de trazado consiste en reproducir sobre una superficie metálica las cotas o referencias necesarias para el desarrollo de los procesos de fabricación posteriores. El trazo se realizará conforme las indicaciones de los planos de taller.

El trazador también se encargará de la preparación de piezas para efectos de soldadura, tales como biseles, cortes especiales, etc.

Para que el acople de las juntas tenga mayor precisión se realiza un perforado simultaneo en las partes mediante equipos automáticos de trazado y perforado.

La aprobación del procedimiento está a cargo del jefe de taller.

7.4.4.1 Elementos

Puntas de trazar o marcar, es una varilla de acero delgado terminado en un extremo en punta plana y en el otro extremo doblada unos 90° afilada y endurecida por temple. Se los utiliza para señalar o marcar sobre toda superficie.

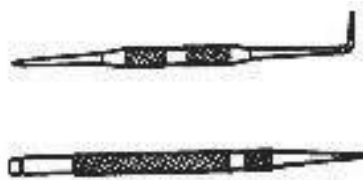


Figura 14 Puntas de señalar

Granete o punta de marcar, varilla de acero de unos 18 o 20 cm de largo su filo es un cono de unos 60° o 70°. Se lo utiliza para marcar centros.

Comparadores, sirven para la comparación de unas medidas con otras. Constan de un eje cilíndrico que al deslizarse sin holgura entre una guía hace girar una aguja alrededor de un cuadrante dividido en 100 partes.

7.4.4.1 Inspección de Trazado y Enderezado

Se debe verificar el correcto proceso de trazado y enderezado, de existir alguna falla en el proceso se realizará el levantamiento de no conformidades.

7.4.5 Corte de material

El corte de los elementos estructurales debe realizarse teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

- Si el corte es recto se controla mediante topes, en el caso de cortes con forma se los realiza por control numérico o con fotocélulas que siguen las figuras trazadas a escala.
- Los bordes del corte deben estar libres de rebabas, filos o irregularidades.
- Los cortes realizados deben regirse a los planos de taller.

7.4.5.1 Tipos de corte

7.4.5.1.1 Proceso de corte con cizalla (guillotina)

Proceso en el que las piezas se separan al aplicar sobre el elemento o chapa metálica fuerzas iguales, pero de sentido opuesto, figura 15. El empleo de la cizalla se permite para chapas pequeñas y finas, planas y angulares. ($e < 16\text{mm}$).



Figura 15 Corte con guillotina CNC

7.4.5.1.2 Proceso de oxicorte

El proceso de oxicorte se debe a la reacción química entre oxígeno y el material base a temperaturas elevadas facilitando el corte del material.

El proceso se basa en la rápida formación de óxido de hierro, producido cuando se introduce una corriente de oxígeno puro a alta presión dentro del perímetro de corte. El hierro se oxida rápidamente debido al oxígeno de alta pureza y esta reacción libera calor. El flujo de oxígeno y los gases de combustión desplazan el óxido fundido y el metal arde a su paso, produciendo un corte estrecho.

El oxicorte es un método rentable para cortar chapas con o sin preparación. Las aplicaciones de oxicorte se limitan al acero al carbono y de baja aleación. Estos materiales pueden cortarse con rangos de espesor comprendidos entre 1,6 mm y 10,2 mm mediante el oxicorte manual y espesores mayores se cortan mediante el uso de máquinas de corte con buenos resultados.

“La técnica del oxicorte comienza con el precalentamiento. Para ello, con el soplete utilizando parte del oxígeno y el gas combustible crea una llama de precalentamiento formada por un anillo perimetral en la boquilla de corte.

Una vez alcanzada la temperatura de ignición en la pieza, se actúa sobre el soplete para permitir la salida por el orificio central de la boquilla del chorro de oxígeno puro, con lo que se consigue enriquecer en oxígeno la atmósfera que rodea la pieza precalentada, y así, utilizando la llama de precalentamiento como agente iniciador se da lugar a la combustión figura 16.

El óxido resultante de la combustión fluye por la ranura del corte, a la vez que sube la temperatura de las paredes, ayudando a mantener el proceso

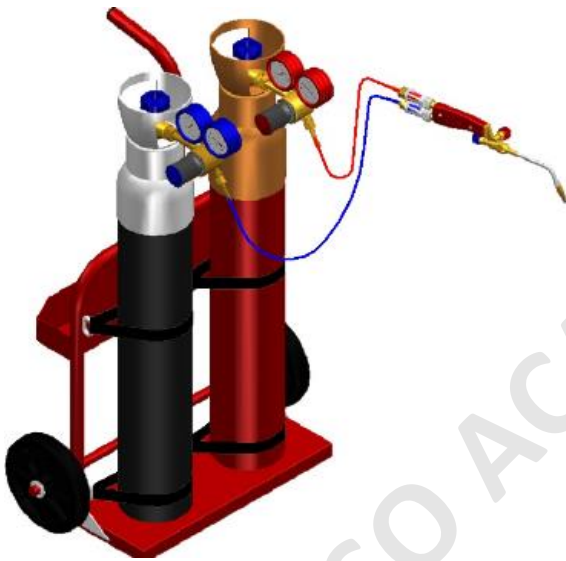


Figura 16 Proceso Oxicorte convencional



Figura 17 Proceso Oxicorte CNC

7.4.5.1.3 Proceso de corte por plasma

Este proceso corta metales al fundir un área localizada del material mediante un arco eléctrico restringido que elimina el material fundido con un chorro de gas ionizado caliente a alta velocidad. El corte plasma puede utilizarse para cortar cualquier metal conductor de electricidad si su espesor y forma permiten la plena penetración del chorro de plasma. Es una alternativa económica para muchas aplicaciones industriales, figura 18.

Figura 18 Corte con arco de plasma

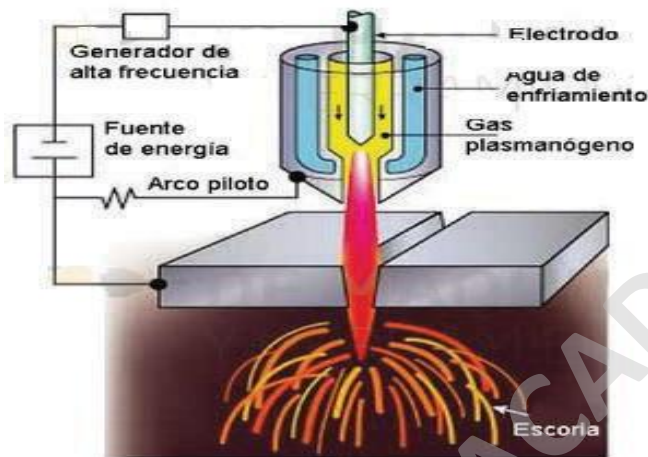


Figura 19 Corte con arco de plasma CNC

Proceso de corte por laser

El corte láser es un proceso de corte térmico basado en la fusión o vaporización altamente localizadas que produce un haz de luz coherente de alta energía, por lo general con la ayuda de un gas de asistencia. El gas de asistencia desaloja el material fundido de la zona de corte, figura 20. Es aplicable tanto en los materiales metálicos como en los no metálicos. Los equipos de corte láser producen un corte de alta calidad

y elevada reproducibilidad con una zona afectada térmicamente mínima y poca o ninguna distorsión.

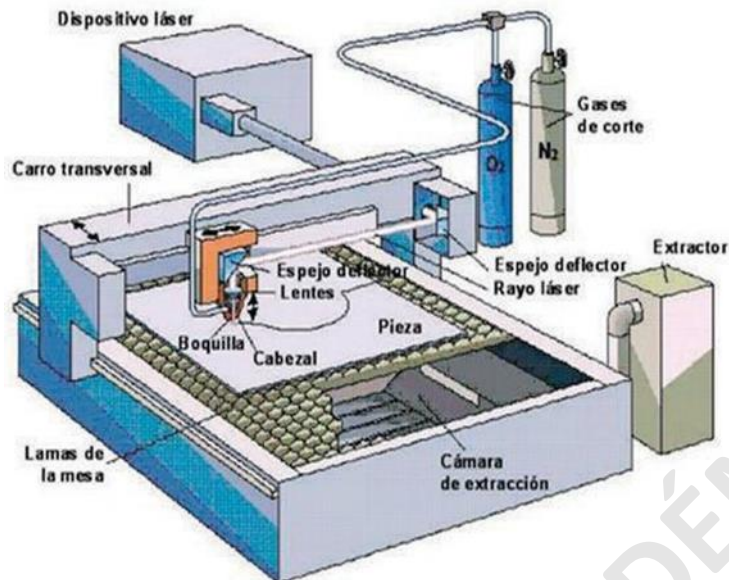


Figura 20 Corte con laser

7.4.6 Limpieza y preparación de juntas

7.3.6.1 Preparación de la superficie

Antes de pintar se deberá eliminar la grasa, el aceite, el polvo y cualquier otro contaminante depositado sobre la superficie a tratar después de ser preparada.

En el caso de que aparezcan zonas oxidadas después de haber preparado la superficie, éstas deberán ser nuevamente limpiadas.

7.4.7 Pre-armado en taller

Es la etapa más importante dentro del proceso de fabricación de elementos estructurales ya que tiene como objetivo el ensamblado de las piezas elaboradas, en la posición relativa que tendrán cuando se realicen las uniones definitivas.

Para las uniones se debe seguir lo descrito a continuación:

- Si la unión se realizará con tornillos calibrados o de alta resistencia se fijarán con tornillos de armado, de diámetro menor a 2 mm, menor que el diámetro nominal del agujero correspondiente. Se debe colocar el número suficiente de tornillos apretados fuertemente con la llave manual asegurando la inmovilidad de las piezas armadas.

- Para piezas que se unirán con soldadura, se fijarán entre sí con medios adecuados que garanticen, sin una excesiva coacción, la inmovilidad durante el soldeo y enfriamiento subsiguiente, para conseguir exactitud en la posición y facilitar el trabajo de soldeo.
- Si como medio de fijación se emplean puntos de soldadura el número y el tamaño será el mínimo necesario para asegurar la inmovilidad.

Los puntos de soldadura se depositarán entre los bordes de las piezas que van a unirse y pueden englobarse en la soldadura definitiva siempre y cuando se haya realizado la limpieza de escoria y presente fisuras u otros defectos.

7.4.7.1 Inspección en el Pre-Armado

Se debe verificar el correcto proceso de pre-armado, de existir alguna falla en el proceso se realizará el levantamiento de no conformidades.

Para la inspección, se debe comprobar su exactitud para proceder a la unión definitiva de las piezas que posteriormente se llevarán la obra.

No se retirarán las fijaciones de armado hasta que quede asegurada la indeformabilidad de las uniones.

Finalmente, este proceso el pre- armado debe ser constituido de tal manera que cumpla los parámetros de resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión requerida (bases de columnas, elementos de unión) debe ser igual a la suma de las resistencias a flexión requeridas por los elementos de acero conectados a la base.

7.4.8 Soldadura en taller

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 en presencia de calor y con o sin aporte de material agregado. Cuando se trabaja a bajas temperaturas y con aporte de un material distinto al de las partes que se están uniendo. Las ventajas de las conexiones soldadas son lograr una mayor rigidez en las conexiones, menor costos por reducción de perforaciones, una mayor limpieza y acabado en las estructuras. Sin embargo, tienen algunas limitaciones importantes que se relacionan con la posibilidad real de ejecutarlas e inspeccionarlas correctamente en obra. Hoy en día, una tendencia recomendada es concentrar las uniones soldadas en trabajos en el taller y hacer conexiones apernadas en obra.

Las posiciones de soldadura típicas son: plana, vertical, horizontal y sobre cabeza, figura 21.



Figura 21 Posiciones de Soldadura, Uniones y conexiones de acero estructural, 2012

Los tipos de conexiones de perfiles y planchas por soldadura dependen de factores como el tamaño y forma de los miembros que forman la junta, el tipo de carga, la cantidad de área en la junta disponible para soldar y el costo relativo de varios tipos de soldaduras. Existen 4 tipos básicos de juntas soldadas, aunque en la práctica se consiguen muchas variaciones y combinaciones, son las siguientes:

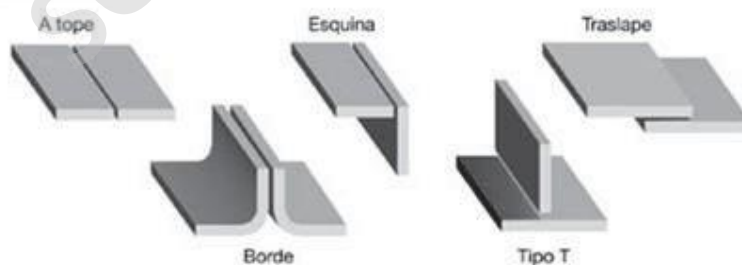


Figura 22 Conexiones de perfiles y planchas por soldadura

Los tipos de soldadura que se pueden realizar son:

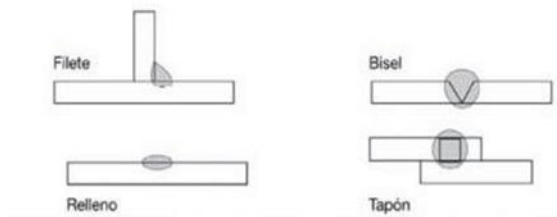


Figura 23 Tipos de soldaduras

Los biseles en los perfiles o planchas a soldar se muestran en la siguiente figura:

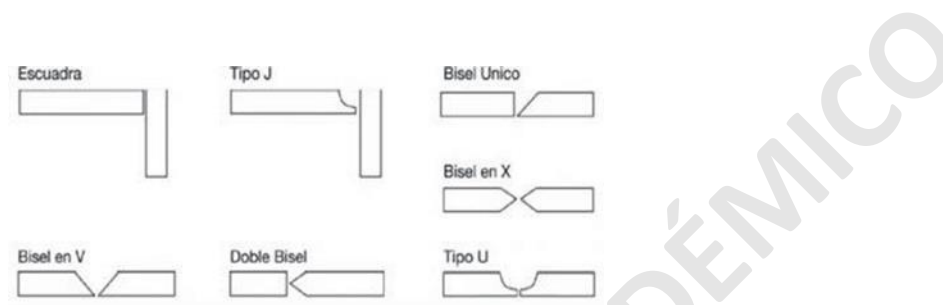


Figura 24 Biseles en los perfiles o planchas

La soldadura es una operación que requiere un trabajo delicado, realizado por un operario calificado. Una soldadura mal realizada puede quedar porosa y frágil y expone a la totalidad de la estructura a un desempeño diferente con el consecuente riesgo de colapso.

En muchos países la calificación de los soldadores se hace ante instituciones certificadoras y debe revalidarse cada cierta cantidad de años. Muchos factores distintos influyen en la calidad de soldadura como el método de soldadura, la cantidad y la concentración de la entrada de calor, el material base, el material de relleno, el material fundente, el diseño del empalme, y las interacciones entre todos estos factores. Para probar la calidad de una soldadura se usan tanto ensayos no destructivos como ensayos destructivos, para verificar que las soldaduras están libres de defectos, tienen niveles aceptables de tensiones y distorsión residuales, y tienen propiedades aceptables de zona afectada por el calor, figura 25 (ZAC - HAZ). Existen códigos de soldadura para guiar a los soldadores en técnicas apropiadas de soldadura y en cómo juzgar la calidad éstas.

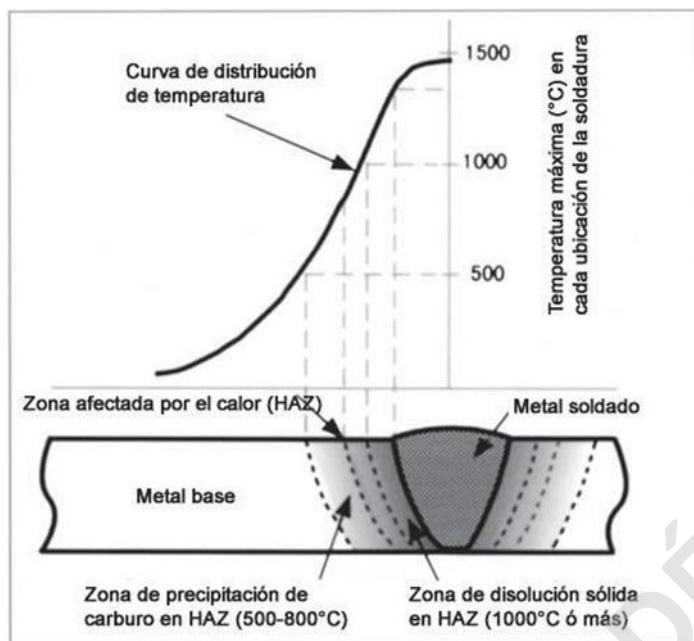


Figura 25 Zona afectada por el calor (ZAC – HAZ)

Entre los variados tipos de soldadura se pueden mencionar:

➤ Soldadura oxiacetilénica

Procedimiento que se logra encendiendo una mezcla de gases de oxígeno y acetileno en el soplete capaz de fundir los bordes de las planchas a unir a la que se le agrega el material de aporte proveniente de una varilla con la que se rellena el borde a soldar. El principio de la soldadura con mezcla de oxígeno y acetileno se emplea también en el corte de planchas.

➤ Soldadura al arco

Los procesos más utilizados hoy son la soldadura por arco eléctrico en 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. Los materiales que revisten el electrodo se funden con retardo, generando una protección gaseosa y neutra en torno al arco eléctrico, evitando la oxidación del material fundido a tan alta temperatura. Este proceso puede ser manual, con electrodo revestido o automática con arco sumergido.

➤ Soldadura por electrodo manual revestido (stick 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.

➤ Soldadura por arco de metal y gas (GMAW)

La soldadura G.M.A.W - MIG/MAG, 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. Emplea un arco entre un electrodo, el cual incorpora la alimentación automática continua de metal de aporte protegido por un gas suministrado externamente y el charco de soldadura.

No existe restricción de tamaño del electrodo, se pueden realizar cualquier posición, se pueden soldar todos los metales y aleaciones comerciales, se puede

depositar largas soldaduras continuamente sin detenerse, se requiere mínima limpieza después de la soldadura, sin embargo, el equipo es más costoso y difícil de transportar, el arco debe estar protegido contra corrientes de aire evitando la dispersión del gas protector y presenta una cantidad relativamente alta de calor radiado e intensidad de arco. Para piezas que están unidas a elementos insertos, la soldadura debe ser tal que evite la excesiva expansión térmica evitando que se generen tensiones en los anclajes o agrietamientos.

7.4.9 Sistemas Estructurales

7.4.9.1 Placa base

Elemento destinado a distribuir y transmitir la carga proveniente de la columna de acero a la cimentación, figura 26

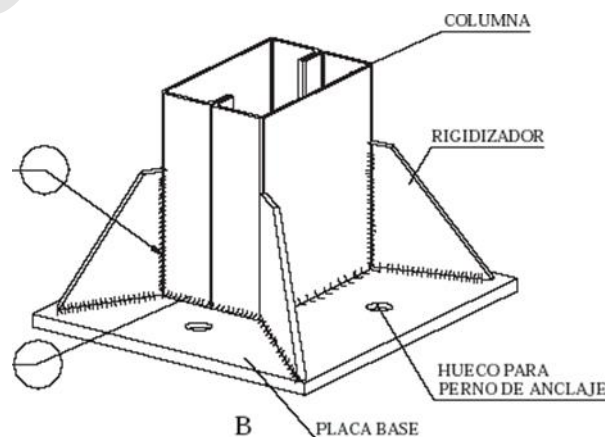


Figura 26 Placa base

7.4.9.2 Conexiones apernadas

Las conexiones empernadas presentan ciertas características que las hacen más o menos apropiadas dependiendo de la aplicación. Las principales ventajas de las conexiones empernadas están en la rapidez de ejecución, el bajo nivel de calificación requerido para construirlas, la facilidad de inspección y reemplazo de partes dañadas y la mayor calidad que se obtiene al hacerlas en obra comparadas con conexiones soldadas. Entre las desventajas se pueden mencionar el mayor trabajo requerido en taller, lo que puede significar un costo alto, el mayor cuidado requerido en la elaboración de los detalles de conexión para evitar errores en la fabricación y montaje; la mayor precisión requerida en la geometría, para evitar interferencias entre conectores en distintos planos; el peso mayor de la estructura, debido a los miembros de conexión y los conectores y, el menor amortiguamiento.

Cada estructura es un ensamblaje de partes o miembros individuales que deben unirse de alguna manera, usualmente en sus extremos. La soldadura es una de esas maneras y fue tratada en el tema anterior. La otra es por medio de pasadores, como remaches o pernos, figura 27.

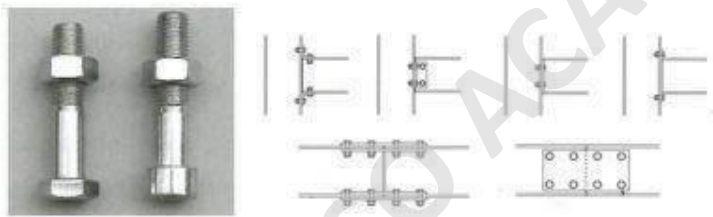


Figura 27 Pernos y uniones empernadas

7.4.9.3 Tornillo

Los tornillos son elementos roscados autoajustables que sirve para realizar conexiones rápidas utilizadas en estructuras de acero livianas, para fijar chapas o para perfiles conformados de bajo espesor (steel framing). Las fuerzas que transfieren este tipo de conexiones son comparativamente bajas, por lo que normalmente se tienen que insertar una cantidad mayor de tornillos (hay que tener presente que los tornillos deben ser utilizados preferentemente para unir chapas delgadas). Los tornillos pueden ser autorroscantes o autoperforantes, no necesitan de perforación guía y se pueden utilizar para metales más pesados.

7.4.9.4 Columnas

Son elementos que trabajan principalmente bajo carga axial por compresión o, además de ésta, combinada con flexión,

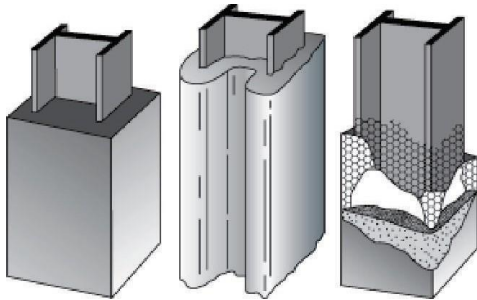


Figura 28 Columnas compuestas

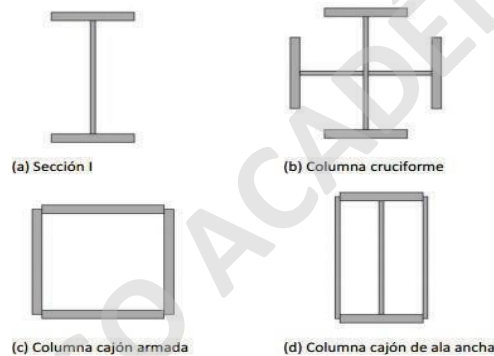


Figura 29 Perfiles para columnas

7.4.9.5 Vigas

Son elementos estructurales que principalmente trabajan bajo cargas a flexión. Tienen la función de soportar cargas verticales permanentes, muertas, vivas y accidentales que actúen sobre ella, así como contribuir a la rigidez estructural. Existen vigas de alma cerrada, figura 30, y vigas de alma abierta, figura 29 como se puede ver a continuación:

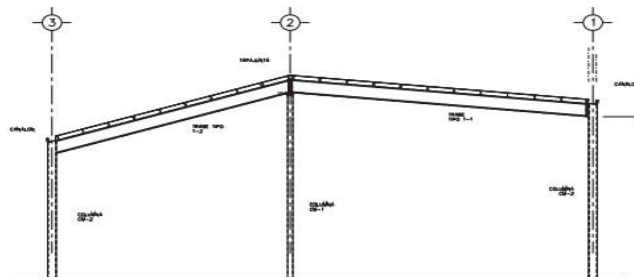


Figura 30 Marco rígido con vigas de alma cerrada

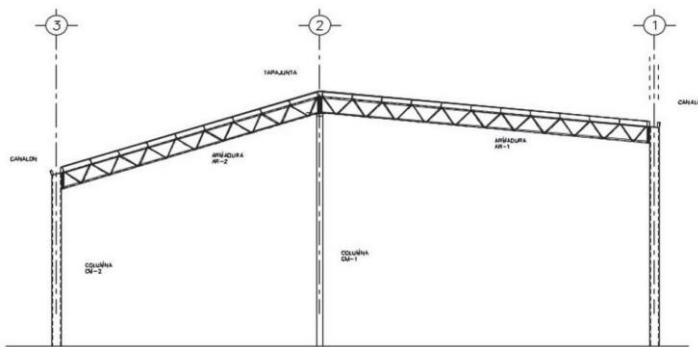


Figura 31 Marco rígido con vigas de alma abierta

7.4.9.5.1 Consideraciones de armado de las alas de las vigas.

El armado debe evitar cambios abruptos en la zona de las alas de las vigas ubicadas en las regiones de articulaciones plásticas.

Por consiguiente, el taladrado en alas o recorte del ancho del ala se permite si se cuenta con las pruebas necesarias que demuestren el comportamiento estable en las articulaciones plásticas

7.4.9.6 Larguero o costanera

Viga de acero utilizada para cubrir el claro existente entre los marcos, figura 32. Son los encargados de transmitir las cargas provenientes del sistema de techo.

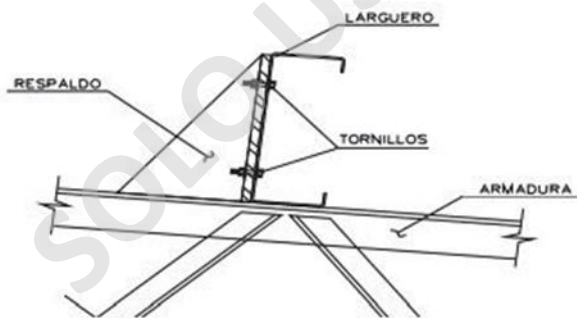


Figura 32 Larguero

7.4.9.7 Tensores

Son elementos que se utilizan para transferir las cargas de gravedad paralelas al sistema de techo o para minimizar la deflexión en el plano débil del larguero, además de proporcionar una mayor rigidez, figura 33.

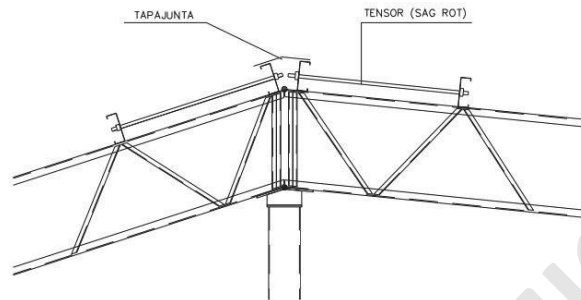


Figura 33 Tensor

7.4.9.8 Arriostramientos

Son elementos que trabajan a carga axial de tensión o compresión utilizada para otorgar una mayor resistencia evitando el ladeo de la estructura, figura 34.

Los perfiles más comúnmente utilizados con arriostramiento son los de tipo: W, S, C y angulares.

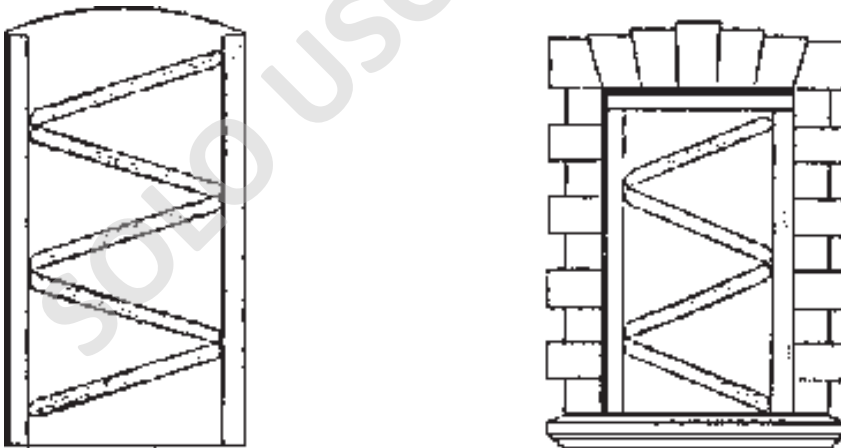


Figura 34 Arriostramientos

7.4.9.8.1 Consideraciones de armado de arriostres laterales en vigas

Los arrostramientos laterales se colocarán cerca de cambios de sección, cargas concentradas y/o lugares en los que, según el diseño se presentará articulación plástica durante las deformaciones inelásticas del pórtico.

7.4.9.8.2 Consideraciones de armado de arriostres laterales de conexión viga-columna

El arrostramiento en conexiones requiere que las alas de las columnas en la conexión viga-columna se coloque únicamente en el nivel del ala superior de la viga. A lo largo de la línea de arrostramiento, las placas diagonales se deben colocar alternadamente.

7.4.9.9 Marcos estructurales

Son estructuras destinadas a soportar cargas externas sin presentar cambios apreciables en su geometría cuyo comportamiento es influenciado principalmente por la carga a flexión.

Existen dos tipos que se describen a continuación.

7.4.9.9.1 Marcos rígidos

Están compuestos por la unión rígida de columnas y trabes para soportar cargas no únicamente verticales sino también horizontales otorgando así mayor resistencia y mayor capacidad de limitar desplazamientos horizontales (rigidez).

7.4.9.9.2 Marcos arriostrados

Se forman de la misma manera que los marcos rígidos además de contar con elementos diagonales (arrostramientos) que trabajan a carga axial de tensión o compresión.

7.4.9.10 Consideraciones de disipación de energía.

7.4.9.10.1 Marcos especiales a momento

Deben ser capaces de resistir deformaciones inelásticas significativas al ser sujetos a fuerzas debidas a su propio diseño, figura 35.

Se espera que estas deformaciones ocurran en las articulaciones plásticas de las vigas con limitado punto de fluencia, así como en las bases de las columnas.

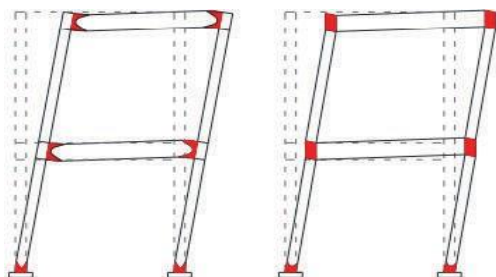


Figura 35 Zonas que presentan deformación inelástica

7.4.9.10.2 Marcos arriostrados excéntricamente

Deben ser capaces de resistir deformaciones inelásticas significativas al ser sujetos a fuerzas debidas a su propio diseño, figura 36.

Los arriostres diagonales, segmentos de vigas y columnas se deben diseñar con el fin de oscilar dentro del rango elástico de máximas cargas en la zona de fluencia y de endurecimiento por deformación.

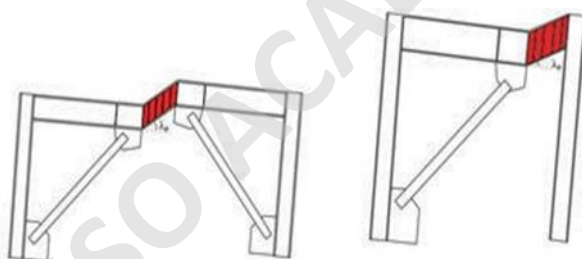


Figura 36 Comportamiento inelástico

7.4.9.1 Cubiertas

Son estructuras compuestas de elementos esbeltos unidos entre sí en sus puntos extremos.

Estas conexiones en los nudos se los realizan por lo general, empernando o soldando los extremos a una placa, denominada placa de nudo, y son usadas para soportar cubiertas y puentes.

En la figura 37, la carga del techo se transmite a la armadura en los nodos por medio de una serie de largueros

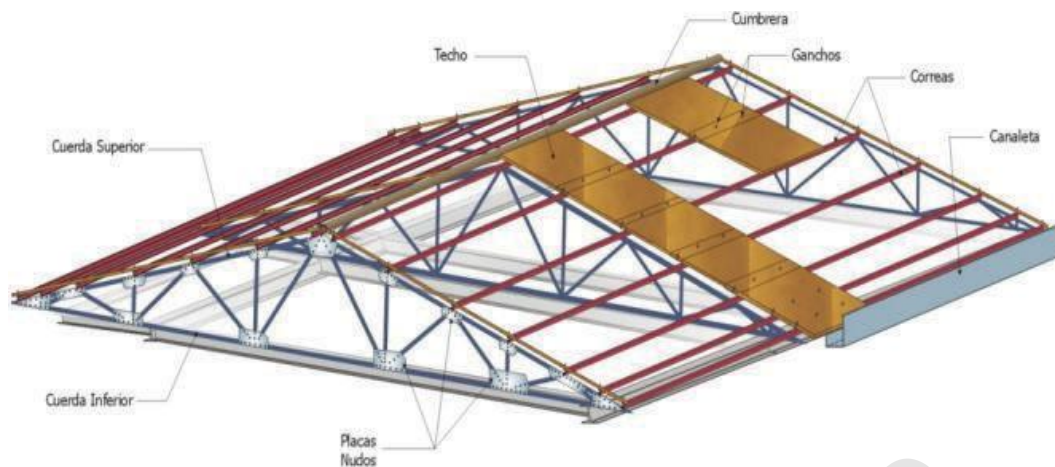


Figura 37 Armadura

A continuación, en la figura 38. se presentan los tipos de armadura más utilizados en el campo de la construcción.

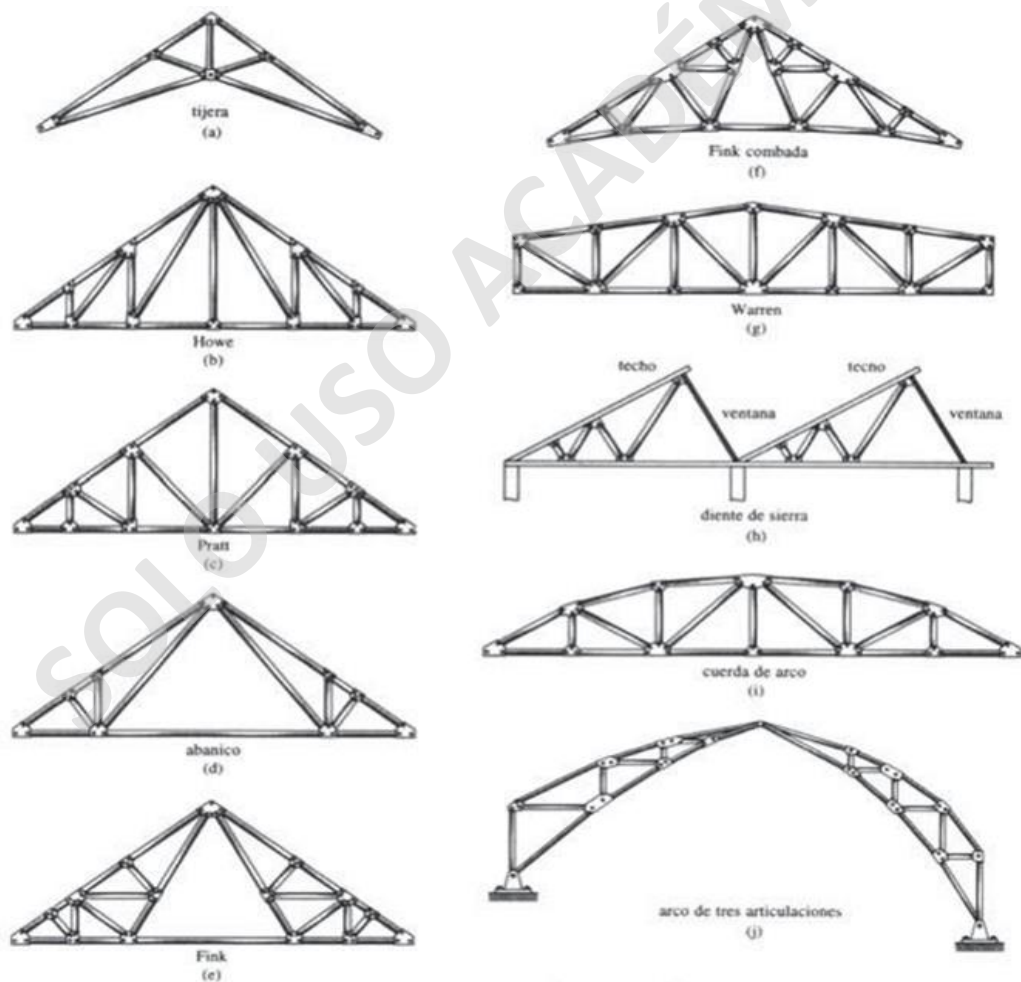


Figura 38 Tipos comunes de armaduras

7.5 Inspección de soldadura

Existen varios ensayos que permiten determinar la calidad de la soldadura obtenida. A continuación, se describirán las pruebas que pueden realizarse:

➤ Ensayo Semi-destructiva

Se toman muestras las cuales se sospeche su estado, sin destruir la junta rehaciendo el cordón de soldadura.

➤ Ensayo no destructivo

Si, por medio de la inspección visual se determinó que existe alguna falla probable, es necesario realizar un ensayo no destructivo como los que se describen a continuación:

7.5.1 Tintas Penetrantes

Este método consiste en aplicar líquidos sobre la superficie a inspeccionar el cual, después de un tiempo determinado reaccionará detectando las discontinuidades superficiales.

Los tintes penetrantes nos permiten determinar discontinuidades tales como grietas, rechupes, poros, traslapes, laminaciones, etc.

Este método es uno de los más utilizados por su bajo costo y por su resultado bajo inspección visual, además no destruye el material y los resultados se

obtienen en corto tiempo, sin embargo únicamente se detectan fallas superficiales.

➤ Requisitos de la Inspección

El uso del líquido penetrante va a depender de la pieza que se va a analizar. Se emplearán penetrantes fluorescentes para casos en los que se requiera alta sensibilidad y penetrantes visibles para una sensibilidad normal.

➤ Procedimiento de la Inspección

Limpieza previa: Se deben eliminar todos los contaminantes existentes.

Aplicación del penetrante: Se debe humedecer totalmente la zona a inspeccionar ya sea por rociado, inmersión o brocha. Dependiendo del tipo de superficie se puede aplicar penetrante lavable con agua para superficies rugosas o removible con solvente para mayor sensibilidad.

Eliminación del exceso de penetrante: Se debe eliminar el penetrante que no se introdujo en la discontinuidad existente.

El tiempo de permanencia del penetrante varía dependiendo del tipo de discontinuidad; para discontinuidades grandes será de mínimo 5 minutos, mientras que para discontinuidades de menor tamaño podría esperarse un tiempo de hasta 45 minutos.

Aplicación del Revelador: El revelador es aplicado con el fin de absorber el exceso de penetrante que puede causar confusión al momento de determinar discontinuidades, existen del tipo secos, en suspensión, en suspensión acuosa, en suspensión no acuosa, en solución dependiendo del tipo de material a examinar.

Para el tiempo de revelado se considerará el mismo tiempo que el empleado para el tiempo de aplicación del penetrante.

Interpretación: La iluminación para este paso es de suma importancia. Se puede realizar la limpieza mediante enjuague a presión, inmersión o con la ayuda de un removedor

7.5.2 Partículas Magnéticas

Se utiliza para determinar discontinuidades en materiales ferromagnéticos y es mayormente utilizada cuando se desea una inspección más rápida que con tintes penetrantes.

El método consiste en la inducción de partículas en el material ferromagnético generando distorsiones de campo magnético. Las distorsiones presentes determinarán la existencia de discontinuidades perpendiculares a las líneas de campo magnético como se puede ver en la figura. 37

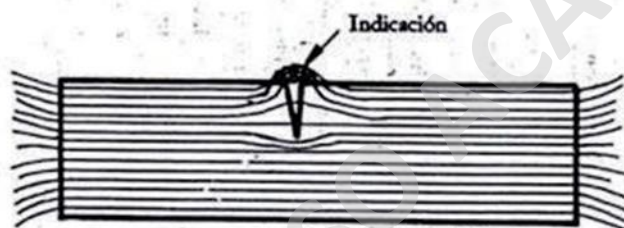
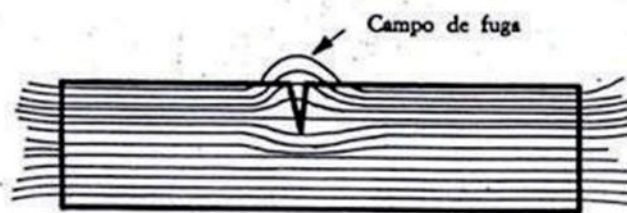
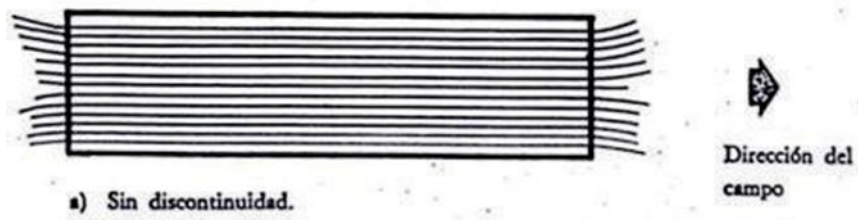


Figura 39 Interpretación de resultados Prueba acústica y magneto-acústica

Para la realización de este ensayo se tienen los siguientes pasos:

- Limpieza: La pieza debe encontrarse libre de impurezas como aceites, grasas etc.
- Magnetización de la pieza: Se lo realizará con la ayuda de un imán permanente, electroimán o pasando corriente eléctrica por toda la pieza.
- Magnetización de la pieza: Dependiendo de la aplicación, para nuestro caso como es el de aceros al carbono se recomienda la técnica de magnetización continua, es decir, la presencia constante del campo magnético externo
- Corriente de magnetización: Se debe determinar los lugares de posibles discontinuidades y se aplica corriente alterna generando mayor sensibilidad y mejores resultados, sin embargo, este método no es eficiente para discontinuidades sub-superficiales.
- Interpretación de resultados: Se determinará mediante inspección visual. Las discontinuidades se indicarán por medio de la retención de las partículas magnéticas.
-

7.5.3 Prueba por conducción eléctrica

Se basa en la vibración producida por la conductividad eléctrica generada al detectar un defecto.

Para realizar la prueba se compara la medida de la resistencia eléctrica en dos puntos equidistantes en el metal base y el fundido. Sin embargo no es un método confiable ya que carece de sensibilidad a menos que sean defectos importantes.

Además se cuenta con otras pruebas que determinan el defecto:

Prueba Magnética: Este método es sensible para defectos por discontinuidad.

Prueba radiográfica con rayos X: es la mejor prueba existente para determinar fallas producidas por la mala ejecución de soldadura o uso de electrodos defectuosos.

Prueba por ultra sonido: Se atraviesa la pieza por una energía ultrasónica determinando así la energía disipada generada por el defecto encontrado.

7.6 Pintura en taller

7.6.1 Almacenamiento y mezclado

Las pinturas y disolventes deberán ser almacenados en lugares con buena ventilación y alejados del calor, del fuego, de las chispas y de los rayos solares. El mezclado de los componentes de la pintura se realizará de acuerdo con las instrucciones del fabricante el mismo que indicará el periodo de caducidad de los productos mezclados. La pintura debe mantenerse en buenas condiciones de homogeneidad.



Figura 40 Herramientas para pintura

7.6.2 Aplicación

Etapa final de presentación de los elementos estructurales, en la cual se da un buen acabado rigiéndose a normas de colores en cuanto a estructuras de edificaciones, tabla 41

Método de Aplicación	Imprimación	Capas intermedias	Capa de acabado	Pinturas de gran viscosidad
Brocha	Sí	Sí	Sí	No
Rodillo	No	Sí	Sí	No
Pistola convencional (atomización por aire)	No	Sí	Sí	No
Pistola sin aire (Airless)	No	Sí	Sí	No
Pistola en caliente	No	Sí	Sí	Sí
Atomización con pistola de alta presión	No	No	No	Sí
Espátula	No	No	No	Sí

Figura 41 Métodos de aplicación de pinturas

A continuación se indican las equivalencias de la preparación de superficies entre las Normas SSPC, SIS 05.59.00 y el British Standard 4232:

La superficie debe estar libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación restos de pintura sin excepciones.

Descripción	PSC	SIS 05.59.00	BS 4232	OBSERVACIONES
Chorreado Abrasivo a Metal Blanco	SSPC- SP-5	Sa3 Grados A,B,C,D	Primera Calidad	Es utilizada donde las condiciones son extremadamente severas, con contaminantes ácidos, sales en solución, etc.
Chorreado Abrasivo a Metal Casi Blanco	SSPC- SP-10	Sa2 1/2 Grados A,B,C,D	Segunda Calidad	Es la especificación comúnmente utilizada. Reúne las características de buena preparación y rapidez en el trabajo. Se lo utiliza para condiciones regulares a severas.
Chorreado Comercial	SSPC- SP-6	Sa2 Grados A,B,C,D	Tercera Calidad	La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, óxido y los restos de capa de laminación no deben superar al 33% de la superficie en cada pulgada cuadrada de la misma. Los restos deben verse sólo como de distinta coloración. Generalmente se lo especifica en aquellas zonas muy poco solicitadas sin ambientes corrosivos.

Chorroado Ligero	SSPC-SP-7	Sa1 Grados B,C,D.		Conserva la capa de laminación donde está firmemente adherida. Estas partes no deben desprenderse mediante un
				objeto punzante. Es utilizado sólo en los casos de condiciones muy poco severas y presentará áreas de probables fallas.
Efecto Intemperie con Chorroado	SSPC-SP-9	Sa2, 2 1/2 ó 3 Grados B,C,D.		Sa 1, Sa 2, Sa 2 1/2, Sa 3 mediante proyección de partículas abrasivas (arenado- granallado)
Limpieza con Cepillo de disco	SSPC-SP-3	St2/St3 Grados B,C,D.		ST 2 y ST 3: para raspado y cepillado
Limpieza con Soplete del acero nuevo	SSPC-SP-4			
Raspado y Cepillado Manuales	SSPC-SP-2			
Limpieza con Disolventes	SSPC-SP-1			

Figura 42 Métodos de preparación de superficies

7.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente capítulo tiene como objetivo presentar las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto realizado con el fin de determinar los parámetros, métodos y normativa utilizada para cada proceso descrito con el fin de informar que estos dos procesos pueden sincronizarse para obtener resultados óptimos.

7.7.1 CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este proyecto se concluye que el Constructor Civil cuenta con la aptitud competente para validar el Detallamiento, planificación y fabricación de edificaciones de acero utilizando el conocimiento adquirido durante el desarrollo de su vida profesional en el campo de aplicación de las estructuras metálicas.
- El uso de códigos y normas para el desarrollo del proyecto es de vital importancia ya que brinda seguridad contra los factores de riesgo tanto para el personal de trabajo como para el cliente después de terminada la obra.
- Cumplir con la gestión de calidad garantiza resultados favorables y permite validez el trabajo realizado constituyendo un trabajo competitivo en el mercado laboral.
- Llevar a cabo el desarrollo de este proyecto con la ayuda de formatos "Check List" permitirá un avance sistemático y eficaz, facilitando la realización de cada proceso tanto para fabricación como para montaje.
- El desarrollo de este proyecto servirá como guía práctica para la realización de proyectos afines brindando un modelo de respaldado por normas y especificaciones válidas dentro del mercado de la producción con estructuras metálicas. El acero utilizado como material estructural ASTM A 36 es el más utilizado debido a su rápido montaje y a su aporte al medio ambiente debido a su alto grado de reutilización.
- En el protocolo de pruebas realizado para la estructura se presenta una lista de variaciones de carga que podría sufrir el piso evaluado presentando resultados confiables sin sobrepasar el factor de seguridad.
- Se emplea para la soldadura el electrodo E6010, por su resistencia y su costo moderado.
- Para el proceso de soldadura se realizará pruebas de inspección finalizado cada etapa, así como la inspección visual e inspección por tintas penetrantes. Estas pruebas están detalladas en el respectivo check list. Esto se realiza para evitar posibles fallas en la soldadura y comprometer la estabilidad de la estructura.

7.7.2 RECOMENDACIONES

- Se requiere un trabajo en conjunto entre el arquitecto, diseñador y Constructor, para que se cumplan requerimientos de diseño, así también, requerimientos de fabricación y montaje de la estructura.
- El presente proyecto de titulación ha recopilado información sustentada en las diversas normas, por lo tanto, para llevar a cabo un proyecto similar se recomienda verificar si existe actualización en los documentos de respaldo garantizando confiabilidad en el trabajo realizado.
- Es necesario contar con un programa de capacitación previo a los procesos de fabricación con el fin de mitigar y/o prevenir los accidentes laborales considerando cada aspecto tratado en el estudio de riesgos y medidas preventivas.
- Se debe controlar los procesos previos de fabricación de trazado y corte de los elementos armados para evitar piezas defectuosas que dificulten el montaje de la estructura.
- Las placas base deben ser entregadas a montaje a nivel para proceder con el montaje de columnas y armado de los marcos base, esto facilita el montaje de la obra en su totalidad.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Begoña Fuentes Giner. (2014). Impacto de BIM en el proceso constructivo Español.

Eloi Coloma Picó. (2008). Introducción a la tecnología BIM. Retrieved from: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/12226/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Tecnolog%C3%ADa%20BIM.pdf>

Gustavo Retete Cruz. (2016). Historia del BIM. Retrieved from: <https://es.scribd.com/doc/313831782/historia-del-BIM-pdf>

Miguel Hijano. (2013). Tecnología BIM. Retrieved from: <http://caminahora.com/tecnologia-bim/>

Dataedro. (2013). Niveles de desarrollo (LOD). Retrieved from: <http://dataedro.blogspot.com.es/2013/03/bimque-es-el-lod-nivel-de-detalle-nivel.html>

Ana Montilla Duque. (2017). Las claves para implantar BIM en una empresa. Retrieved from: <https://revistadigital.inesem.es/disenio-y-artes-graficas/implantacion-bim/>

Cadenas. (2014). IFC exchange format for BIM. Retrieved from: <https://www.cadenas.de/news/en/reader/items/cadenas-supports-ifc-exchange-format-for-bim>

Jeffrey L. Heiken. (2011). High Performance Starts with Integrated Design and Energy Modeling. Retrieved from: <http://www.facilitiesnet.com/hvac/article/High-Performance-Starts-with-Integrated->

Diego Martínez Montejano. (2015). Introducción e Historia de BIM. Retrieved from: <https://prezi.com/user/pornaturalezaarquitectos/prezis/>

esBIM. (2017). BIM en 8 puntos. Todo lo que necesitas saber. Retrieved from: http://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/01/Documento_difusion_BIM.pdf

aracons.exatto. (2016). Concepto BIM. Retrieved from: <http://aracons.exatto.us/>

Javier Alonso Madrid. (2013). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. Retrieved from: <http://atanga.net/>

Abel D. Pérez Murcia. (2016). Análisis mediante BIM del proyecto de ejecución de una vivienda unifamiliar entre medianeras. Retrieved from: <https://riunet.upv.es/handle/10251/72857>

Grafisoft. (2017). Acerca de BIM. Retrieved from:
https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/

Buildingsmart. (2016). open BIM benefits case. Retrieved from:
<http://www.buildingsmart.org/about/vision-and-mission/benefits-case/>

Daniela Cruz. (2014). La importancia de BIM en la actualidad. Retrieved from:
http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/734202/la-importancia-de-bim-en-la-actualidad-descubre-sus-ventajas-con-graphisoft?ad_medium=widget&ad_name=recommendation

Uniones y conexiones de acero estructural. (8 de julio de 2012). Obtenido de Uniones y conexiones de acero estructural:
<https://unionesacero.files.wordpress.com/2012/07/soldadura.jpg>

AISC. (18 de MARZO de 2005). Code of Standard Practice for Steel Buildings and. Chicago: American Institute of Steel Construction, Inc.

DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS. (s.f.). Obtenido de DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS:
<http://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/corte-por-plasma-generalidades>

INDURA. (s.f.). Catalogo de Procesos y Productos. Santiago: INDURA

Ing. Aguirre Ahumada, C. (2010). Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero.

Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero.

Nonnast Robert, El proyectista de Estructuras Metálicas tomo I y II, Décimo Octava Edición, Editorial Paraninfo, Impreso en España, 1993

Universidad técnica Federico Santa María, Departamento de Electrónica “Sistema para el control y gestión de la producción de estructuras de acero”, Álvaro Daniel Bravo Mercado, Memoria de titulación para optar al título de ingeniero civil electrónico, 2017.

SOLO USO ACADÉMICO