



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE
COLUMNAS MIXTAS EN
EDIFICACIONES**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero civil

P R E S E N T A

Benjamin Daniel Vega Leon

DIRECTOR DE TESIS

M.I. Edgar Eduardo Gallardo García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
1.- GENERALIDADES.....	4
1.1 Criterios para Diseño por Compresión.....	7
1.2 Criterios para Diseño por Flexo-Compresión.....	9
1.3 Pandeo en Columnas.....	11
1.4 Relación de Esbeltez en Columnas.....	12
2.- TIPOS DE COLUMNAS.....	14
2.1.- Columnas de Concreto Armado.....	14
2.1.1.- Cimbras.....	22
2.1.1.1.- Cimbras de madera.....	28
2.1.1.2.- Cimbras metálicas.....	33
2.2.- Columnas de Acero.....	37
2.2.1.- El acero en la construcción.....	37
2.2.2.- Conexiones.....	50
2.2.2.1.- Placas base.....	52
2.2.2.2.-Conexiones viga-columna.....	55
2.2.2.2.1.- Conexión rígida con placa de extremo.....	55
2.2.2.2.2.-Conexiones con placas horizontales en los patines de la trabe.....	57
2.2.2.2.3.- Conexión tipo árbol.....	58
2.3.- Columnas pre-fabricadas/pre-esforzadas.....	60
2.4.- Columnas Mixtas.....	62
2.4.1.- Tipos.....	62
2.4.2.- Consideraciones en la Normatividad.....	66
2.4.2.1.- Norma técnica complementaria 2023.....	66
2.4.2.2.- Especificación ANSI/AISC 360-10.....	68
2.4.3.- Ventajas de las columnas mixtas.....	69
2.4.3.1.- Ventajas de columnas mixtas de tipo tubulares rellenas.....	70
2.4.3.2.- Ventajas de columnas mixtas de tipo perfil de acero embebido en concreto reforzado.....	71
2.4.4.- Comparación de Columnas Mixtas con Otro Tipo de Columnas.....	72
2.4.5.- Ejemplos de Aplicación.....	72
2.4.5.1.- Construcciones verticales.....	72
2.4.5.2.- Infraestructura de movilidad.....	75
3.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE COLUMNAS MIXTAS.....	80
3.1.- Proyecto Ejecutivo y Proyecto de Fabricación.....	80
3.2.- Fabricación del Acero Estructural (Perfiles de Acero).....	81
3.3.- Habilitado del Acero de Refuerzo (Varillas de Acero Corrugado).....	81
3.4.- Fabricación del Concreto Pre-Esforzado.....	82
3.5.- Colocación de Cimbra.....	83

3.6.- Colado.....	84
3.7.- Supervisiones de Trabajo.....	91
3.8.- Ejemplo de Proceso Constructivo de un Tipo de Columna Mixta.....	94
3.8.1.- Elementos Pre-Esforzados.....	99
3.8.2.- Acero de Refuerzo (Varillas de Acero Corrugado).....	110
3.8.2.1.- Conectores Mecánicos de Acero de Refuerzo.....	117
3.8.3.- Acero Estructural (Perfiles de Acero).....	120
3.8.4.- Cimbra.....	121
3.8.5.- Montaje.....	122
3.8.6.- Colado.....	122
3.8.7.- Supervisión.....	124
3.8.8.- Esquema de contratación de obra.....	124
4.- CONCLUSIONES.....	125

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este punto, de poder empezar y culminar mis estudios, y por poner en mi vida a todas las personas que mencionaré a continuación.

A mi padres Leonardo y Laura, por siempre darme todo lo que han podido, por ayudarme con mis tareas, por darme su tiempo para estar conmigo, y entre esas cosas la más importante su cariño. Gracias por todo su amor.

A los ingenieros Víctor Manuel Martínez Hernández por ser el primero en darme a conocer sobre el tema de las columnas mixtas y animarme a comenzar con esta tesis, como al Maestro Ingeniero Edgar Eduardo Gallardo García por dirigirme en el tema y dedicar gran parte de su tiempo para revisar este trabajo.

A mi novia Evelyn por apoyarme siempre, por esperarme afuera de mis clases y esperarme hasta el final de mis exámenes siempre con una sonrisa y un abrazo, gracias por todo tu amor.

A mis profesores de todos los grados académicos, haciendo especial mención de mis profesores de la facultad, porque siempre hubo al menos un profesor de cada área que nos contagiaba de su cariño por la ingeniería.

Al departamento de construcción por ayudarme a realizar el servicio social y hacerme sentir siempre bienvenido, especialmente al Maestro en Ingeniería José Alonso Alanís Rojas por ser un gran amigo, gran profesor, gran ingeniero y gran persona.

A mi familia y a mis amigos que agradezco que sean muchos, gracias por brindarme su amor, amistad y su tiempo. Y si alguna vez he compartido una risa contigo este agradecimiento también es para ti.

INTRODUCCIÓN

Todos los elementos de una estructura son importantes, en todas las obras, incluyendo claro a las edificaciones, sin embargo una de las más importantes son las columnas, ya que si una columna llega a fallar es inminente que todas las partes de la estructura que estaban apoyadas sobre esa columna se lleguen a desplomar. Es por esto que es muy importante cuidar su diseño y su procedimiento constructivo, y seguir todas las normas que corresponden a estos dos aspectos.

En la construcción los materiales que se usan normalmente son el concreto y el acero, casi siempre se utilizan de manera separada, a excepción del concreto armado. Pero hay una técnica que se utiliza con menor frecuencia en donde los dos materiales se unen para que trabajen de manera conjunta en un solo elemento estructural, y estas son las estructuras mixtas, o también conocidas como estructuras compuestas. Este trabajo se enfoca en las columnas mixtas. En la figura 1 se da un ejemplo de cómo se vería una estructura completa hecha de elementos estructurales compuestos.



Figura 1. Estructuras compuestas en construcción.

Imagen generada con inteligencia artificial por medio de Adobe Firefly.

OBJETIVO

Proporcionar información relacionada con el proceso constructivo de columnas mixtas, así como sus características principales y sus diferencias comparadas con columnas de concreto armado y de perfiles de acero. Mencionando las ventajas y desventajas que tienen

este tipo de columnas con respecto a las de uso más común aquí en México. En la figura 2 se muestra un ejemplo de columnas mixtas.



Figura 2. Proceso constructivo de columnas mixtas.

Imagen generada con inteligencia artificial por medio de Adobe Firefly.

1.- GENERALIDADES

En términos simples, una columna es un elemento estructural vertical que sirve para transmitir las cargas vivas y muertas a la cimentación, y para conformar espacios de áreas de servicio.

De acuerdo a la Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Cimentaciones (2023), página 6:

“Columna.- Elemento, usualmente vertical o predominantemente vertical, usado principalmente para resistir carga axial de compresión, aunque puede resistir momento, fuerza cortante y torsión. Normalmente tienen una relación entre la altura y la menor dimensión transversal mayor que 3.”

En la siguiente figura (figura 3), se encuentra una imagen de unas columnas de concreto reforzado, con un tercio de las mismas colado y el resto de ellas solo con el acero de refuerzo.



Figura 3. Ilustración de columnas

CONSTRUCCIÓN DE COLUMNAS ELÍPTICAS. (2016, septiembre 13). Geoplast.

<https://www.geoplastglobal.com/es/soluciones/encofrados/construccion-de-columnas-elipticas/>

Las columnas se diseñan principalmente por los esfuerzos predominantes a los que están sometidas, estas son por compresión y por flexo-compresión, y hay que cuidar que no se presente pandeo.

Para que no se presente pandeo en una columna es importante que esta no sea muy esbelta, esto se refiere, en términos muy generales, que su altura no tenga una relación muy grande con respecto al área transversal de la misma.

Las características del concreto son beneficiosas para una columna por su gran capacidad de resistir la compresión, sin embargo hay que recordar que este material no es el ideal para resistir las fuerzas de tensión, y es un material poco dúctil, es decir que una vez que comienza a alcanzar su límite de resistencia la falla que se presente será frágil. En caso contrario con el concreto, el acero puede resistir de manera eficiente las fuerzas de tensión, y es un material muy dúctil, una vez que el acero pasa de estar en su rango elástico al plástico esté se comienza a deformar y presenta un tipo de falla dúctil.

Es importante mencionar que hay distintos tipos de acero en la construcción, y de acuerdo a Urbán, P., 2010, Construcción de estructuras metálicas, p.16, se clasifican de la siguiente manera:

“La Instrucción EAE contempla los siguientes tipos de acero utilizables en perfiles y chapas para estructuras de acero.

- **Aceros laminados en caliente.** Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con una microestructura normal.
- **Aceros con características especiales.** Se consideran los siguientes tipos:
 - a.- aceros normalizados de grano fino para construcción soldada.
 - b.- aceros de laminado termomecánico de grano fino para construcción soldada.
 - c.- aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica (aceros autopatinables).

d.- aceros templados y revenidos.

e.- aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

- **Aceros conformados en frío.** Se entiende por tales los aceros cuyo proceso de fabricación consiste en un conformado en frío, que les confiere unas características específicas desde los puntos de vista de la sección y la resistencia mecánica.”

En la siguiente figura (figura 4), podemos encontrar los tipos de perfiles más utilizados en la construcción.

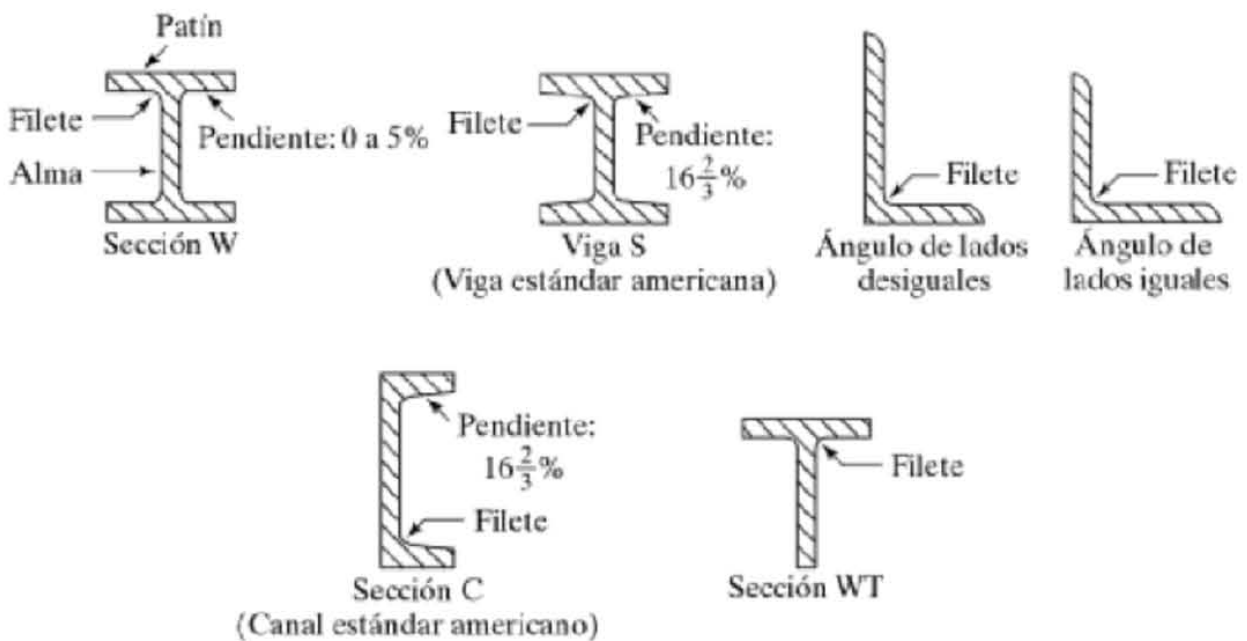


Figura 4. Tipos de perfiles utilizados normalmente en la construcción.

McCORMAC, & Jack. (2016). *Diseño de estructuras de acero* - 5a ed. Alfaomega Grupo Editor. Punto 1.4.

1.1 Criterios para Diseño por Compresión

De acuerdo a la Real Academia Española:

“Compresión - Presión a que está sometido un cuerpo por la acción de fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.”

La compresión, o esfuerzos de compresión, como su nombre lo indica tiene unidades de esfuerzo, los que se utilizan en las Normas Técnicas Complementarias son Megapascales (MPa), y kilogramo sobre centímetro cuadrado (kg/cm^2).

Los esfuerzos de compresión son los principales que actúan sobre una columna, es por esto que es muy importante que puedan soportarlos. Estos esfuerzos actúan en las caras transversales en dirección hacia el centroide de la columna. Para que una columna esté sometida a compresión pura es necesario que la carga axial esté aplicada sobre el centro de gravedad del área transversal.

Es difícil que en la práctica sea la compresión pura la única fuerza que se esté aplicando a la columna, ya que para esto la carga tiene que estar aplicada a una excentricidad de no más del 10% del centroide de su área transversal, es por esto que las columnas también se deben de diseñar a “flexocompresión”, pero esto se verá más adelante en este trabajo.

Bajo cargas axiales grandes el primer efecto físico que ocurre es que la columna tiende a disminuir su lado más largo y hacerse más ancho, aunque esto no llega a ser visible en muchos casos. Un ejemplo de este primer efecto se puede observar en la figura 5.



Figura 5. Columna sometida a cargas de compresión y sus efectos.

Log in or sign up to view. (s/f). Facebook.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://m.facebook.com/CivilGeek/posts/3324127064278154>

Una vez que pasa este primer efecto, si la carga axial sigue aumentando se llega a lo que se conoce como “carga axial crítica”, y si el material no ha fallado y la columna no ha colapsado antes de alcanzar esta carga, cuando llegue se va a presentar el efecto de “pandeo”, efecto del cual hablaremos más adelante en este trabajo.

1.2 Criterios para Diseño por Flexo-Compresión

Estas son las columnas que están sometidas a esfuerzos de flexión y compresión simultáneamente, y pueden ser de dos tipos, uniaxial o biaxial. Cuando es una columna sometida a flexo-compresión uniaxial quiere decir que la flexión solamente va a afectar a un eje de la cara transversal de la columna, y cuando está sometida a flexo-compresión biaxial estarán afectados dos ejes de la cara transversal de la columna. Es decir, cuando es uniaxial la fuerza axial está actuando sobre un eje de simetría del área transversal de la columna, pero cuando es biaxial, la fuerza axial está actuando sobre cualquier parte del área transversal de la columna, y no cae en ningún eje de simetría de su área transversal.

Cuando se construye una edificación las columnas rara vez están sometidas únicamente a cargas axiales o esfuerzos de compresión, esto puede ser por distintos factores como algún ligero cambio que se sufra en el procedimiento constructivo que no permita que la carga axial actúe justo en el centro de equilibrio de la cara transversal de la columna, o en la manera en que las cargas de los elementos estructurales superiores son transmitidas a la columna. A esta distancia que hay entre la carga y el centro de gravedad del área transversal se le llama “excentricidad”.

Es por estas razones que las columnas casi siempre se diseñan, no solamente tomando en cuenta la compresión, sino también la flexocompresión. Como se mencionó en el apartado anterior, lo más común en un caso práctico es que se presenten esfuerzos de flexocompresión en una columna, y no de compresión pura.

En la figura 6 se observa un diagrama de cómo actuaría una fuerza sobre el área transversal de una columna para que se considere como un efecto de flexo-compresión uniaxial, tanto en el eje X como en el eje Y.

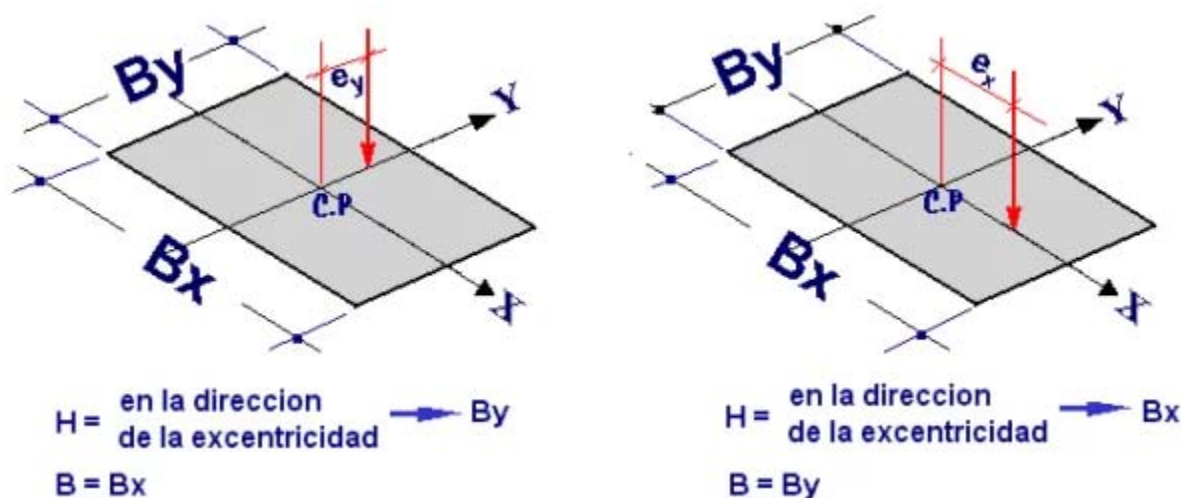


Figura 6. Área transversal de una columna en donde se le aplican cargas con excentricidades en el eje Y y en el eje X, ambas son uniaxiales.

Comportamiento del Concreto a la FlexoCompresión. (2019, julio 24). La Librería del Ingeniero.

<https://www.libreriaingeniero.com/2019/07/comportamiento-del-concreto-a-la-flexocompresion.html>

1.3 Pandeo en Columnas

Las columnas al estar sometidas a cargas axiales están expuestas a sufrir lo que se llama pandeo. El pandeo ocurre cuando la carga axial que se le aplica a la columna supera lo que se le llama carga crítica o P_{CR} , esta carga crítica delimita la carga que puede soportar la columna antes de que se presente el pandeo. Una vez que una columna presenta pandeo pierde toda su resistencia y falla.

Las características que afectan de manera positiva a la columna a resistir o evitar el pandeo son, la geometría del área transversal de la columna por sus momentos de inercia y su relación de esbeltez, el material del que están hechas por su módulo de elasticidad, y el tipo de apoyos que se encuentran en la parte superior e inferior de la columna. Un ejemplo de lo antes mencionado se encuentra en la figura 7, en donde se muestran los efectos de pandeo sobre columnas con distintas configuraciones de tipos de apoyos.

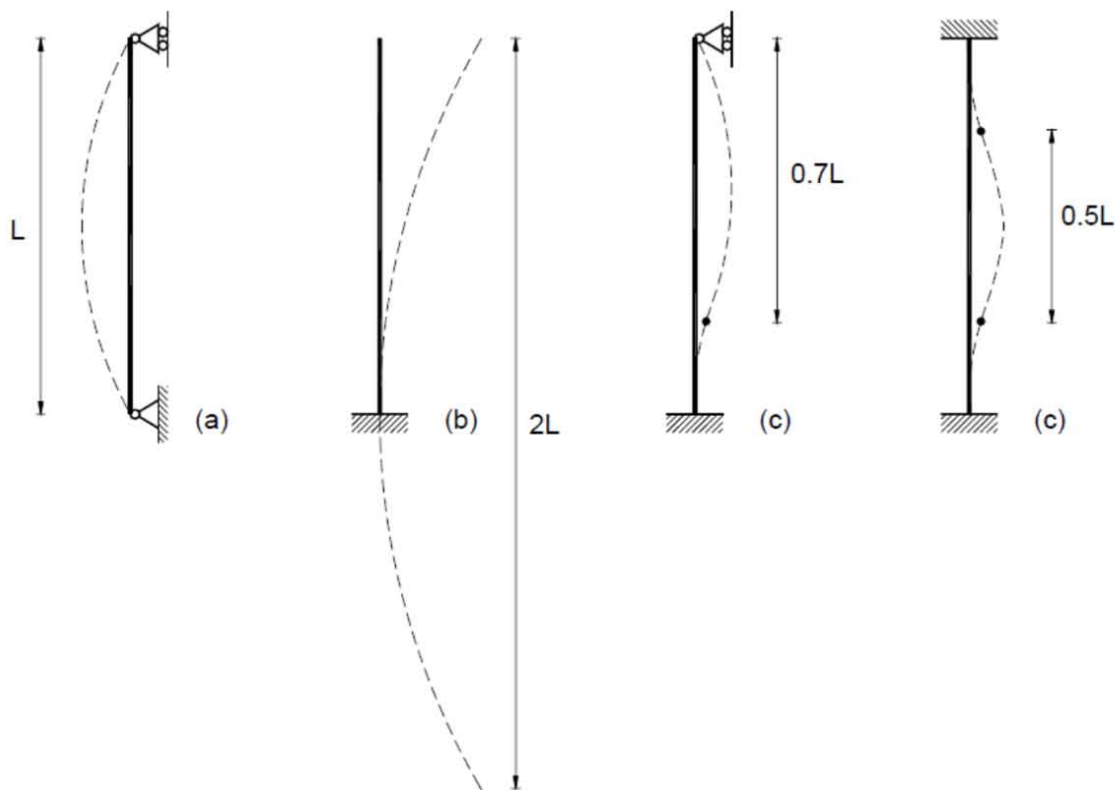


Figura 7. Formas en las que se pandean las columnas de acuerdo a sus tipos de apoyos.

(S/f). Upv.es. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de

<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103804/2/%20pandeo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

1.4 Relación de Esbeltez en Columnas

Las columnas tienen una característica importante que es la relación de esbeltez. La relación de esbeltez asocia las dimensiones de su área transversal (ancho y fondo), con la longitud (altura), de la columna. Si su relación de esbeltez es baja su carga crítica puede llegar a ser más alta, en caso inverso si su relación de esbeltez es alta su carga crítica tenderá a ser menor. A continuación, en la figura 8, se ilustran las dimensiones que se acaban de mencionar.

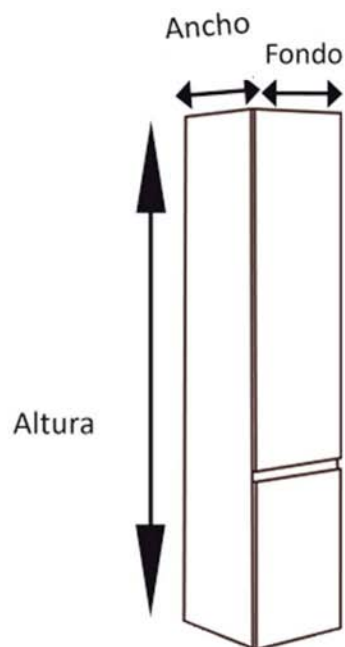


Figura 8. Dimensiones de una columna

(S/f). Tegler.es. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de

<https://teglar.es/wp-content/uploads/2017/08/columna-auxiliar-2-puertas-32-medidas.jpg>

2.- TIPOS DE COLUMNAS

2.1.- Columnas de Concreto Armado

Se le llama concreto armado a los elementos estructurales que están constituidos por la unión de los materiales de concreto y acero de refuerzo, esto se hace para aprovechar las ventajas de ambos materiales y formar un elemento con características adecuadas para la construcción.

En este apartado hablaremos un poco de ambos materiales por separado para culminar hablando de su uso combinado, y ver de manera más clara que propiedades son las que se aprovechan mejor cuando se utilizan estos dos materiales juntos.

Empezando por el concreto simple podemos mencionar que es uno de los materiales utilizados con mayor frecuencia en la construcción desde muchos años en varios países, es un buen material para este propósito ya que dependiendo del diseño de la mezcla podemos darle las características específicas para el trabajo que queremos realizar.

De acuerdo al artículo de *Scientific American* publicado en abril de 1964, por S. Brunauer y L.E. Copeland:

“El material de construcción más extensamente usado es el concreto, que se hace generalmente mezclando **cemento portland con arena, piedra triturada y agua**. El año pasado en los Estados Unidos se convirtieron 63 millones de toneladas de cemento portland en 500 millones de toneladas de concreto, cinco veces el consumo por peso del acero. En muchos países la proporción del consumo del concreto excede diez a uno el del acero. El consumo mundial total de concreto se ha estimado el año pasado en tres mil millones de toneladas, o sea una tonelada por cada ser humano viviente. El hombre no consume otro material, con la excepción del agua, en tan tremendas cantidades”.

En el párrafo anterior podemos notar dos cosas importantes, la primera es que desde 1964 el uso del concreto ya era de suma importancia para la humanidad, y la segunda es de los materiales de los que está conformado el concreto; cemento portland, arena (agregado fino), grava (agregado grueso), y agua.

Para poder dar una mejor definición de los componentes del concreto (cemento, arena y grava), nos ayudaremos del siguiente libro *Concreto. Estructura, propiedades y materiales* por *Kumar Metha* y *Paulo Monteiro*, la participación del agua es mencionada en la parte de cemento.

De acuerdo con *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*, *Metha K.* y *Monteiro P.*, páginas 3 y 4:

“El **agregado** es el material granular, tal como la arena, la grava, la piedra triturada o la escoria de acero de alto horno, la cual además puede ser utilizada con un medio cementante para formar concreto o mortero de cemento hidráulico. El término **agregado grueso**, se refiere a las partículas de agregado mayores de 4.75 mm (Malla No.4) y el término **agregado fino**, se refiere a las partículas de agregado menores de 4.75mm pero mayores de 75 μ m (Malla No. 200). La **grava** es el agregado grueso que resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesamiento de conglomerado de adherencia débil.

El término **arena** es comúnmente utilizado para el agregado fino que resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesado de piedra caliza deleznable. La **piedra triturada** es el producto que resulta del triturado industrial de piedras bola, de rocas, o de grandes pedruscos. La **escoria de alto horno**, un subproducto de la industria del acero, es el material que se obtiene al triturar escoria de alto horno solidificada bajo condiciones atmosféricas”.

“El **cemento** es un material finamente pulverizado que no es en sí mismo conglomerante, sino que desarrolla la propiedad conglomerante como resultado de la hidratación (es decir, por las reacciones químicas entre los minerales del cemento y el agua). Un cemento es llamado **hidráulico** cuando los productos de la hidratación son estables en un medio acuoso. El cemento hidráulico más comúnmente usado para hacer concreto es el **cemento portland**, que consiste principalmente de silicatos de calcio hidráulico. Los hidratos de silicato de calcio que se forman con la hidratación del cemento portland son los responsables principales de sus características adherentes y son estables en un medio acuoso”.

Algunas de las ventajas más importantes que tiene el concreto con respecto a otros materiales como el acero o la madera son: mayor resistencia al agua y humedad, su capacidad para ser moldeado ya que es capaz de adquirir cualquier forma que se quiera con la ayuda de una cimbra, es un material económico, es de fácil elaboración, y tiene una gran resistencia a la compresión.

Una de las clasificaciones más comunes del concreto es por medio de su resistencia a la compresión, de acuerdo con *Concreto. Estructura, propiedades y materiales, Metha K. y Monteiro P.*, páginas 5 y 6:

- “Concreto de baja resistencia: menos de 20 MPa (204 kgf/cm²) de resistencia a la compresión.
- Concreto de resistencia moderada: de 20 a 40 MPa (204 a 408 kgf/cm²) de resistencia a la compresión.
- Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa (408 kgf/cm²) de resistencia a la compresión”.

Es importante mencionar que además de los materiales que integran al concreto muchas veces también se utilizan “aditivos”, que pueden tener varias funciones de acuerdo con

el tipo de obra que se está construyendo o las condiciones ambientales/climatológicas de la zona de la construcción.

De acuerdo con *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*, Metha K. y Monteiro P., página 185: “ASTM C 125 define un **aditivo** como un material distinto del agua, los agregados, los cementos hidráulicos y el refuerzo de fibra, utilizado como un ingrediente del concreto o del mortero y que se agrega a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado”.

De acuerdo con la norma ASTM C 494 se clasifican los aditivos químicos reductores de agua como:

- “TIPO A: Reductor de agua.
- TIPO B: Retardador de fraguado.
- TIPO C: Acelerador de fraguado.
- TIPO D: Reductor de agua y retardador.
- TIPO E: Reductor de agua y acelerador.
- TIPO F: Reductor de agua de alto efecto.
- TIPO G: Reductor de agua de alto efecto y retardador”.

Sin embargo, a pesar de ser los aditivos que son usados con mayor frecuencia, y más en edificaciones comunes como lo son las edificaciones, no son los únicos, existen también otro tipo de aditivos químicos e incluso aditivos minerales, y se podría extender mucho el capítulo hablando de todos los tipos de aditivos que se conocen y cómo funcionan pero no es el objetivo de este trabajo y tampoco adquiere mayor relevancia así que nada más se mencionan hasta este punto.

Ahora que ya conocemos del concreto es momento de empezar a conocer el acero de refuerzo que se utiliza en el concreto reforzado. De acuerdo con *Diseño de concreto reforzado* de McCormac J. y Brown R., en las páginas 22 y 23:

“El refuerzo usado en las estructuras de concreto puede ser en forma de varillas o de malla electrosoldada de alambre (para el caso de losas). Las varillas pueden ser lisas o corrugadas. Las varillas corrugadas, que tienen protuberancias en sus superficies (los patrones difieren según los fabricantes) para aumentar la adherencia entre el concreto y el acero, se usan en casi todas las aplicaciones... las varillas están identificadas por sus diámetros en fracciones de octavos de pulgada”.

Cuando menciona que las varillas están identificadas por sus diámetros en fracciones de pulgada se refiere a que una *varilla del número 8* es una varilla con un diámetro de 8/8 de pulgada, es decir que tiene un diámetro de 1 pulgada, es decir que tiene un diámetro de 2.54cm.

En México los diámetros de varillas más comunes (comercialmente hablando), son las de número 2.5 (también llamado alambrón), 4, 5, 6, 8, 10 y 12, aunque es posible encontrar de otros diámetros, incluso más grandes que las del número 12. Y de igual manera normalmente las varillas vienen en longitudes de 12 metros. En la figura 9 se muestra el catálogo de calibres de varillas de acero corrugado que vende la empresa Aceros Ali S.A. de C.V.

VARILLA CORRUGADA

NUMERO	DIAM. NOMINAL		AREA NOMINAL		PESO UNITARIO		PERIMETRO		No. Aprox. de varillas
	PULGS.	MM.	PULG.	MM.	LBS/FT	KG/MT	PULGS.	MM.	12 mt x tons
2.5	5/16	7.9	0.08	49	0.261	0.384	0.982	24.8	217
3.0	3/8	9.5	0.11	71	0.376	0.557	1.178	29.8	150
4.0	½	12.7	0.20	127	0.668	0.966	1.571	39.9	84
5.0	5/8	15.9	0.31	199	1.043	1.560	1.963	50.0	53
6.0	¾	19.1	0.44	287	1.502	2.250	2.356	60.0	37
8.0	1	25.4	0.79	507	2.670	3.975	3.142	79.8	21
10.0	1 ¼	31.8	1.23	794	4.172	6.225	3.927	99.9	13
12	1 ½	38.1	1.76	1140	5.980	8.930	4.710	119.7	9

VARILLA CORRUGADA GRADO R-30 o R-42 (G-40 Y G-60)
 LIMITE DE INFLUENCIA MINIMO 3000 o 4200 KGS / Cm² (426.60 o 60000 LBS/PULG)

Figura 9. Diámetros comerciales de varilla de acero corrugada, tabla de la empresa Aceros Ali S.A. de C.V.

Varilla – Aceros Ali. (s/f). Acerosali.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://www.acerosali.com/productos/varilla/>

El acero de refuerzo en las columnas se divide en 2, longitudinal y transversal (aquí en México normalmente llamados “estribos” y “ganchos”). A continuación, en la figura 10, se ilustra de mejor manera sobre un detalle de armado de acero de una columna los estribos, ganchos y el acero de refuerzo longitudinal.

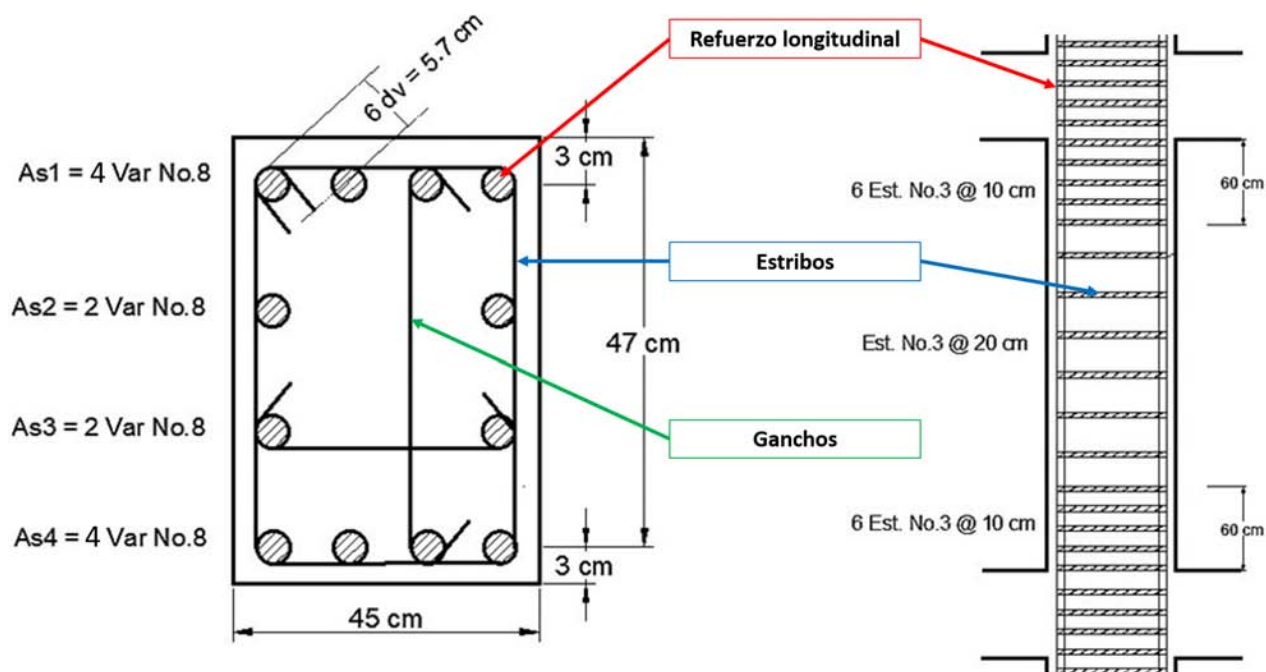


Figura 10. Armado de columna, vista del área transversal y longitudinal de la columna.

EstructuraTEC [@EstructuraTEC21]. (2020, mayo 25). *¿Cómo calculo los estribos en columnas de concreto reforzado?* Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=Af-eLu29fhg>

En la figura anterior podemos localizar tanto el acero longitudinal como transversal de una columna de concreto armado, también podemos observar que la separación de los estribos en los extremos de la columna son menores que en el centro de ella, siendo una separación de 10 cm en los extremos y una separación de 20 cm en el centro. Para los estribos y ganchos se utilizan varillas del número 3, y en el acero longitudinal se utilizan varillas del número 8 (específicamente 12 varillas del número 8).

Las principales ventajas que tiene el acero de refuerzo son su gran ductilidad, y en conjunto con la ventaja anterior su rango de elasticidad ya que el material puede deformarse de manera proporcional con el esfuerzo que está sufriendo el material hasta un rango tal que si el esfuerzo se reduce también lo hará su deformación regresando al estado original del acero.

Entonces podemos deducir que la principal ventaja que podemos obtener del concreto reforzado (ya como dos materiales, concreto y acero, trabajando como uno solo), es que obtenemos un elemento estructural con un comportamiento deseado de falla dúctil, es decir que el elemento estructural no va a llegar a la falla de forma abrupta, sino que antes de llegar a la falla el elemento se deformara dando tiempo de poder tomar acción antes de que el elemento colapse.

La capacidad del concreto de resistir los esfuerzos de compresión junto con la del acero de resistir los esfuerzos de flexión hacen del concreto reforzado una opción muy viable para la construcción de columnas.

En la figura 11 podemos observar algunas columnas de concreto reforzado que ya están coladas en su mayor parte.



Figura 11. Columnas de concreto armado

COLUMNA de Hormigón Armado. (2019, octubre 6). Com.ar.

<https://dehormigon.com.ar/hormigon-armado/columna-de-hormigon-armado/>

2.1.1.- Cimbras

Las cimbras son estructuras de apoyo que se utilizan para soportar y contener el concreto cuando todavía está en proceso de fraguado, la cimbra ayuda a que el concreto adquiera la forma deseada y a sostener el peso propio del concreto en lo que este adquiere la resistencia necesaria.

A continuación, en la figura 12, se pueden observar algunas cimbras para columnas cuadradas, circulares y en forma de "L", vistas tanto de manera isométrica como en planta (área transversal).

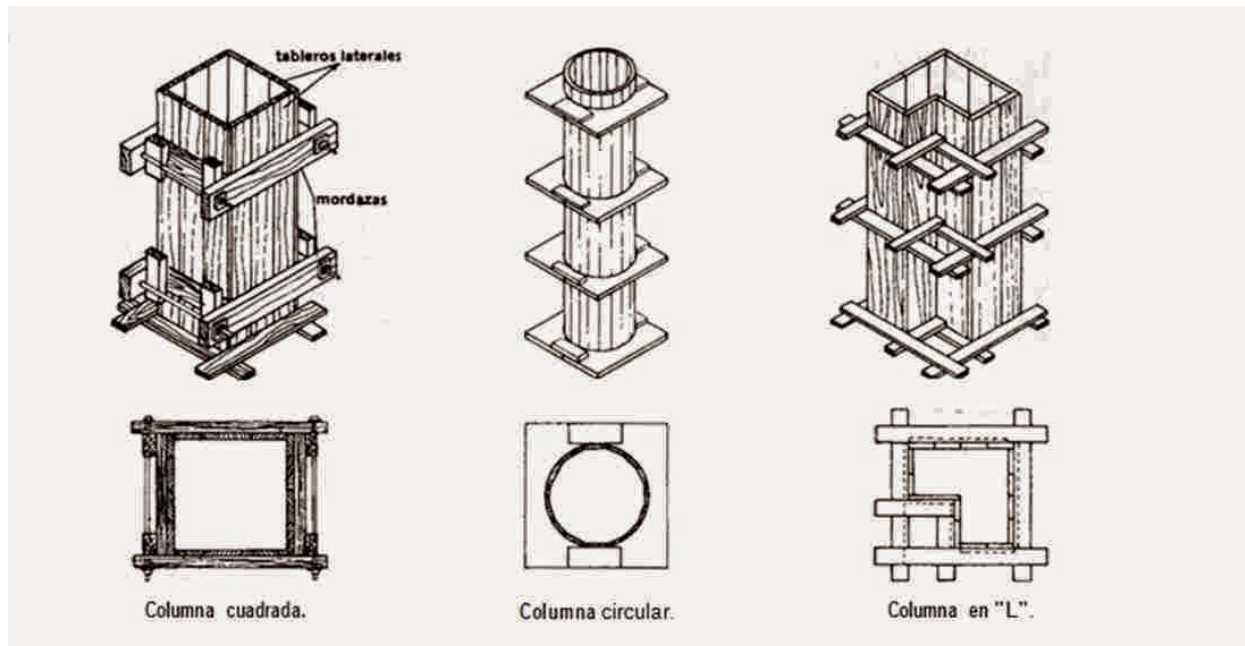


Figura 12. Cimbra para distintos tipos de áreas transversales en columnas.

Perfil, V. T. mi. (s/f). *Tecnoconcreto*. Blogspot.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://tecnoconcreto2015katiaviveros.blogspot.com/2015/05/despiece-de-cimbra-de-madera-para.html>

Cómo son estructuras de apoyo, no son permanentes, por lo cual solo se utilizan desde poco antes del colado del elemento estructural hasta que el concreto haya adquirido la resistencia necesaria para descimbrar (es decir para quitar la cimbra).

Al cumplir con la necesidad de “molde” para el concreto hay ciertas características que debe de cumplir la cimbra, como el de evitar que el concreto se filtre, tener la suficiente rigidez para no deformarse con la presión que ejerce el concreto mientras está en estado fluido, y tener la resistencia suficiente para soportar el peso propio del elemento estructural.

De acuerdo con la página de internet *Javgconstrucciones.com*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://www.javgconstrucciones.com/single-post/2016/04/12/Cimbra-definici%C3%B3n-y-caracter%C3%ADsticas>:

“En términos generales una cimbra se integra fundamentalmente por 2 estructuras:

- Cimbra de contacto
- Obra falsa

La cimbra de contacto, como su nombre lo indica, se encuentra directamente en contacto con el concreto, su función primordial es la de contener y confinar al concreto de acuerdo con el diseño de la estructura. Se compone principalmente por paneles, tarimas, moldes prefabricados, etc.

La obra falsa es aquella constituida por elementos que trabajan estructuralmente soportando la cimbra de contacto; los elementos que son utilizados con mayor frecuencia en la obra falsa son vigas mdrinas, pies derechos, contravientos, puntales, etc.”

En la figura 13 se muestra la diferencia entre la cimbra de contacto y la obra falsa, ambas forman parte de la cimbra.

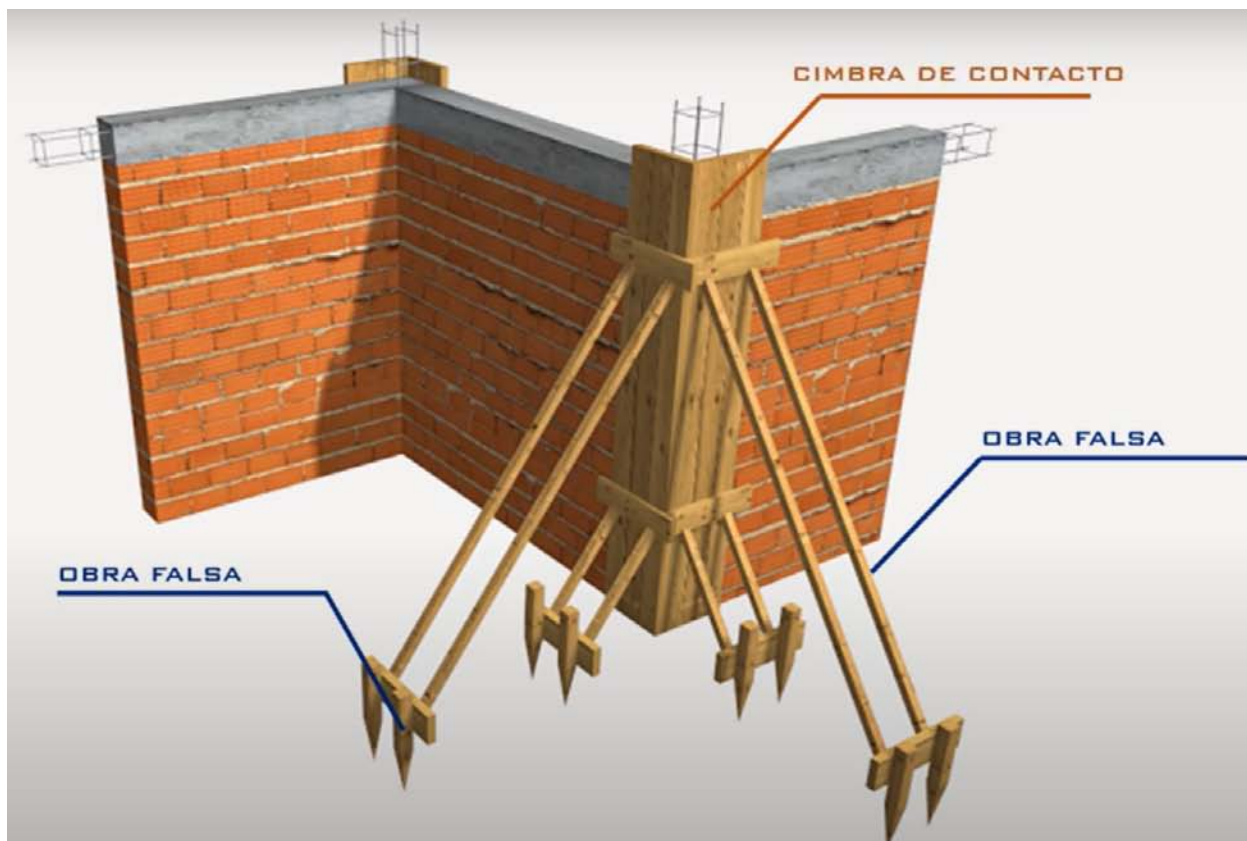


Figura 13. Cimbra de contacto y obra falsa.

Dadá, F. [@firmadada3697]. (2020, septiembre 24). *Cimbras en la construcción*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=UEi8QKjDGC0>

De acuerdo con la página de internet *Javgconstrucciones.com*. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://www.javgconstrucciones.com/single-post/2016/04/12/Cimbra-definici%C3%B3n-y-caracter%C3%ADsticas> las principales características con las que debe de cumplir la cimbra son:

- “Resistente
- Durable
- Indeformable
- Textura adecuada al acabado
- Hermética

- Fácil de armar
- Fácil de descimbrar
- Fácil de limpiar
- Económica”

Por lo general los materiales que se utilizan para la elaboración de las cimbras son la madera y el metal, de hecho en los siguientes apartados se hablará más a detalle acerca de estos materiales en las cimbras, pero es importante recalcar que no son los únicos materiales que se utilizan para este propósito, y tampoco son el único tipo de cimbras que se han utilizado en la construcción.

Así como las cimbras metálicas y de madera, también existen las cimbras deslizantes, estas son de uso específico para cuando se necesita realizar el colado continuo de una estructura de concreto.

De acuerdo con la página de internet *Materiales y Procesos Constructivos. Blogspot.com. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://procesosdeconstruccioncivb.blogspot.com/p/43-tipos-de-cimbras.html>:*

“El sistema de encofrados deslizante es aplicable a muchos tipos de estructuras de hormigón armado y pretensado, de entre los que se destacan: silos, tanques de almacenamiento, chimeneas, pilas de viaductos y acueductos, cajones para puestos marítimos, digestores de estaciones depuradoras, núcleos de ascensores y escaleras de edificios, depósitos elevados, torres de comunicación, faros, recubrimiento de pozos.”

Como podemos notar, las cimbras deslizantes no difieren por su material, ya que está estructurado de distintos tipos de material, pero sí se caracteriza por su proceso de ejecución, y

es viable solo en casos muy específicos, por lo cual no son muy comunes de ver. En la figura 14 podemos observar el uso de cimbra deslizante en la construcción de un silo en Estados Unidos.



Figura 14. Cimbra deslizante en la construcción de un silo en el estado de Oregon, Estados Unidos.
AVPMedia [@AVPMedia1]. (2010, Marzo 11). *Slip-form construction time lapse - The Dalles, Oregon*. Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=G_6_5bZFIL0

Otro tipo de cimbra que también es de uso muy específico, son las cimbras de “sonotubo”, que como su nombre lo indica es una cimbra en forma de tubo que está hecha con material de cartón, esta se emplea para colar columnas de concreto con forma cilíndrica.

Algunas de sus ventajas son su costo, su practicidad para ser utilizada para columnas cilíndricas, es de fácil colocación, es resistente y rígido al momento del colado, no permite que se filtre el concreto cuando todavía se encuentra en su estado fluido, y se pueden fabricar de

cualquier diámetro requerido. En la figura 15 podemos observar algunos sonotubos de distintos diámetros.



Figura 15. Sonotubos de distintos diámetros.

Sonotubo - Construrama ProHogar. (2019, marzo 31). Construrama ProHogar - Más de 30 años de experiencia en la venta, distribución y comercialización de materiales para construcción; Construrama ProHogar.

<https://construramaprohogar.com/producto/sonotubo-de-carton/>

2.1.1.1.- Cimbras de madera

El material más utilizado en cuanto a cimbras se refiere es la madera, ya que posee muchas ventajas, entre las principales destacan que son más económicas, son relativamente

más fáciles de conseguir y transportar en comparación con las cimbras metálicas. En la figura 16 podemos observar un colado de columnas que claramente ya tienen su cimbra de madera.



Figura 16. Cimbra de madera para columnas de área transversal cuadrada.

Foto: Cimbrado de Columnas de E S K ARQUITECTOS #855785 - Habitissimo. (s/f). habitissimo.com.mx. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/cimbrado-de-columnas_855785

El tipo de madera que se utiliza para la cimbra normalmente es triplay. De acuerdo con la página de internet *¿Qué es el triplay? Grupo Bajce. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <http://www.bajce.com/blog/post/que-es-el-triplay>*: “El triplay es el nombre que en algunos países por ejemplo en México, recibe la madera contrachapada, es decir, madera procesada *formada por hojas o chapas* de madera que se intercalan una en sentido contrario de la otra con

respecto a su veta y que se unen a través de la presión y adhesivos especiales (generalmente la *resina fenólica*) formando tableros de madera con características de mucha firmeza y estabilidad.”

En la siguiente figura (figura 17), se puede apreciar de mejor manera lo mencionado en el párrafo anterior con respecto al triplay.

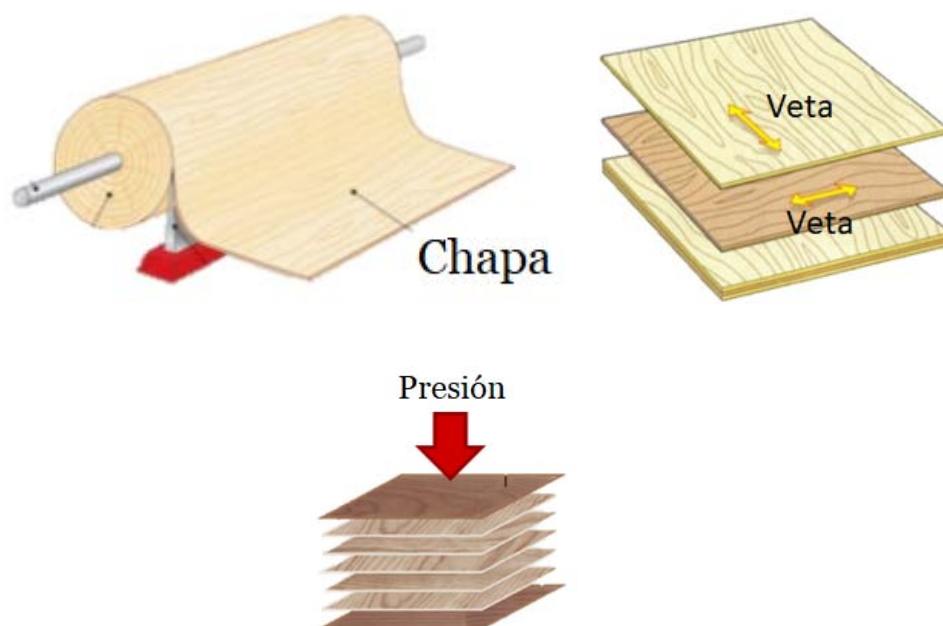


Figura 17. Forma en la que se crea el triplay

¿Qué es el triplay? (s/f). Grupo Bajce. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <http://www.bajce.com/blog/post/que-es-el-triplay>

Para que la cimbra funcione de manera adecuada la madera debe de estar en buen estado, debe de ser ligera y estar libre de cualquier imperfección que pueda poner en riesgo la integridad del concreto y su textura final, como pueden ser las fisuras ya que estas pueden permitir el flujo del concreto entre ellas cuando recién se está vertido dentro de la cimbra.

De acuerdo con la página de internet Díaz, X. (2021, abril 19). *Los 15 Mejores Datos Para Valorar La Cimbra De Madera.* [homify.com.mx; homify. https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/7898625/los-15-mejores-datos-para-valorar-la-cimb](https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/7898625/los-15-mejores-datos-para-valorar-la-cimb)

ra-de-madera: “Para usar la madera en cimbras, antes de colocarla se unta con aceite quemado, diesel o un aditivo desmoldante, a fin de que el concreto no se adhiera a la cimbra de madera. Además, antes de vaciar el concreto se moja la cimbra para que ésta no deshidrate el concreto y altere la resistencia de la futura construcción.”

En México cuenta con una gran practicidad, ya que muchas veces se tiene a un equipo de carpinteros dentro de la obra, y ellos se encargan de cortar y habilitar la madera para cimbra, y si se requiere que se habilite más cimbra se puede hacer sin tener que esperar a un envío o algún otro tipo de espera que se tendría con una cimbra metálica.

Como se mencionó en la parte de “cimbras” de este trabajo, la cimbra se puede clasificar en dos tipos, que es la cimbra de contacto y la obra falsa, en el caso de la cimbra de madera las partes que conforman la cimbra de contacto y la obra falsa son las siguientes.

Cimbra de contacto: Duelas, cachetes, biseles y rodapié.

Obra falsa: Yugos, madrinas, arrastres, polines, pie derecho, largueros y puentes.

En la siguiente figura (figura 18), podemos observar de manera más clara las partes que pertenecen a una cimbra de contacto u obra falsa.

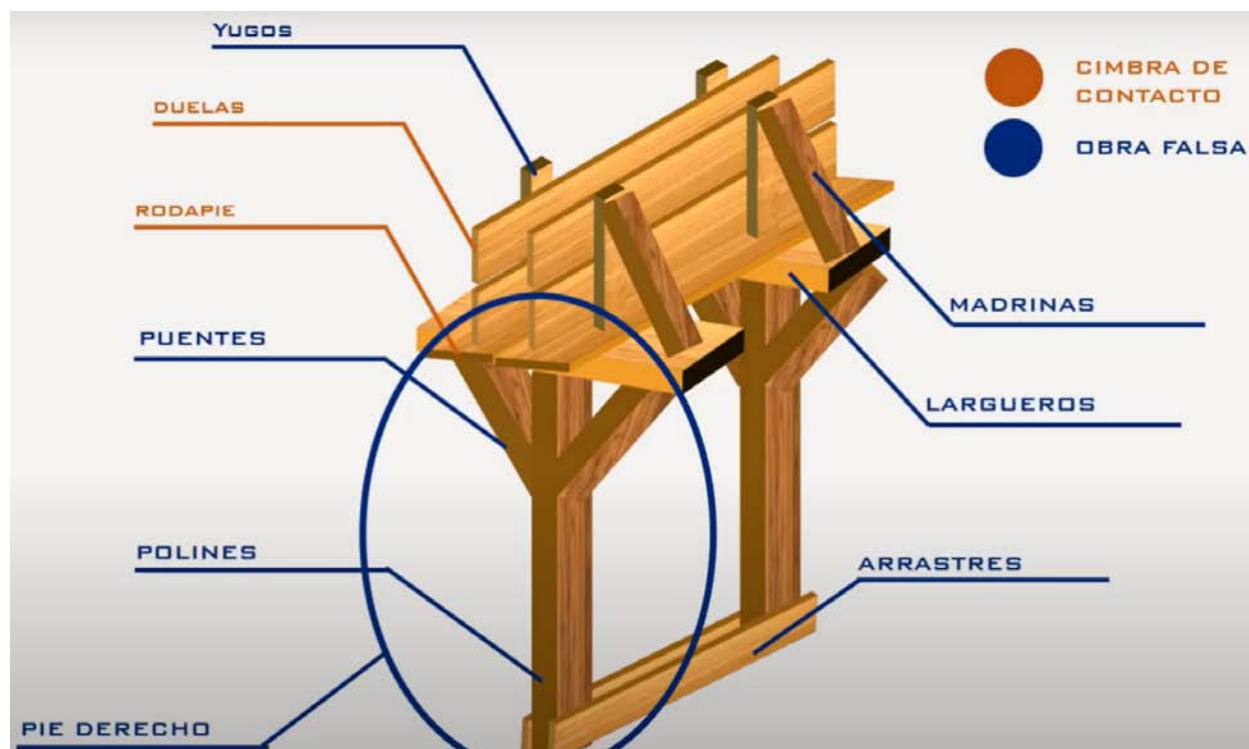


Figura 18. Partes de una cimbra para colar una trabe, y su pertenencia a cimbra de contacto u obra falsa.

Dadá, F. [@firmadada3697]. (2020, septiembre 24). *Cimbras en la construcción*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=UEi8QKjDGC0>

Ahora entrando un poco más en materia con el tema de este trabajo, se mostrará en la siguiente figura (figura 19), las partes de una cimbra para el colado de una columna de sección transversal cuadrada. Cabe mencionar que en la imagen podemos observar otros dos elementos que no se había mencionado antes de la cimbra, que son los plomos y las estacas, los primeros se utilizan para garantizar que la columna quede a plomo, es decir que no esté chueca, que quede recta la columna, y las estacas sirven para darle apoyo y estabilidad a los pies derechos de la cimbra.

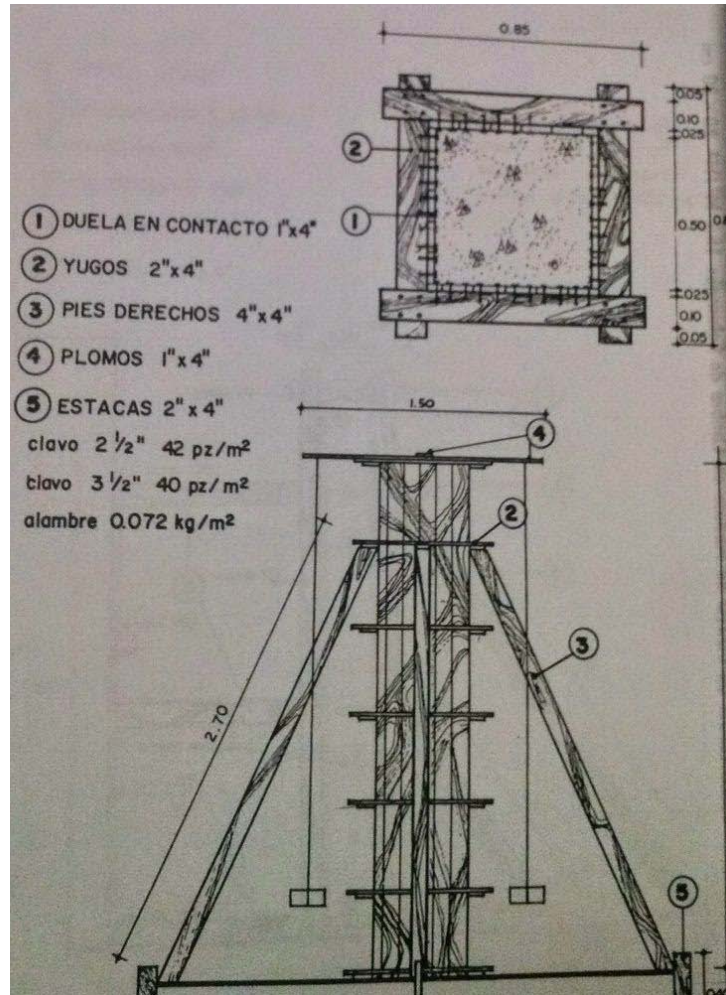


Figura 19. Partes de una cimbra de madera para columna con sección transversal cuadrada.

Despiece de cimbra de madera para columna de concreto armado. (s/f). Blogspot.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://tecnococoncreto2015irvingarcia.blogspot.com/2015/05/despiece-de-cimbra-de-madera-para.html>

2.1.1.2.- Cimbras metálicas

La principal diferencia entre las cimbras metálicas y las de madera son el número de usos, si bien las cimbras de madera se pueden utilizar varias veces antes de quedar inservibles para este propósito, el número de veces que se puede utilizar una cimbra metálica supera con creces a la madera, llegando a poder ser utilizada hasta 200 veces.

Aunque también tiene desventajas, como su falta de versatilidad en el sentido que si se necesita algún tipo de forma especial para la cimbra metálica hay que mandarla a producir y esto es equivalente a perder tiempo que a su vez nos lleva a perder dinero dentro de la obra.

También una cuestión importante es que la cimbra metálica no es tan barata como la cimbra de madera, teniendo una inversión inicial más fuerte en la cimbra metálica, aunque con el tiempo esta inversión inicial va valiendo cada vez más la pena. Esto también nos lleva a que si bien para la cimbra de madera hay que tener una muy buena planeación, para la cimbra metálica hay que tener aún más cuidado en este proceso previo a la ejecución de la construcción. En la figura 20 se observa una cimbra metálica para una columna circular.



Figura 20. Cimbra metálica para columna de área transversal circular.

Cimbras Metálicas – Toma Steel. (s/f). Com.mx. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de

<https://tomasteel.com.mx/cimbras-metalicas/>

Si bien es cierto que la elaboración de la cimbra de madera es mucho más rápida que la cimbra metálica, la colocación de la cimbra metálica en el sitio es mucho más rápida que la de su contraparte de madera.

De manera similar que con la cimbra de madera, antes de colocar la cimbra metálica se le debe de untar un líquido a la cimbra de contacto para que sea más fácil descimbrar y que el concreto no se pegue a las caras de la cimbra que está en contacto directo.

En la figura 21 se observa que se está colocando el líquido desmoldante a la cara de contacto de la cimbra metálica para una columna de área transversal cuadrada.



Figura 21. Impregnación de líquido desmoldante a la cimbra metálica de contacto para columna de área transversal cuadrada.

de Cv, U. S. S. [@urbinascaffoldingsrldecv3593]. (2018, abril 20). *Cimbra metálica para Columnas*. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=1OGCYn_eS98

Una vez que se impregna la cimbra de contacto con el líquido desmoldante se procede a colocar la cimbra de contacto, esta cimbra debe de ser lo suficientemente ligera para que se pueda colocar a mano.

En la figura 22 se puede ver cómo se coloca la cimbra metálica para una columna cuadrada desde una vista de planta.

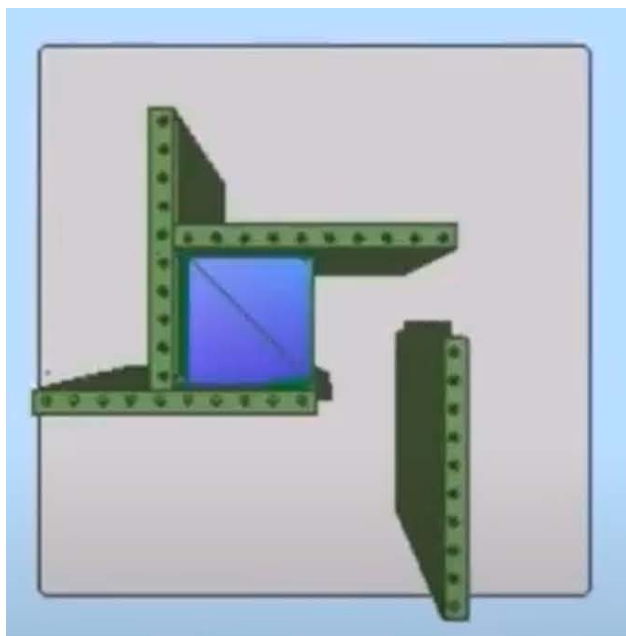


Figura 22. Imagen ilustrativa de la colocación de la cimbra de contacto vista en planta.

de Cv, U. S. S. [@urbinascaffoldingsrldecv3593]. (2018, abril 20). *Cimbra metálica para Columnas*. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=1OGCYn_eS98

Se asegura correctamente la cimbra de contacto y después se procede a colar la columna. Al final se colocan los plomos y apuntalamientos para garantizar el nivel correcto de la columna y que esta quede recta.

En la figura 23 se observa que ya se colocó la obra falsa de la cimbra metálica y se está confirmando que haya quedado a plomo.



Figura 23. Colocación del plomo y apuntalamiento en cimbra metálica

de Cv, U. S. S. [@urbinascaffoldingsrldcv3593]. (2018, abril 20). *Cimbra metálica para Columnas*. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=1OGCYn_eS98

Por último, después del tiempo necesario, se procede a descimbrar la columna y a limpiar la cimbra de contacto para su posterior uso.

2.2.- Columnas de Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono.

En el apartado de “generalidades” de este trabajo se habló brevemente de los tipos de acero que se utilizan en la construcción, en este apartado se hablará más a detalle acerca de este material y de su uso en las columnas.

2.2.1.- El acero en la construcción

Una forma en la que se puede clasificar el acero es en comerciales y estructurales.

Perfiles comerciales de acero: Son de uso común y normalmente son más baratos que los aceros estructurales, normalmente se utilizan en construcciones de casas de 1 a 2 pisos y para algunos detalles de herrería. Algunos ejemplos de este tipo de perfiles son los perfiles en ángulo, solera, perfiles PTR, perfiles de sección cuadrada maciza, barras de acero y tubo de cédula. A continuación en la figura 24 se muestran los perfiles recién mencionados.



Figura 24. Perfiles comerciales de acero

Fuente: Imágenes tomadas de distintas fuentes (enlace mostrada en cada imagen).

Perfiles estructurales de acero: Son de mayor resistencia que los perfiles comerciales, siendo más resistentes a las cargas, a las fuerzas de tensión y tienen mayor ductilidad. Como su nombre lo indica, este tipo de perfiles son los que se utilizan en las estructuras de construcciones urbanas de mayor altura, pero depende también de su inversión, como pueden ser edificios de gran tamaño. Algunos ejemplos de este tipo de perfiles son las vigas IPR, viga IPS, perfil HSS, canal CPS y perfil monten. A continuación en la figura 25 se muestran los perfiles recién mencionados.



Figura 25. Perfiles estructurales de acero

Fuente: Imágenes tomadas de distintas fuentes (enlace mostrada en cada imagen).

De acuerdo con la tabla 1 llamada “Aceros estructurales”, que se encuentra en la Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero (2023), en la página 38, define a los aceros estructurales como los siguientes:

Tabla 1. Aceros estructurales

NMX (ASTM)	Título
NMX-B-060-1990	Lámina de acero al carbono galvanizado por el proceso de inmersión en caliente, acanalada.
NMX-B-066-1986	Lámina de acero al carbono, galvanizada por el proceso de inmersión en caliente para uso estructural.
NMX-B-069-1986	Tubos sin costura o soldados de acero de baja aleación y alta resistencia.
NMX-B-072-CANACERO 2017	Varilla corrugada de acero, grado 60, laminada en frío para refuerzo de concreto.
NMX-B-099-1986 (ASTM A529/A529M)	Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (29 kg/mm ²) y con espesor máximo de 127 mm.
NMX-B-177-1990 (ASTM A53/A53M)	Tubos de acero con o sin costura negros y galvanizados por inmersión en caliente.
NMX-B-199-1986 (ASTM A500/A500M)	Tubos sin costura o soldados de acero al carbono, formados en frío, para usos estructurales.
NMX-B-200-CANACERO 2021 (ASTM A501/A501M)	Tubos de acero al carbono, sin costura o soldados, conformados en caliente para usos estructurales.
NMX-B-248-CANACERO 2006 (ASTM A1011/A1011M)	Acero al carbono, alta resistencia baja aleación y alta resistencia baja aleación con formabilidad mejorada laminado en caliente, en calidad comercial, troquelado y estructural, en rollo.
NMX-B-252-1988 (ASTM A6/A6M)	Requisitos generales para planchas, perfiles, tablaestacas y barras, de acero laminado, para uso estructural.
NMX-B-254-CANACERO 2008 (ASTM A36/A36M)	Acero estructural especificaciones y métodos de prueba.
NMX-B-277-1986 (ASTM A606/A606M)	Lámina de acero de baja aleación y alta resistencia, laminada en caliente y laminada en frío, con resistencia a la corrosión.
NMX-B-281-1987 (ASTM A283/A283M)	Planchas, perfiles y barras de acero al carbón para uso estructural con baja e intermedia resistencia a la tensión.
NMX-B-284-CANACERO 2017 (ASTM A572/A572M y ASTM A992/A992M)	Acero estructural de alta resistencia baja aleación al manganeso-niobio- vanadio-especificaciones y métodos de prueba
NMX-B-286-1991	Perfiles I y H de tres planchas soldadas de acero.
NMX-B-348-1989	Lámina de acero al carbono laminada en frío para uso estructural.
NMX-B-353-1988 (ASTM A148/A148M)	Piezas coladas de acero de alta resistencia, para uso estructural.
NMX-B-456-CANACERO-2017	Armaduras electrosoldadas de alambre de acero para castillos y dalas.
NMX-B-457-CANACERO-2018 (ASTM A706/A706M)	Varilla corrugada de acero baja aleación para refuerzo de concreto.
NMX-B-461-1996 (ASTM A595/A595M)	Tubos de acero de bajo carbono, troncocónicos, para uso estructural.
NMX-B-471-1990	Lámina acanalada de acero al carbono con recubrimiento de aleación, aluminio - cinc, para muros y techos.
NMX-B-480-CANACERO-2011	Perfiles y planchas de acero de baja aleación y alta resistencia al manganeso-niobio-vanadio para uso estructural.
NMX-B-506-CANACERO-2019 (ASTM A615/A615M)	Varilla corrugada de acero para refuerzo de concreto.
(ASTM A618/A618M)	Especificación estándar para tubos estructurales con y sin costura formados en caliente de alta resistencia y baja aleación.
(ASTM A847/A847M)	Especificación estándar para tubos estructurales con y sin costura formados en frío de alta resistencia baja aleación con resistencia a la corrosión atmosférica mejorada
(ASTM A1065/A1065M)	Especificación estándar para tubos estructurales formados en frío con soldadura de fusión por arco eléctrico, de alta resistencia y baja aleación con 345 Mpa mínimo de límite de fluencia
(ASTM A1085/A1085M)	Especificación estándar para secciones estructurales huecas formadas en frío por medio de soldadura, fabricadas a partir de acero al carbono
(ASTM A588/A588M)	Especificación estándar para acero estructural de alta resistencia y baja aleación con límite de fluencia de hasta 345 MPa y resistencia a la corrosión atmosférica mejorada
(ASTM A913/A913M)	Especificación estándar para perfiles estructurales de alta resistencia y baja aleación, fabricados por medio del proceso de temple y auto revenido
(ASTM A514/A514M)	Especificación estándar para placa de alta resistencia a la fluencia, aleada, templada y revenida, adecuada para la aplicación de soldadura

También en la NTC-2023 (para acero), podemos encontrar una tabla (tabla 2), con los valores de F_y y F_u que corresponden a los aceros estructurales que se han listado en la parte

de arriba, esta tabla se encuentra en las páginas 41, 42, 43, 44 y 45 (para fines prácticos solo se mostrará la primera parte de la tabla):

“Tabla 2. Esfuerzos F_y y F_u de aceros estructurales.

Norma				Propiedades mecánicas			
NMX ^[1]	ASTM ^[2]	Clase	Grado	F_y ^[3]		F_u ^[4]	
				MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²
NMX-B-060	N/A ^[5]	A	N/A ^[5]	230	2 345	310	3 161
		B		255	2 600	360	3 671
		C		275	2 804	380	3 875
		D		345	3 518	450	4 589
		E		550	5 608	570	5 812
		F		345	3 518	480	4 895
NMX-B-066	N/A ^[5]	A	N/A ^[5]	230	2 345	310	3 161
		B		255	2 600	360	3 671
		C		275	2 804	380	3 875
		D		345	3 518	450	4 589
		E		550	5 608	570	5 812
		F		345	3 518	480	4 895
NMX-B-069	N/A ^[5]	N/A ^[5]	I	345	3 518	485	4 946
			II	345	3 518	485	4 946
			III	345	3 518	450	4 589
			IV	250	2 549	400	4 079
			V - tipo F	275	2 804	380	3 875
			V - tipo E y S	315	3 212	450	4 589
			VI - tipo E y S	315	3 212	450	4 589
			VII - tipo E y S	310	3 161	450	4 589
VIII - tipo E y S	345	3 518	485	4 946			
NMX-B-072	N/A ^[5]	Designación 1/4" y 5/16" ^[6]	60	687	7 005	588	5 996
		Designación 3/16" y 5/32" ^[6]	60	687	7 005	588	5 996
NMX-B-099	ASTM A529/A529M	N/A ^[5]	42	290	2 957	414 - 586	4 222 – 5 976

Notas:

[1] Estándar mexicano

[2] American Society for Testing and Materials

[3] Valor mínimo garantizado del esfuerzo de fluencia

[4] Valor mínimo garantizado del esfuerzo último

[5] No aplicable

[6] No corresponde a una clase, sin embargo, la designación separa los requisitos mecánicos

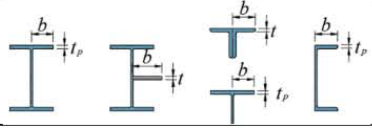
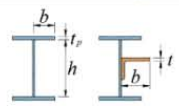
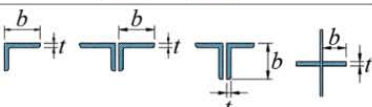
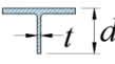
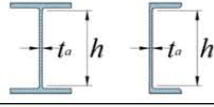

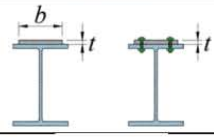
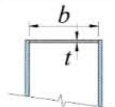
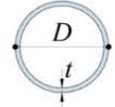
[7] No corresponde a una clase, sin embargo, en la normativa se define tipo de acero y posteriormente el grado correspondiente al tipo de acero.”

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero (2023), en la página 57, dice:

“Las secciones transversales de los miembros estructurales comprimidos se clasifican en no-esbeltas y esbeltas, en función de las relaciones ancho/espesor máximas de los elementos planos que las componen. Si esas relaciones no exceden los valores indicados en la tabla 2.2.1.2.6.a la sección es no-esbelta; en caso contrario es esbelta.

A continuación se presenta una parte de la tabla (tabla 3), antes mencionada. Por motivos de practicidad no se mostrará toda la tabla, sin embargo la tabla completa se puede encontrar en las páginas 59, 60 y 61 de la Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero (2023):

Tabla 3. Valores máximos de las relaciones ancho/espesor. Elementos que forman parte de miembros en compresión pura.

	Descripción del elemento	λ	$\lambda_r^{[1]}$ Sección tipo 1, 2 o 3	Ejemplos
Elementos no atiesados ^[3]	Patines de secciones IR o HR laminadas, placas que sobresalen de esas secciones, alas exteriores de pares de ángulos conectados continuamente, patines de CE y TR	b/t o b/t_p	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Patines de secciones armadas IS formadas por placas soldadas, placas o alas de ángulos que sobresalen de ellas, atiesadores	b/t o b/t_p	$0.64 \sqrt{\frac{k_r E}{F_y}}$ ^[2]	
	Alas de ángulos sencillos o de ángulos dobles con separadores, elementos soportados a lo largo de uno solo de sus bordes longitudinales	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Almas de TR	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elementos atiesados ^[3]	Almas de secciones IR o HR con dos ejes de simetría y de canales CE	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Paredes de espesor uniforme de secciones OR y en cajón	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Cubreplacas en los patines, placas diafragma entre líneas de sujetadores o soldaduras	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Todos los elementos atiesados restantes	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Secciones OC	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

La nomenclatura que utiliza el Instituto Mexicano de la Construcción en Acero (IMCA), para los perfiles de acero se basa en dos letras características de cada perfil, y son las que se muestran en la figura 26:

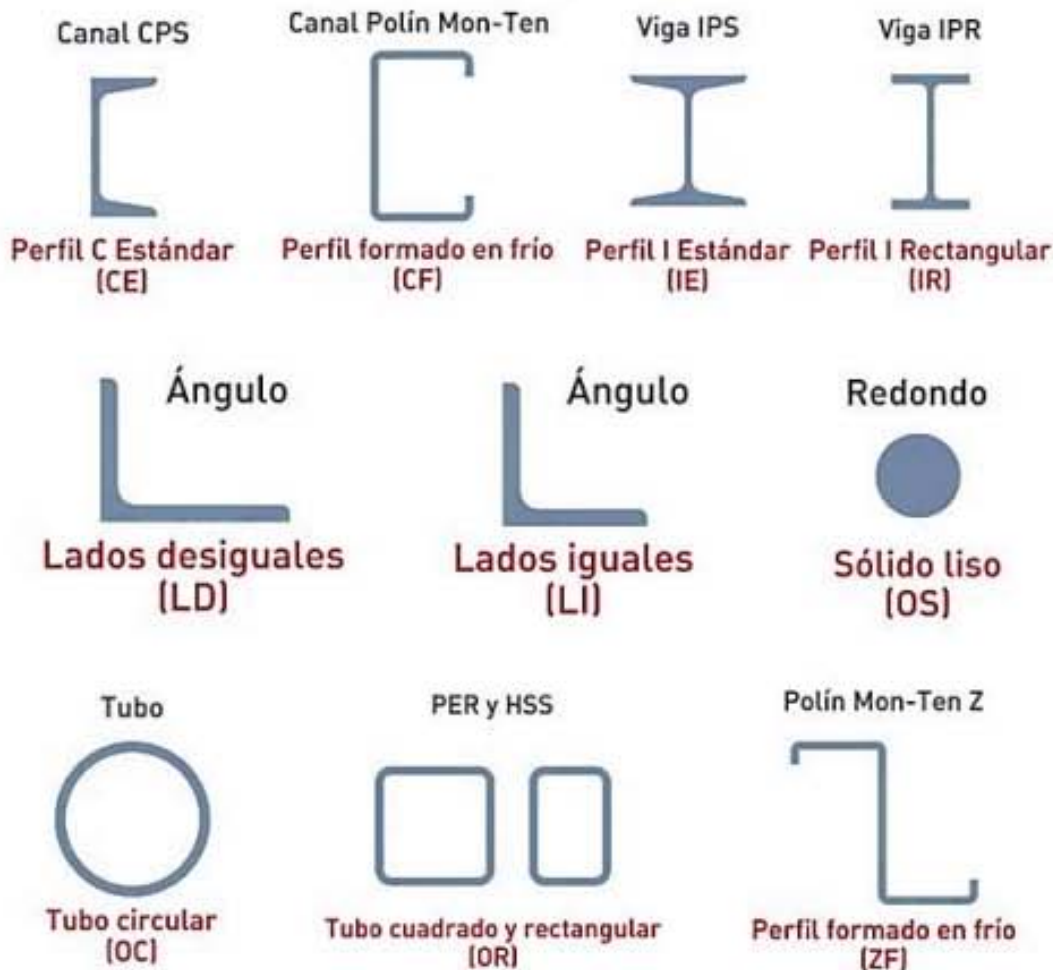


Figura 26. Nomenclatura de los perfiles de acero de acuerdo al IMCA.

(S/f). Unam.mx. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Perfiles_estructurales_2019-1.pdf

En México una de las empresas más importantes que comercializan perfiles de acero es Aceromex, esta “es una empresa mexicana con más de 50 años de experiencia, enfocada a la distribución, comercialización y transformación de productos de acero para la industria metalmecánica y de la construcción”. (<https://aceromex.com/nosotros>).

En su página web podemos encontrar las características de los perfiles de acero que comercian, en las figuras 27, 28 y 29 se muestran fotos de estos perfiles junto a una ilustración

de su área transversal con las medidas más importantes de dichos perfiles, y en las figuras 30, 31, 32, 33, 34 y 35 se muestra solo una foto de cada perfil mencionado.



Figura 27. Perfil tipo canal

Descripción: “Los canales C.P.S son vigas de acero con forma de “U” que se usan para sostener losas, fabricación de carrocerías e implementos agrícolas. Manejamos medidas de 6.10 y 12.20 metros de largo, grado A-36 y en alta resistencia”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Canal C.P.S.* (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Canal/Canales-CPS>



Figura 28. Vigas IPS (tipo americano)

Descripción: “Las vigas de acero se utilizan para la construcción de puentes, bodegas, techos o edificaciones de gran tamaño. Tenemos pesos y medidas de acuerdo a la norma ASTM A6/A 6M-07”.

Fuente de imágenes y descripción: *Aceromex Vigas IPS (tipo americano)*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Viga/Vigas-tipo-IPS>



Figura 29. Vigas IPR

Descripción: “Las vigas de acero IPR con terminado en forma de H sirven como refuerzo estructural tanto en construcción, como en manufacturas de diversos tipos. Disponibles en grado Dual A36/ A-572-50 y ASTM A-992 y medidas irregulares”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Vigas IPR*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Viga/Vigas-IPR>



Figura 30. Perfiles estructurales HSS

Descripción: “Como su nombre lo dice, los HSS son perfiles estructurales huecos, es decir tubos formados en frío, que se utilizan soldados o atornillados. Sus principales beneficios son el atractivo estético, la alta relación resistencia/peso y su fuerza uniforme. Vienen en largos de 12.20 metros”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex HSS*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Perfiles-Estructurales/Perfiles-estructurales-HSS>



Figura 31. Perfiles estructurales cuadrados PTR

Descripción: “Perfiles de acero huecos cuadrangulares usados para armar estructuras que no requieren grandes tamaños o pesos. Gracias a que cuentan con una forma de caja, tienen una resistencia y rigidez mayores a los ángulos o canales de acero”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Perfiles estructurales cuadrados PTR*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Cuadrados/Perfiles-estructurales-cuadrados-PTR>

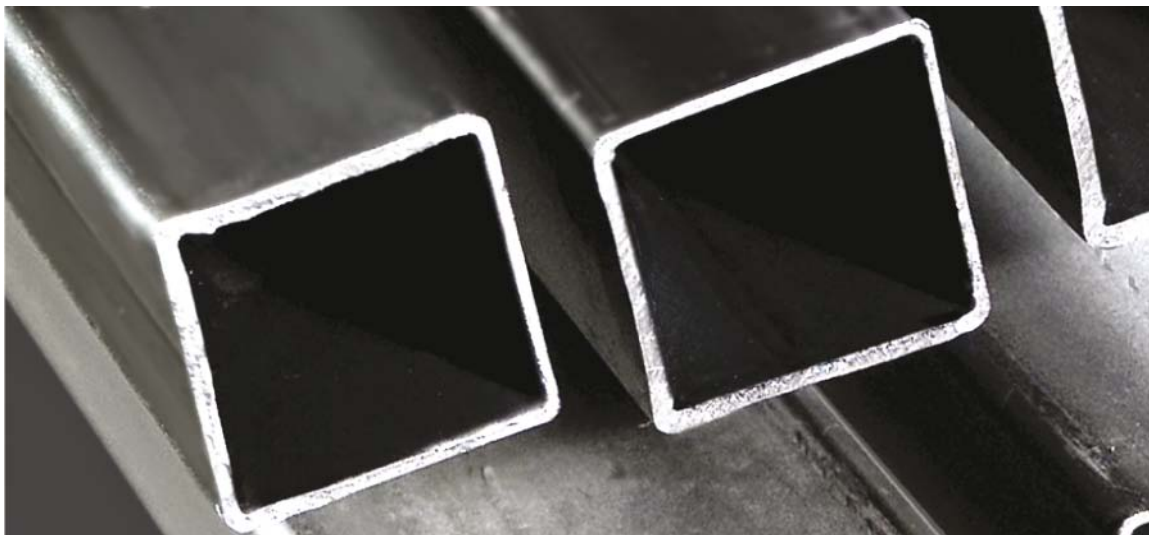


Figura 32. Perfil tubular cuadrado

Descripción: “El perfil de acero tubular es una pieza hueca de metal que se caracteriza por tener un contorno cuadrado y dos extremos abiertos. Son de peso relativamente ligero. Longitud estándar de 6 metros. Pesos teóricos sujetos a una variación de +/- 5% en calibres 11 y más delgados”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Perfil tubular cuadrado*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Cuadrados/Perfil-tubular-cuadrado>



Figura 33. Tubería mecánica cédula 30/A513

Descripción: “Tubería de alta calidad, para uso estructural, industrial y de conducción”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Tubería mecánica cédula 30/A513*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Tuberia-estructural-industrial-y-de-conduccion/Tuberia-mecanica-cedula-30-A513>



Figura 34. Tubería mecánica cedula 40/A513

Descripción: “Tubería de alta calidad, para uso estructural, industrial y de conducción”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Tubería mecánica cédula 40/A513*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Tuberia-estructural-industrial-y-de-conduccion/Tuberia-mecanica-cedula-40-A513>



Figura 35. Tubería industrial

Descripción: “Tubería de alta calidad, para uso estructural, industrial y de conducción”.

Fuente de imagen y descripción: *Aceromex Tubería industrial*. (s/f). Aceromex.com. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://aceromex.com/Tuberia-estructural-industrial-y-de-conduccion/Tuber%C3%ADa-industrial>

2.2.2.- Conexiones

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero en la página 173, en el punto *11.1 Disposiciones Generales*, menciona que:

“Las conexiones están formadas por las partes de los miembros conectados (e.g. almas de vigas), por elementos de unión (e.g. atiesadores, placas, ángulos, ménsulas) y por conectores (e.g. soldaduras, tornillos). Los elementos componentes se dimensionan para que su resistencia de diseño sea igual o mayor que la sollicitación de diseño, así como la capacidad de deformación correspondiente.”

Definición de conexión de acuerdo a la página de internet de gerdaucorsa *Tipos de conexiones para estructuras de Acero. Com.mx. Recuperado el 13 de marzo de 2024, de <https://www.gerdaucorsa.com.mx/blog/tipos-de-conexiones-para-estructuras-de-acero>:*

“Conjunto de elementos que se intersectan en un nodo con el fin de transmitir esfuerzos entre sí apegándose a las condiciones del modelo ideal de la estructuración, las conexiones pueden ser unidas mediante tornillos de alta resistencia y/o soldadura”.

En la figura 36 se puede observar el “árbol de conexiones” que se encuentra en la facultad de ingeniería en Ciudad Universitaria cerca de la División de Ingeniería Civil y Geomática, en donde se pueden observar varios tipos de conexiones de perfiles de acero, y se muestra solo como manera de ejemplo para este tema que estamos a punto de abordar.



Figura 36. Árbol de conexiones, Facultad de Ingeniería Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México.

Foto propia

En las estructuras metálicas existen distintos tipos de conexiones, pero las que nos interesan en este trabajo son las que involucran directamente a las columnas, y serían las conexiones de columnas de perfiles metálicos a placas base y las conexiones entre vigas y columnas.

Es importante hacer mención de los tornillos de tensión controlada, en las conexiones que se verán a continuación se pueden utilizar estos tornillos, su principal ventaja es que al colocarse (se colocan con una pistola eléctrica especial a la que se le configura para que le aplique la sujeción necesaria a los tornillos), la parte contraria del cabezal se desprende de éste mismo, pudiendo corroborar con esto que el tornillo fue colocado de la manera correcta y

con la presión adecuada. En la siguiente figura (figura 37), se puede observar uno de estos tornillos de tensión controlada antes de ser colocado.



Figura 37. Tornillo de tensión controlada.

Definición tornillos tensión controlada A325 - CTG *La Casa de los Tornillos*. (2019, noviembre 11). La Casa de los Tornillos de Guadalajara. <https://casatornillos.com/tornillos-tension-controlada-a325/>

2.2.2.1.- Placas base

Las conexiones de columnas de perfiles de acero con la placa base son las que se tienen en la parte inferior de las columnas de acero, y generalmente tienen una configuración como se muestra en la figura 38.

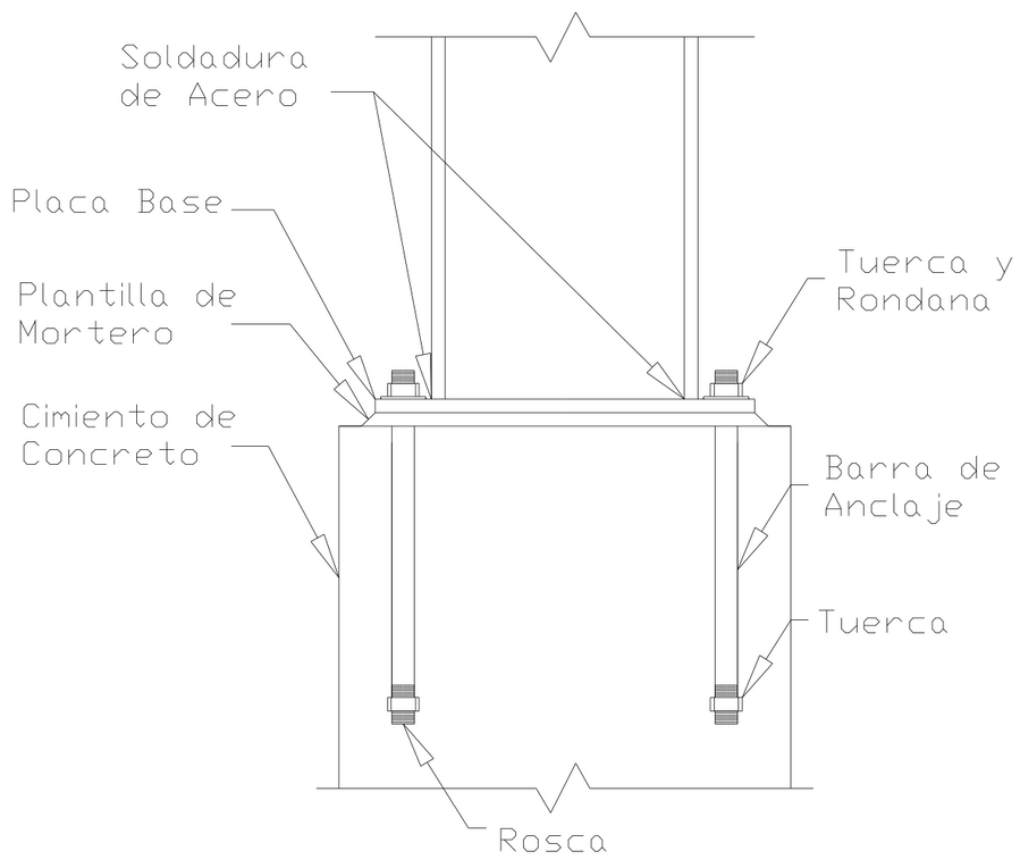


Figura 38. Diagrama de placa base soldada al perfil de acero para la parte inferior de una columna de acero.

Placa Base E.M. (s/f). gmoralexv2. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://gmoralexv2.weebly.com/placa-base-em.html>

- Soldadura de acero: es la soldadura que se hace entre el perfil de acero que funge como columna y la placa base.
- Tuercas y rondanas/arandelas: se utilizan para unir de manera correcta la placa base al cimiento de concreto por medio de las barras de anclaje/anclas.
- Plantilla de mortero: esta plantilla se utiliza para asegurar un contacto uniforme entre la placa base y el cimiento de concreto.
- Barras de anclaje/anclas: son barras de acero ancladas a un cimiento de concreto, y unidos a la placa base por medio de las tuercas y rondanas/arandelas para brindarle rigidez a la columna.

- Cimiento de concreto: normalmente es un dado de cimentación de concreto que ayuda a transmitir los esfuerzos de la estructura al suelo.

En la figura 39 se puede observar la foto de una columna de perfil metálica ya soldada a la placa base y con sus anclas ya colocadas, junto a un diagrama simple de la misma, vista en planta.

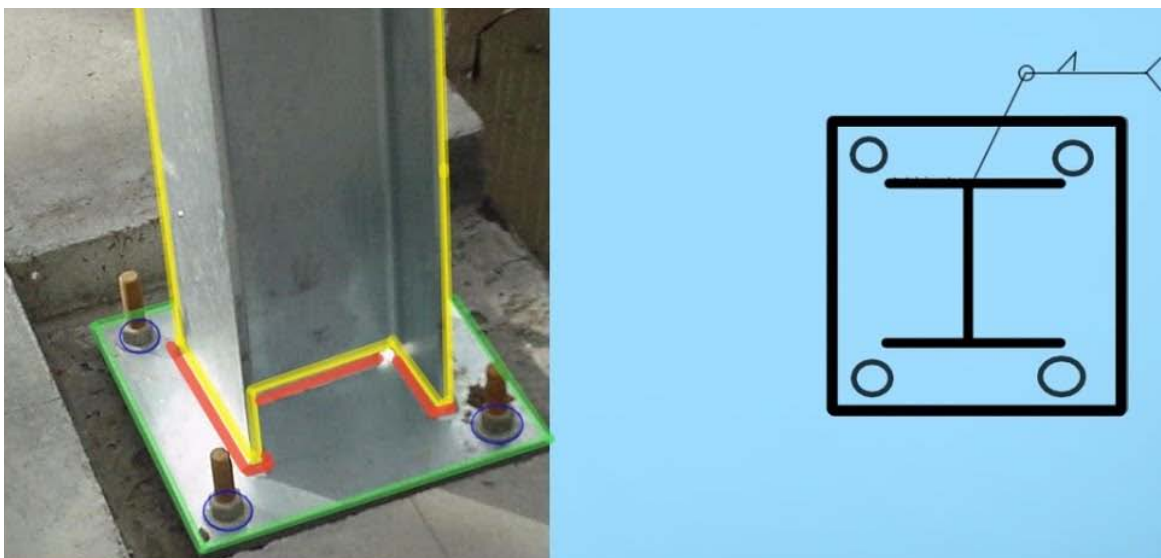


Figura 39. Ilustración y vista en corte de una placa base unida a una columna de acero.

Metal, B. I. M. [@Metal-BIM]. (2021, abril 4). *Tipos de Conexiones en Estructuras Metálicas*. Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=Q25EX6__2Bo

De acuerdo con la página de internet gmorelexv2 (<https://gmorelexv2.weebly.com/placa-base-em.html>), las placas base son: “elementos estructurales de conexión, que constituyen la interface entre las columnas de acero y los dados de cimentación, y propiamente la cimentación de concreto. Una placa base recibe las cargas de la columna de acero y las distribuye en un área mayor del concreto localizado bajo dicha placa. El área de distribución debe ser lo suficientemente grande para impedir que el concreto se sobre esfuerce y se fracture por aplastamiento.”

2.2.2.2.-Conexiones viga-columna

Estas son las conexiones que se deben de realizar entre las columnas y las vigas y son de vital importancia para garantizar la correcta transmisión de cargas entre estos elementos estructurales.

A diferencia de las conexiones de las columnas con las placas base, existen diferentes tipos de conexiones viga-columna que se pueden implementar, el tipo de conexión se determinará por diversos factores, la página del Instituto Mexicano de Construcción en Acero (IMCA), en su artículo llamado “Conexiones trabe columna”, elaborado por el Ing. Octavio Alvarez Valadez (<https://www.imca.org.mx/newsletters/news30.php>), menciona los siguientes:

- “1. Condiciones de la carga.
2. Tipo y espesor de los materiales conectados.
3. Resistencia requerida de la conexión.
4. Configuración del material.
5. Disponibilidad de equipo o herramientas y elementos de unión.
6. Lugar de montaje (taller o campo).
7. Costo.
8. Experiencia de la mano de obra.
9. Tipo de norma que se ejerce en la región.”

2.2.2.2.1.- Conexión rígida con placa de extremo

De acuerdo con el IMCA en su artículo llamado “Conexiones trabe columna”, elaborado por el Ing. Octavio Alvarez Valadez (<https://www.imca.org.mx/newsletters/news30.php>): “Este

tipo de conexión (también llamado “end plate” o “placa extrema”), es una conexión rígida y consiste en colocar en taller, una placa vertical rectangular en los extremos de las trabes y en ella los huecos para los tornillos de alta resistencia requeridos para la unión de las trabes con las columnas.

La placa extrema debe garantizar la transmisión del momento flexionante y de la fuerza cortante a la columna. Debe tener dimensiones adecuadas para evitar la rotación de la trabe respecto a su propio eje y ser lo suficientemente flexible para permitir la rotación de la trabe respecto a la columna. El uso frecuente y la gran popularidad de las conexiones con placa extrema se deben fundamentalmente a la sencillez y economía que brinda su diseño, fabricación y montaje.”

En la figura 40 se observa el tipo de conexión rígida con placa de extremo entre una columna y una viga metálica, junto con sus detalles como el tipo de tornillos y tuercas, y placas de continuidad.



Figura 40. Diagrama y descripción de las partes de una conexión viga-columna rígida con placa de extremo.

Soto, H. [@hectorsoto5016]. (2015, junio 7). *Video Conexiones Trabe columna*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=M70JE2W6Eq0&list=PLu96vXlXgH65XRt5Qu7glYEtYhLMQYUVo&index=8>

En la figura 41 vemos este tipo de conexión ya realizada y distintos tipos de perspectivas.

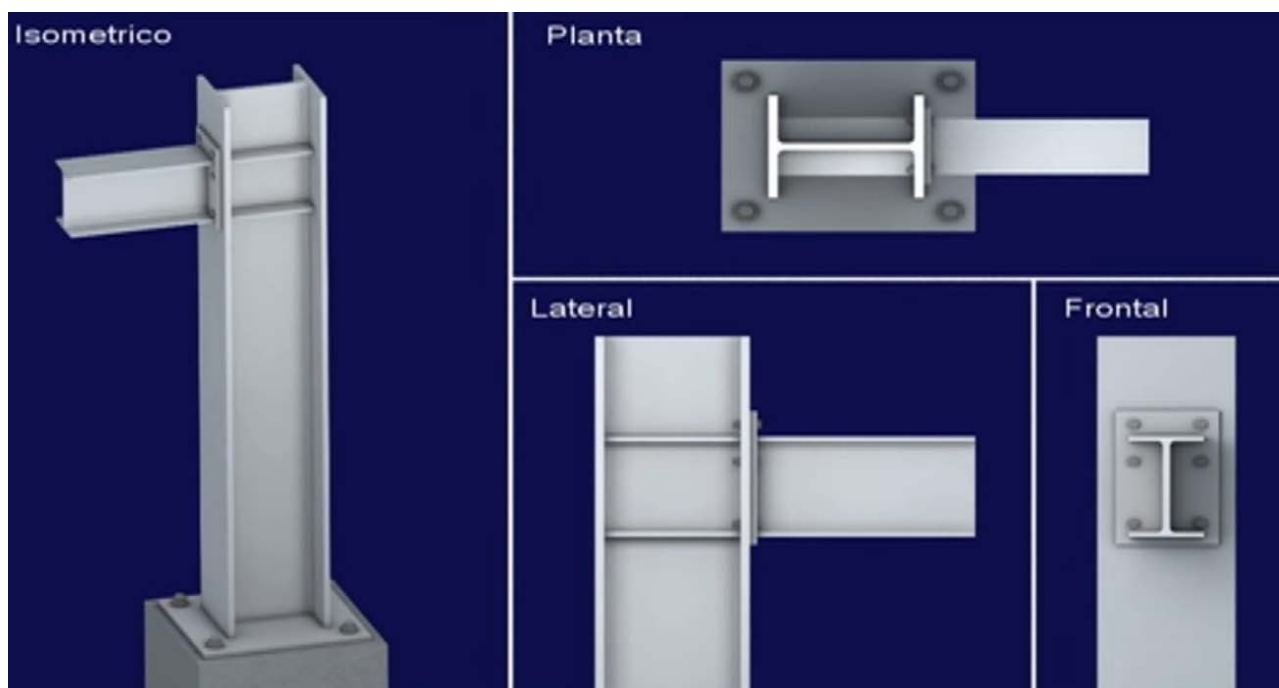


Figura 41. Vista isométrica, de planta, lateral y frontal de una conexión viga-columna rígida con placa de extremo.

Soto, H. [@hectorsoto5016]. (2015, junio 7). *Video Conexiones Trabe columna*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=M70JE2W6Eq0&list=PLu96vXlXgH65XRt5Qu7glYEtYhLMQYUVo&index=8>

2.2.2.2.2.-Conexiones con placas horizontales en los patines de la trabe

Este tipo de conexiones pueden ser soldadas o atornilladas, todo depende del proceso constructivo y demás variables del proyecto y elementos estructurales que se utilizaran. Lo óptimo sería que las soldaduras se hicieran en el taller, con las pruebas correspondientes de soldadura para poder garantizar la calidad del trabajo, y si se necesitan realizar las conexiones in situ que esas sean por medio de los tornillos de alta resistencia, es decir tratar de evitar realizar soldaduras in situ, y si se realizan llevar un apropiado control de calidad.

De acuerdo con el IMCA en su artículo llamado “Conexiones trabe columna”, elaborado por el Ing. Octavio Alvarez Valadez (<https://www.imca.org.mx/newsletters/news30.php>): “Este tipo de junta rígida es una de las más comunes en México; consiste en colocar placas horizontales de sección rectangular prismática por arriba y debajo de los patines superior e inferior de las traveses para transmitir el momento flexionante de la columna a la viga, y una placa vertical rectangular en el alma de la trabe para transmitir la fuerza cortante.”

En la figura 42 se observan conexiones con placas horizontales en los patines de la trabe, y en la parte izquierda de la imagen las placas se colocaron mediante soldadura, y del lado derecho de la imagen las placas se colocaron mediante tornillos de alta resistencia.



Figura 42. Conexiones con placas horizontales soldadas (imagen izquierda), y atornilladas (imagen derecha).

IMCA - Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. (s/f). Org.Mx. Recuperado el 2 de marzo de 2024, de <https://www.imca.org.mx/newsletters/news30.php>

2.2.2.2.3.- Conexión tipo árbol

De acuerdo con el IMCA en su artículo llamado “Conexiones trabe columna”, elaborado por el Ing. Octavio Alvarez Valadez (<https://www.imca.org.mx/newsletters/news30.php>): “Esta unión se basa en el concepto de columna tipo árbol, que ha sido ampliamente utilizado en Japón, en la que un tramo corto de la trabe que se denomina muñón o brazo, se fabrica y suelda en taller directamente a los patines de la columna.”

En la figura 43 se observa una columna con conexión tipo árbol. Y en la figura 44 se observa un diagrama de otra columna con conexión de tipo árbol en donde se muestra como se colocan las placas atornilladas desde el muñón de la columna a la trabe.



Figura 43. Conexión tipo árbol entre columna y viga

IMCA - Instituto Mexicano de la Construcción en Acero. (s/f). Org.Mx. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de

<https://www.imca.org.mx/newsletters/news30.php>

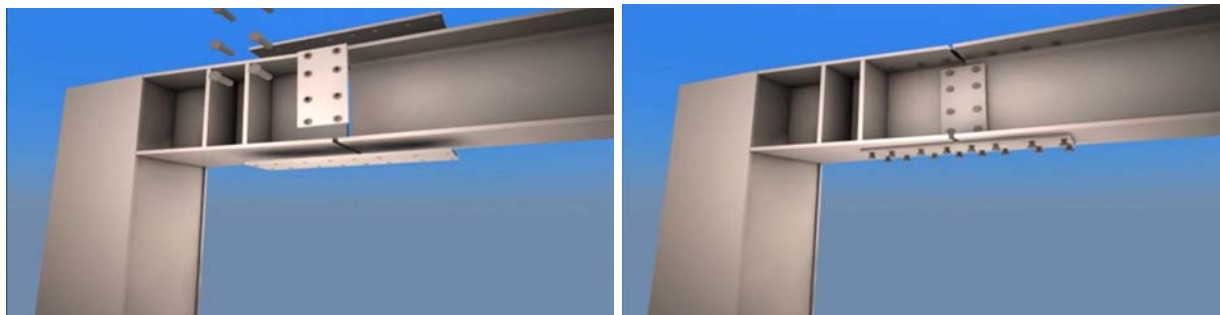


Figura 44. Ensamble de una conexión tipo árbol.

Soto, H. [@hectorsoto5016]. (2015, junio 7). *Video Conexiones Trabe columna*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=M70JE2W6Eq0&list=PLu96vXlxgH65XRt5Qu7glYEtYhLMQYUVo&index=8>

2.3.- Columnas pre-fabricadas/pre-esforzadas

Llamaremos columnas pre-fabricadas a aquellas que se fabrican en una planta previamente con las características deseadas por el cliente, y que nada más se transportan a la obra y se montan con ayuda de maquinaria.

Este tipo de columnas ofrece algunas ventajas con respecto a las que se fabrican in-situ, como que el tiempo de montaje es más eficiente que si se armaran, cimbraran y colaran en obra, sin mencionar el tiempo de curado y el tiempo para que el concreto adquiera su rigidez resistencia.

Es indispensable el uso de maquinaria, como lo puede ser una grúa, para el montaje/instalación de estos elementos estructurales en la obra, ya que como ya están fabricadas su peso es considerablemente grande como para que pueda ser maniobrada monada por la mano de obra.

Un ejemplo de una empresa que se dedica a elaborar elementos pre-fabricados es la empresa Trabis, que fabrica columnas sobre pedido en plantas que tienen en Hermosillo, Culiacán y Tijuana.

Se debe de tener mucho cuidado en el proceso de fabricación de este tipo de columnas, ya que debe de cumplir con altos estándares en cuanto a sus materiales y proceso constructivo para garantizar su buen funcionamiento en la estructura, esto se debe de verificar mediante normas vigentes por medio de pruebas en laboratorios certificados. En la siguiente figura (figura 45), se pueden apreciar columnas pre-fabricadas de la empresa Trabis.



Figura 45. Columnas pre-fabricadas de la empresa Trabis.

(S/f). Com.mx. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <https://www.trabis.com.mx/soluciones/otros/columnas/>

Ahora los elementos de concreto pre-esforzado se utilizan para aprovechar la capacidad del concreto de soportar fuerzas de compresión, estos elementos siguen siendo elaborados por concreto y acero, sin embargo al acero se le aplica un pre-tensado o post-tensado para poder elaborar un elemento de concreto pre-esforzado.

La diferencia principal entre un elemento pre-tensado y post-tensado es que al primero se le aplica a su acero de refuerzo una fuerza de tensión antes de vaciar el concreto y colar el elemento estructural, mientras que al post-tensado primero se vacía el concreto y se cuela el elemento, y después se le aplica una fuerza de tensión al acero que lleva embebido.

El concreto pre-esforzado normalmente se utiliza para elaborar vigas/trabes precisamente por la capacidad de estos elementos (pre-esforzados), de soportar mejor los esfuerzos de tensión. Sin embargo también se utiliza en columnas, ya que si bien las columnas normalmente soportan cargas de compresión, también soportan cargas de tensión por el efecto de flexo-compresión, y por sismos.

2.4.- Columnas Mixtas

2.4.1.- Tipos

De acuerdo con la Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero del 2023, en la página 161, los tipos de columnas mixtas que se consideran se muestran en la figura 46.

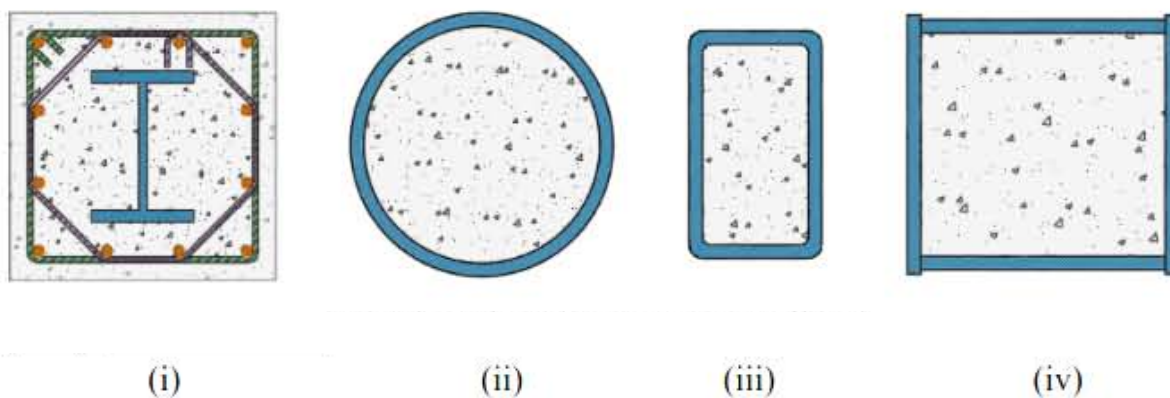


Figura 46. Secciones transversales de columnas mixtas de acuerdo a la NTC (acero) 2023.
Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero del 2023, página 161.

Donde:

(i) Perfil de acero embebido en concreto reforzado

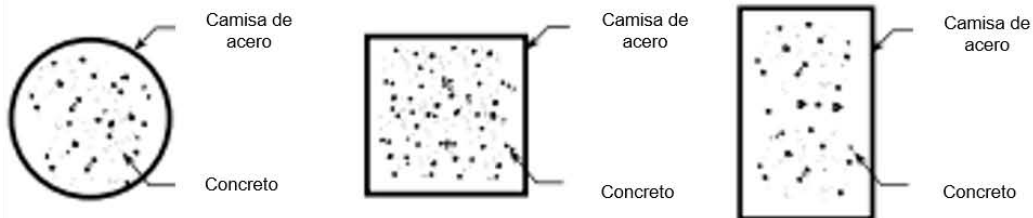
(ii) Tubular circular relleno

(iii) Tubular rectangular relleno

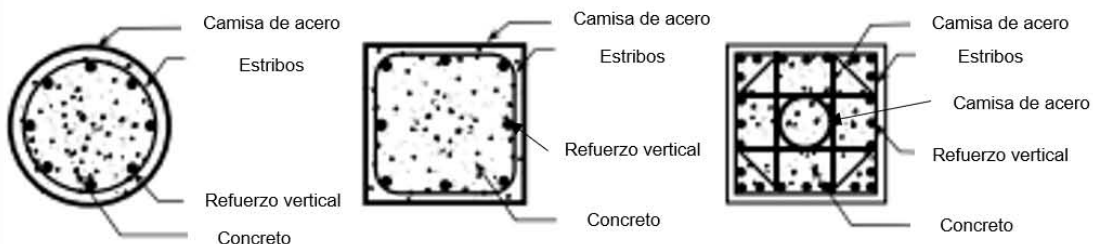
(iv) Sección cajón rellena

En varias fuentes de habla inglesa se puede encontrar que las columnas mixtas se clasifican en “SCR” (Steel Reinforced Concrete), que son perfiles de acero embebidos en concreto, “CFT” (Concrete Filled Tube), estos son perfiles tubulares de acero rellenos de concreto. y en “RCFT” (Rectangular Concrete Filled Tube), son perfiles tubulares rectangulares rellenos de concreto. Como podemos observar esta clasificación es bastante similar a las que se mencionan en la NTC (acero) del 2023.

Sin embargo otras fuentes consideran otro tipo de configuraciones para las columnas mixtas. Por ejemplo el artículo “Testing and analysis of concrete-filled elliptical hollow sections” de “H. Yang, D. Lam, L. Gardner” publicado en “Engineering structures” de la editorial “Elsevier”, considera las secciones que se muestran en la figura 47 como columnas mixtas.

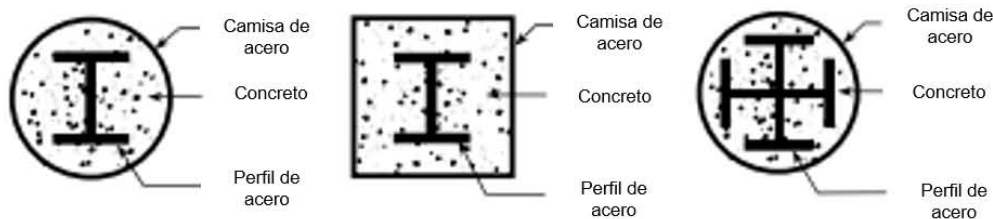


a) Secciones huecas rellenas de concreto simple

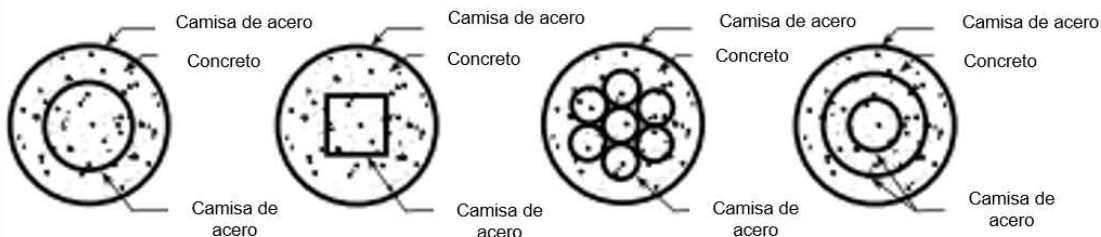


b) Secciones huecas rellenas de concreto reforzado

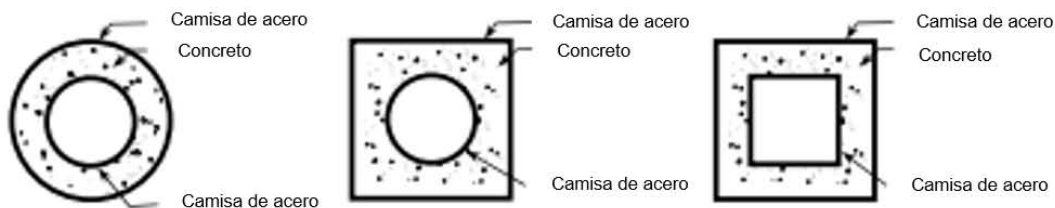
c) Secciones huecas rellenas de concreto reforzado con otra sección hueca embebida



d) Secciones huecas rellenas de concreto simple y perfil embebido



e) Secciones huecas anidadas rellenas de concreto simple



f) Doble sección hueca rellena de una sola cara de concreto simple

Figura 47. Secciones transversales de columnas mixtas de acuerdo a la publicación Testing and analysis of concrete-filled elliptical hollow sections.

Fuente: Testing and analysis of concrete-filled elliptical hollow sections, H. Yang, D. Lam, L. Gardner. Publicado en Engineering structures de la editorial Elsevier.

Como se puede observar se encuentran algunas secciones similares a las que se mencionan en la Norma Técnica Complementaria de acero del 2023, y también otras secciones más complejas y menos comunes.

Sin embargo para fines prácticos de este trabajo consideraremos sólo las primeras 3 configuraciones de la Norma Técnica Complementaria de acero del 2023, es decir las de perfil de acero embebido en concreto reforzado (i), tubular circular relleno (ii) y tubular rectangular relleno (iii).

En la figura 48 se observa a un herrero en la unión de una columna mixta con su perfil de acero y acero de refuerzo antes de colocar la cimbra y de ser colada.



Figura 48. Columna mixta de perfil embebido y armado de acero de refuerzo en construcción.

Imagen obtenida de: (S/f). Uam.mx. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/6157/Evaluacion_del_comportamiento_sismico_Rasgado_Romero_A_M_2012.pdf?sequence=1

2.4.2.- Consideraciones en la Normatividad

2.4.2.1.- Norma técnica complementaria 2023

De acuerdo con la *Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero del 2023*, en la página 141, dice que los materiales del acero y el concreto para elementos compuestos deben de cumplir con las siguientes limitaciones:

“A menos que por medio de ensayos experimentales o análisis se justifiquen límites diferentes que sean aprobados por la Administración, los componentes de concreto, acero estructural y acero de refuerzo en sistemas compuestos deben cumplir las limitaciones siguientes:

- a) Para la determinación de la resistencia de diseño, el concreto de peso normal debe tener una resistencia en compresión, f_c' , de no menos de 20 MPa (200 kg/cm²) ni más de 70 MPa (700 kg/cm²), y el de peso ligero no menos de 20 MPa (200 kg/cm²) ni más de 42 MPa (420 kg/cm²). Los materiales componentes para el concreto deben cumplir con lo que se indica en el Capítulo 2 de la NTC-Concreto
- b) El esfuerzo de fluencia mínimo especificado, F_y , del acero estructural que se utilice en los cálculos de resistencia de miembros compuestos no debe ser mayor que 525 MPa (5 250 kg/cm²). El acero estructural debe cumplir las normas que se indican en la tabla 1.4.1.1 de 1.4.1
- c) El esfuerzo de fluencia mínimo especificado, F_y , del acero de refuerzo que se utilicen en los cálculos de resistencia de miembros compuestos no debe ser mayor que 550 MPa (5 500 kg/cm²). El acero de refuerzo debe cumplir las normas NMX-B-457-CANACERO, NMX-C-407-ONNCCE, y las que se indican en 2.2 de la NTC-Concreto.”

Y en el caso específico de las columnas compuestas la *Norma Técnica Complementaria Para Diseño Y Construcción De Estructuras De Acero del 2023*, en la página 161, menciona las limitaciones específicas para la columnas compuestas, y son las siguientes:

“Las columnas compuestas deben satisfacer las limitaciones siguientes:

a) El área de la sección transversal del perfil de acero embebido en concreto o del tubular relleno de ese material debe tener al menos el 1 por ciento del área total de la sección transversal compuesta

b) En columnas compuestas rellenas de concreto, los perfiles de acero se clasifican, por pandeo local, de acuerdo con los límites de 10.1.4

c) El refuerzo longitudinal en secciones rellenas es opcional. También es opcional el refuerzo transversal interno cuando se proporcione refuerzo longitudinal

d) En columnas compuestas embebidas en concreto se debe contar con refuerzo longitudinal continuo y transversal (estribos o espirales). Para el refuerzo lateral, se deben usar varillas del No. 3 (10 mm) con separación máxima de 300 mm entre centros, o varillas del No. 4 (13 mm) con separación máxima de 400 mm entre centros; el espaciamiento máximo de estribos no excederá 0.5 veces la dimensión mínima de la columna. La cuantía de acero de refuerzo longitudinal, ρ_{sr} , no debe ser menor que 0.004.”

En seguida, en la NTC (acero) del 2023 también menciona que:

“En consistencia con la NTC-Concreto, la cuantía de la sección de acero estructural respecto a la sección total debe ser de al menos el 1 por ciento, mientras que la cuantía del acero de refuerzo longitudinal no debe ser menor que 0.4 por ciento. En el caso de columnas rellenas, el uso de acero de refuerzo longitudinal y transversal son opcionales. En columnas compuestas embebidas en concreto es necesario por integridad estructural contar con refuerzo

longitudinal continuo y transversal (estribos o espirales). Se deberá contar con al menos cuatro varillas continuas en las esquinas, y aunque se permiten varillas no continuas en la sección para amarrar los estribos, éstos no se podrán considerar en la cuantía mínima o en cálculos de resistencia. El detallado sísmico de columnas compuestas se comentan en el capítulo 16 de esta Norma.”

2.4.2.2.- Especificación ANSI/AISC 360-10

De manera similar, la *American National Standards Institute (ANSI)* y *American Institute of Steel Construction (AISC)*, en la *Especificación ANSI/AISC 360-10* se mencionan algunas limitaciones similares con respecto a la resistencia del concreto y acero, mencionando que:

“El concreto debe de tener una resistencia a la compresión mayor que 215 kg/cm^2 y menor que 715 kg/cm^2 para concreto de peso normal. Una resistencia a la compresión mayor que 215 kg/cm^2 y menor que 430 kg/cm^2 para concreto liviano.

El acero debe de tener una resistencia a la tensión menor que 5355 kg/cm^2 .

Esta especificación clasifica las columnas compuestas en dos tipos, *miembros compuestos embebidos* y *miembros compuestos rellenos*.

Limitaciones de miembros compuestos embebidos:

1. El área de la sección del núcleo de acero debe de ser por lo menos el 1% del área transversal de la columna.
2. Se debe de contar también con acero de refuerzo longitudinal y transversal en forma de estribos, ganchos o armaduras helicoidales. Cuando se utilizan ganchos para el acero de refuerzo transversal se deben emplear como mínimo barras del No. 3 con una separación máxima entre sí de 305mm, o barras del No. 4 con una separación máxima

entre sí de 406mm. La separación máxima entre ganchos tampoco debe exceder 0.5 veces la menor dimensión de la columna.

3. Debe haber una separación entre el núcleo de acero y el acero de refuerzo longitudinal mínimo de 1.5 veces el diámetro de las barras de refuerzo, y esta separación no debe ser mayor a 38mm.

Limitaciones para miembros compuestos rellenos:

1. El área de acero transversal debe de ser por lo menos el 1% del total del área transversal de toda la columna mixta.
2. Deben de ser clasificados para pandeo local de acuerdo a si son columnas compactas, no compactas y esbeltas. Esto se hace por medio de la relación ancho/espesor de la columna.”

2.4.3.- Ventajas de las columnas mixtas

Lo que se busca hacer con las columnas mixtas es, como todo en la construcción, aprovechar las cualidades del concreto y del acero para optimizar sus secciones. En el caso del concreto aprovechar su bajo costo y su gran capacidad de resistir las compresiones (que para las columnas es algo vital). Y en el caso del acero su rapidez de montaje, su gran capacidad para resistir los esfuerzos de flexión (que si bien no son los principales esfuerzos que se presentan, si se llegan a presentar en la gran mayoría de los casos), y su rigidez.

Una de las primeras ventajas que notamos al unir estos dos materiales en un solo elemento, comparándolo con el concreto armado, es la reducción de sus dimensiones, ya que al contar con mayor refuerzo de acero la columna mejora su rigidez y resistencia.

La ventaja anterior también nos lleva a hablar sobre un mejor comportamiento con relación al pandeo, ya que la columna al adquirir mayor rigidez puede ser menos propensa a sufrir pandeo, lo que lleva a su vez a una menor probabilidad de que la columna falle.

En cuanto al procedimiento constructivo podemos remarcar que al utilizar el acero en el perímetro del área transversal y el concreto en el centro de dicha área, se puede prescindir de la cimbra de madera y utilizar el acero perimetral como cimbra.

Las columnas mixtas tienen una mayor resistencia frente al fuego, en comparación con columnas de concreto armado o de perfiles de acero, estas columnas llegan a soportar el fuego hasta 90 minutos consecutivos.

2.4.3.1.- Ventajas de columnas mixtas de tipo tubulares rellenas

Ya que hemos mencionado las ventajas de las columnas mixtas de manera general, ahora podemos identificar cuales son las ventajas específicas de las columnas mixtas de tipo tubulares rellenas (estas abarcan las de tipo *circular relleno* y *rectangular relleno*).

En este caso el concreto en el núcleo de la columna es la que aporta resistencia a la compresión y reduce potencialmente el pandeo local de la columna. La camisa de acero es la que aporta el refuerzo lateral y longitudinal, y ayuda al núcleo de concreto a resistir la tensión, momentos y fuerzas cortantes, y también provee de confinamiento al concreto.

Gracias a las propiedades combinadas del acero y del concreto, la columna tiende a ser buena para soportar los sismos ya que tiene una buena resistencia, así como ductilidad y una buena capacidad para absorber la energía de los sismos.

2.4.3.2.- Ventajas de columnas mixtas de tipo perfil de acero embebido en concreto reforzado

Ahora bien en este apartado se mencionan las ventajas en específico de las columnas mixtas de tipo perfil de acero embebido de concreto reforzado.

De acuerdo al artículo llamado *Experimental Study on Seismic Behavior of Full Encased Steel-Concrete Composite Columns* de los autores Caihua C., Cuikun W. y Huizhong S., en el 2014, se han realizado múltiples estudios acerca de las columnas mixtas de este tipo utilizadas en edificios muy altos, y que estos elementos tienen un buen comportamiento cuando son sometidas a fuerzas provocadas por sismos. En dicho artículo se menciona que este comportamiento a las fuerzas sísmicas se debe a factores en específico, estos factores son: su relación de compresión axial, relación de cortante, relación de acero, relación de refuerzo, relación de estribos y su relación de profundidad de embebido del perfil de acero estructural.

A su vez, en el artículo mencionado en el párrafo anterior, se hace mención de las *JGJ 138-2001*, que son especificaciones técnicas para la construcción de estructuras de acero y concreto reforzado utilizadas en China. Dicha mención en el artículo hace énfasis en que en esas especificaciones técnicas se tiene un mínimo establecido en cuanto a dos factores, estos factores son: la relación de estribos y la relación de profundidad de embebido del perfil de acero estructural. Estos límites inferiores se establecen con el fin de asegurar la ductilidad de las columnas bajo condiciones sísmicas.

Dicho artículo, del cual se ha estado referenciando en los últimos dos párrafos, contiene un experimento en el cual se buscaba comprobar la eficiencia de las columnas mixtas de tipo perfil de acero embebido en concreto reforzado bajo condiciones de fuerzas sísmicas, las conclusiones de este experimento/artículo demuestran que efectivamente las columnas de este tipo sí tienen un comportamiento favorable ante las fuerzas sísmicas.

2.4.4.- Comparación de Columnas Mixtas con Otro Tipo de Columnas

Columnas de Concreto Reforzado	Columnas de Acero	Columnas Mixtas
Secciones transversales grandes	Secciones transversales pequeñas	Secciones transversales pequeñas
Tiempo de colado mayor al tiempo de montaje de las columnas de acero y mixtas	Tiempo de montaje más eficiente	Tiempo de montaje medio
Ocupa más espacio	Optimiza espacios	Optimiza espacios
Mucha mano de obra	Reducción de mano de obra	Reducción de mano de obra
Resistente contra el fuego	Menor eficiencia en la resistencia al fuego	Resistente contra el fuego
Mejor resistencia a la compresión	Mejor resistencia a la flexión	Resiste bien la flexión y compresión
Inversión inicial baja	Mayor inversión inicial	Mayor inversión inicial
Tiempo de retorno de inversión mayor	Tiempo de retorno de inversión menor	Tiempo de retorno de inversión menor
Mayor tiempo de ejecución de obra	Menor tiempo de ejecución de obra	Menor tiempo de ejecución de obra

2.4.5.- Ejemplos de Aplicación

Para poder tener un poco más de contexto acerca de la utilidad de los elementos estructurales compuestos en la construcción es bueno mencionar algunos ejemplos como edificios (construcciones verticales), o puentes (infraestructura de movilidad).

2.4.5.1.- Construcciones verticales

Edificio *Fang Yuan*, ubicado en Shenyang, China. Es un edificio de 99.75 metros de altura, y abarca un área de 4,760 m², fue construido en el 2002 . Cuenta con una fachada muy

peculiar, haciendo referencia a una moneda antigua. El diseño de este edificio fue realizado por *CY Lee & Partners Architects/Planners*, una firma de arquitectos fundada en 1978 en Taipei, Taiwán. Este edificio se puede observar en la figura 49, y la ubicación de dicho edificio en la figura 50.

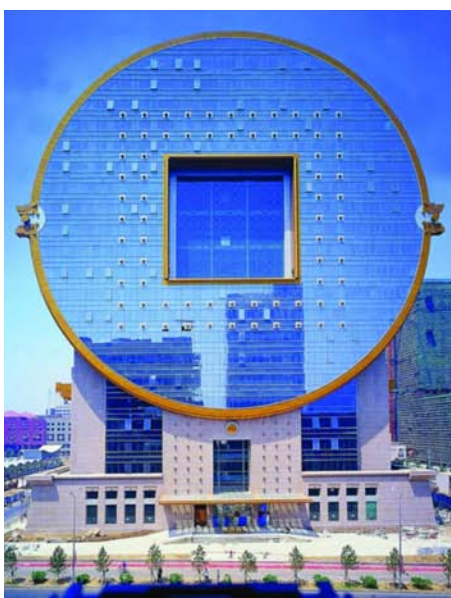


Figura 49. Edificio Fang Yuan.

C.Y. lee & PARTNERS 李祖原聯合建築師事務所 • *fang yuan mansion Shenyang*. (s/f). *C.Y. LEE & PARTNERS* 李祖原聯合建築師事務所 • Fang Yuan Mansion Shenyang. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <https://www.cylee.com/project/Fang-Yuan-Mansion-Shenyang>

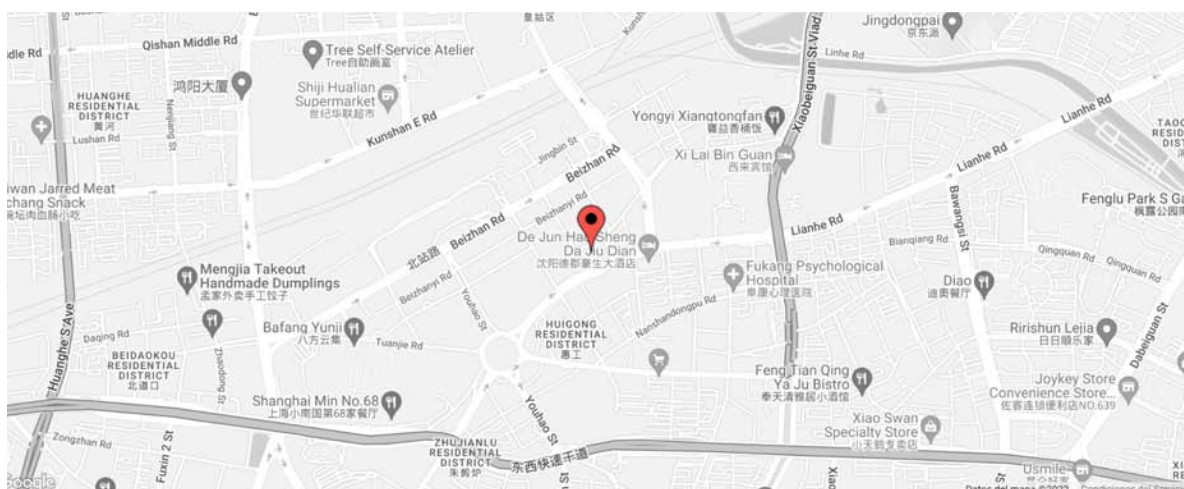


Figura 50. Ubicación del edificio Fang Yuan

C.Y. lee & PARTNERS 李祖原聯合建築師事務所 • fang yuan mansion Shenyang. (s/f). C.Y. LEE & PARTNERS 李祖原聯合建築師事務所 • Fang Yuan Mansion Shenyang. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <https://www.cylee.com/project/Fang-Yuan-Mansion-Shenyang>

El *Zhuoyue-Huanggang Century Centre* está ubicado en Shenzhen, China. Esta obra está constituida por 4 torres con distintas alturas, la torre más alta tiene 280 metros de altura, la siguiente torre más alta cuenta con 260 metros de altura. Las cuatro torres se pueden observar en la figura 51.



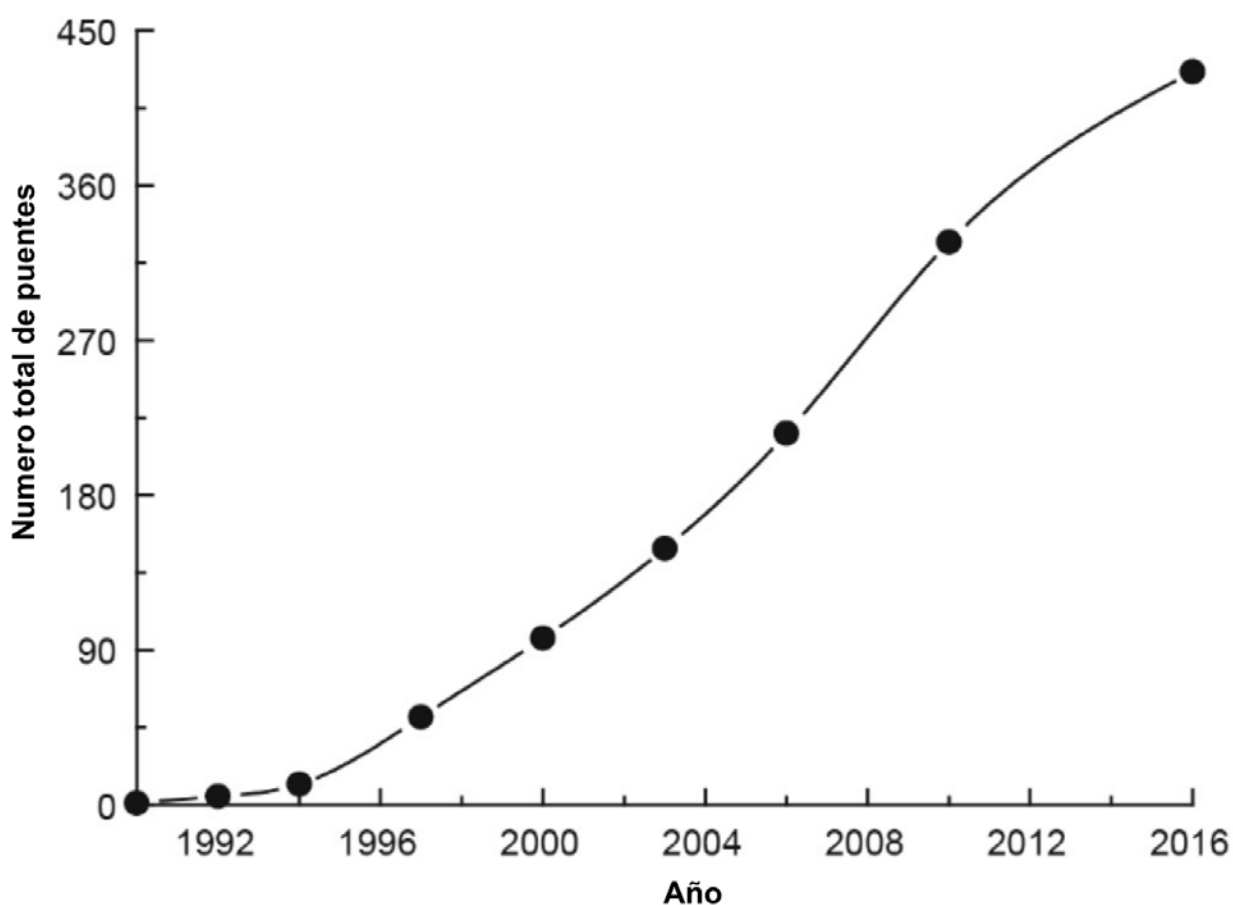
Figura 51. Zhuoyue-Huanggang Century Centre

Shenzhen excellence century center. (2021, mayo 16). Www.leoadaly.com; LEO A DALY.

<https://leoadaly.com/project/shenzhen-excellence-century-center/>

2.4.5.2.- Infraestructura de movilidad

Si bien no es el motivo de este trabajo, es importante mencionar que el uso de los elementos estructurales mixtos en otros ámbitos distintos a la edificación también han sido implementados. Uno de estos ámbitos siendo los puentes, y es que de acuerdo al trabajo escrito de nombre *Concrete-Filled Steel Tube Arch Bridges in China* desde 1990 hasta nuestra época, en China, ha habido un incremento de puentes en arco que utilizan elementos compuestos, esto lo podemos ver reflejado gráficamente en la gráfica 1.

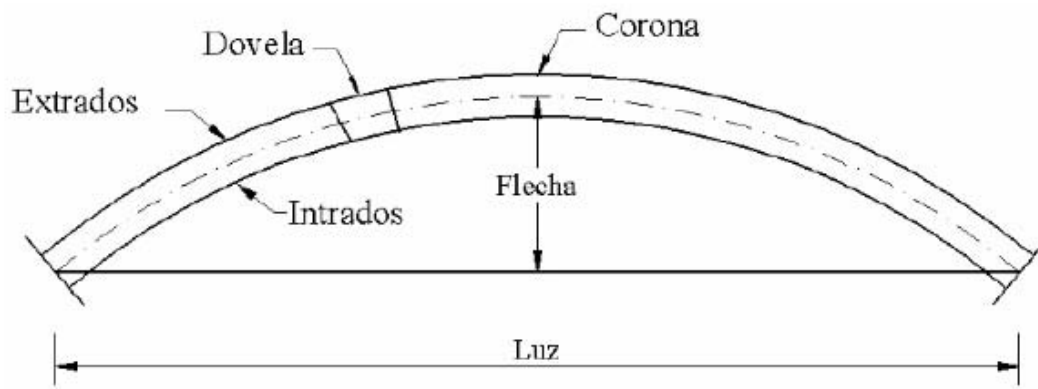


Gráfica 1. Número de puentes en arco en China con elementos estructurales compuestos a través de los años.

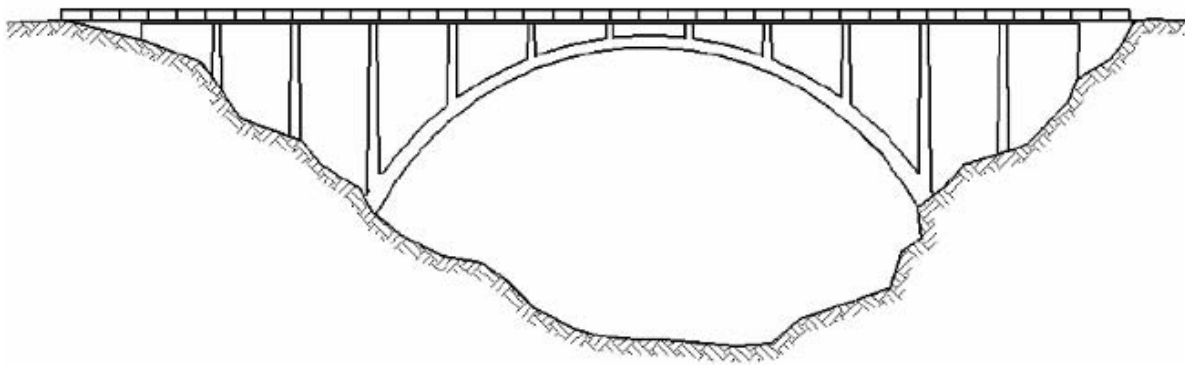
Zheng, J., & Wang, J. (2018). Concrete-filled steel tube arch bridges in China. *Engineering (Beijing, China)*, 4(1), de la página 145: .143–155. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.003>

Ahora en este trabajo se habla específicamente del uso de elementos tubulares de acero rellenos de concreto, entonces es un uso limitado que no se expande al uso de perfiles de acero embebidos en concreto.

En este trabajo también se muestra una gráfica en donde podemos ver que conforme fueron pasando los años el vano (también llamado *luz*, hace referencia a la envergadura o distancia que hay entre un apoyo y otro del arco de estos puentes), de este tipo de puentes fue aumentando, en gran parte esto fue por el procedimiento constructivo/ensamblaje que se fue desarrollando y que fue de gran utilidad para estas construcciones. En la figura 52 se muestra la nomenclatura que se usa normalmente para los puentes en arco y un ejemplo de ellos. Y en la gráfica 2 se puede observar el incremento del vano en los puentes en arco de China conforme aumentan los años.



Nomenclatura de un arco

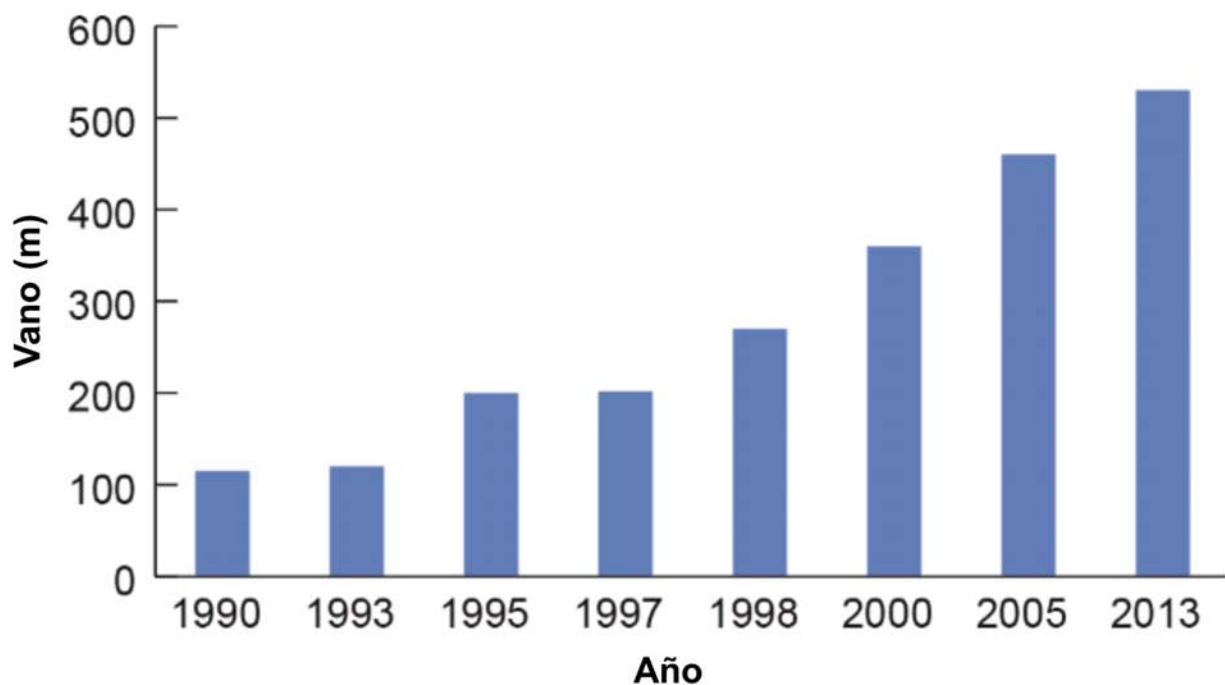


Arco de Concreto

Figura 52. Nomenclatura de un arco

PUENTES ARCO. (s/f). Cuevadelcivil.com. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de

<https://www.cuevadelcivil.com/2010/09/puentes-arco.html>



Gráfica 2. Incremento del vano en los puentes en arco en China a través de los años.

Gráfica obtenida de: Zheng, J., & Wang, J. (2018). Concrete-filled steel tube arch bridges in China. *Engineering (Beijing, China)*, 4(1), 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.003>

Página 145.

Un puente en arco de este tipo que podemos mencionar es el puente Zhaohua sobre el río Jialing en la región Sichuan en China, considerado uno de los 10 puentes en arco con mayor longitud en el mundo. Este puente cuenta con un vano de aproximadamente 350 metros y se puede observar en la figura 53.



Figura 53 . Puente Zhaohua sobre el río Jialing, Sichuan, China.

File:ZhaohuaJialingenbridge.Cn.Jpg. (s/f). Highestbridges.com. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <http://highestbridges.com/wiki/index.php?title=File:ZhaohuaJialingenbridge.cn.jpg>

3.- PROCESO CONSTRUCTIVO DE COLUMNAS MIXTAS

En este capítulo se verá de manera breve el proceso constructivo que se tiene que llevar a cabo para la construcción de una columna mixta en general, para tener un panorama más amplio.

3.1.- Proyecto Ejecutivo y Proyecto de Fabricación

Se debe contar con un proyecto ejecutivo y de fabricación, esto es un proyecto estructural que marcará el camino para poder realizar el procedimiento constructivo adecuado y con los materiales que se piden en dicho proyecto.

Los planos estructurales deberán de estar avalados por un ingeniero en Corresponsable de Seguridad Estructural (CSE), y un Director Responsable de Obra (DRO), para garantizar su correcto diseño y asegurar que estructuralmente el edificio es capaz de resistir las cargas de las solicitaciones que se presentarán en la estructura, así como poder resistir sismos y en caso de una estructura esbelta también fuerzas de viento y cualquier otra fuerza natural que se pueda presentar en el sitio.

El proyecto de fabricación está conformado por todos los planos y documentos en donde se especifiquen procesos constructivos, desde los más generales hasta los más específicos. Por ejemplo este debe de contener especificaciones del habilitado del acero de refuerzo, planos topográficos que se necesitan cumplir al momento de realizar la obra para poder garantizar que se está cumpliendo debidamente el trabajo. Especificaciones acerca del montaje de elementos estructurales, estos pueden ser planos de montaje en donde se defina el medio por el cual se realizará la maniobra, pueden ser diferenciales o por medio de grúas, ya sea la típica grúa torre o alguna otra clase de grúa.

3.2.- Fabricación del Acero Estructural (Perfiles de Acero)

Los perfiles de acero son elementos pre-fabricados, de acuerdo con el proyecto estructural estos perfiles son encargados a una empresa que se dedica a fabricar y distribuir este material.

Una vez que el material es transportado a la obra, de igual manera que con el acero de refuerzo, se utiliza una grúa para poder descargar el material del camión de transporte y colocarlo en el lugar de almacenamiento dentro de la obra, todo esto siguiendo una logística dentro de la obra para poder disponer del material en el momento y lugar requeridos.

Para el montaje de los perfiles de acero es necesario utilizar una grúa y personal capacitado (maniobristas y herreros), para poder colocar de manera muy cuidadosa el perfil en el lugar correspondiente, y después poder asegurar el perfil en su lugar por medio de uniones especificadas en el proyecto estructural, de fabricación y en los planos de uniones. Una vez que se ha asegurado de la manera adecuada el perfil de acero es seguro desvincularlo de la grúa.

3.3.- Habilitado del Acero de Refuerzo (Varillas de Acero Corrugado)

Como ya se mencionó en el capítulo pasado, el acero de refuerzo se utiliza comúnmente en las columnas mixtas con perfiles de acero embebido, esto es para darle mayor rigidez a la columna, ya que la mayoría de los esfuerzos son tomados por el concreto y por el perfil de acero.

El acero de refuerzo tiene que ser colocado de la manera en la que se ha indicado en los planos estructurales, cuidando mucho el despiece de las varillas también siguiendo las indicaciones de las normas correspondientes, como por ejemplo que no todas las varillas de traslapen en el mismo punto, ya que esto generaría una zona en el área transversal de la

columna en donde estaría más propensa a un fallo, sino traslapar las varillas de manera dispersa para que no todos los traslapes queden a una misma altura.

Dependiendo del proyecto y del elemento estructural, se manda a pedir el acero que se necesite, tanto en cantidad como con las características que se requieran, este material se transportará del sitio de elaboración a la obra en construcción por medio de un camión, y ya en obra se procederá a descargar el material del camión. Dependiendo de la cantidad y del calibre de la varilla, así como del lugar en donde se almacenará el material dentro de la obra, en la descarga del material es probable que sea necesario utilizar una grúa, tanto para descargar el material del camión de transporte como para colocarlo en el lugar donde se almacenará el material dentro de la obra, para tenerlo a disposición en el momento que se requiera habilitar el acero de refuerzo.

El habilitado del acero es llevado a cabo de manera manual por los herreros que se requiera usar para el elemento estructural. El habilitado consiste en izar el acero longitudinal e ir colocando el acero transversal (estribos). Esto requiere de cortes, amarres y pliegues en el acero, dependiendo del calibre de la varilla esto puede ser llevado a cabo de manera manual o con algunas herramientas/maquinarias especiales para realizar estos trabajos.

Al final se deja el acero de refuerzo ya habilitado y listo para que se continúe con el siguiente proceso, que sería el colado de la columna.

3.4.- Fabricación del Concreto Pre-Esforzado

Si bien es raro que en las columnas mixtas hayan elementos pre-esforzados, porque esto conlleva a que tenga que ser igual un elemento pre-fabricado, es importante mencionarlo porque en un capítulo más adelante se verá cómo se pueden implementar este tipo de materiales en las columnas mixtas.

El concreto pre-esforzado lo fabrica alguna empresa especializada en este tipo de materiales, ya que se necesitan de instalaciones especiales para poder post-tensar o pre-tensar (según sea el caso), el acero, así como de un laboratorio para realizar las pruebas necesarias para garantizar que su elaboración fue de acuerdo a las normas pertinentes para este tipo de estructuras. Estas empresas deben de contar con su propia cimbra o moldes para poder elaborar estos elementos.

3.5.- Colocación de Cimbra

Una vez que se tienen todos los elementos de acero de la columna es momento de ir preparando el vaciado del concreto en ella, y para esto se tiene que colocar la cimbra, como ya vimos en un capítulo anterior de este trabajo se tendrá que poner la cimbra de contacto y la obra falsa para que soporte la presión que el concreto ejercera al momento de ser vertido sobre el molde de la cimbra.

La colocación de cimbra de madera puede ser llevada a cabo de manera manual, sin embargo, para cimbras metálicas puede ser necesario utilizar una grúa para poder izar la cimbra en lo que la mano de obra procede a sujetar de manera adecuada la cimbra con sus uniones.

En la figura 54 se observa la colocación de cimbra de contacto de madera para una columna de concreto reforzado de área transversal cuadrada.



Figura 54. Colocación de cimbra de madera para columna cuadrada.

Salgado, P. T. U. C. C. [@PlaneaTuCasaConRigoSalgado]. (2015, octubre 5). *Cimbra de Madera en Columna Para Casa Habitación*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=gPKg8wCwtFc>

De igual forma como ya se vio en un capítulo pasado de este trabajo la cimbra puede ser metálica o de madera, y en cualquier caso se deberá de poner en las caras de contacto el material correspondiente para que después de que se vierta el concreto y este mismo seque se pueda quitar la cimbra con facilidad.

3.6.- Colado

El siguiente paso que se debe llevar a cabo es verter el concreto sobre el molde de la columna que se genera con la cimbra y con los elementos de acero que quedarán embebidos en el concreto, a este procedimiento se le conoce como “colado”.

El concreto puede ser hecho en obra (teniendo ya los materiales necesarios que son agua, arena, grava y cemento), o puede pedirse a una empresa concretera y esta transporta el material en camiones especiales llamados “camiones mezcladores”, “camiones mixer” o

“camiones revoladora”, que cuentan con una revoladora para mantener el concreto en su estado líquido, este transporte no debe de ser mayor a una hora y media, y a estos camiones coloquialmente se les llama “trompos”.

Para obras grandes o de gran importancia lo común es que se pida el concreto a una empresa concretera, ya que normalmente estas empresas tienen un mejor control de calidad que la que se podría tener si la mezcla se hace en obra, pudiendo así asegurar características importantes del concreto como su fluidez, su resistencia y alguna otra característica especial que se necesite del concreto de acuerdo al proyecto estructural o de acuerdo con la logística del procedimiento constructivo.

Una vez que llega la revoladora a la obra se procede a comenzar con el colado del elemento estructural, el vaciado del concreto como tal puede ser por 4 medios distintos: el tiro directo, con bacha, bombeado o con equipos automáticos.

El tiro directo es tal cual el vaciado del concreto directamente de la revoladora del camión, sin embargo este método solo se utiliza para cimentaciones superficiales y para losas de alguna planta baja de fácil acceso. Para columnas se puede utilizar bacha, bombeando el concreto o con equipos automáticos.

La bacha es una herramienta que funciona como un contenedor con forma cónica, esta se llena del concreto al nivel del suelo y por medio de una grúa es elevada a la altura deseada y una vez colocada en la posición requerida se libera la parte de abajo de la bacha dejando caer el concreto almacenado en ella por medio de la fuerza de gravedad. El concreto en la bacha se puede liberar por descarga vertical, descarga con canaleta y descarga con trompa de elefante, esos distintos tipos de descarga se pueden observar en la figura 55.



Figura 55. Ilustraciones de una bacha y sus modos de descarga. 1.- descarga vertical, 2.- descarga con canaleta y 3.- descarga con trompa de elefante.

Euromaquinaria [@EUROMAQ]. (2022, junio 14). *Bacha para concreto*. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=81pkETAW27E>

El concreto bombeado es por medio de tuberías y una bomba, estas tuberías pueden ser de distintos materiales, pero el concreto debe de ser pedido a la concretera con la característica de que pueda ser bombeable ya que de otro modo el concreto no podría llegar a su destino a través de la tubería, aún así si no se le da un mantenimiento adecuado a la tubería, si la bomba no tiene la potencia suficiente o si el concreto llega tarde a su destino puede haber el riesgo de que la tubería se tape y esto representa un gran problema al momento del colado.

A continuación en la figura 56 se muestran las tuberías que se utilizan para el concreto bombeado.



Figura 56. Tuberías para concreto bombeado.

Salazar, E. (2014, julio 22). *Tubería Para Bombas de Concreto, Como se usan?* BLOG CIPALA | Tubería, Accesorios y repuestos para bombas de concreto.

<https://grupocipala.wordpress.com/2014/07/22/tuberia-para-bombas-de-concreto-como-se-usan/>

Y en los equipos automáticos podemos tomar como ejemplo principal a la maquinaria llamada Placing-Boom, la Placing-Boom sirve para poder colar “directamente” elementos estructurales, y funciona con concreto con características óptimas para que sea bombeable, y con ayuda de la bomba lleva el concreto desde el camion con revolvedora hasta el piso y lugar deseado, esta maquinaria se puede observar en la figura 57, y en la figura 58 se muestran sus partes principales.



Figura 57. Placing-Boom en colado.

36/40 meter Z-Fold Placing Boom. (s/f). Allianceconcretepumps.com. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <https://www.allianceconcretepumps.com/concrete-pumps/36-meter-z-placing-boom.php>

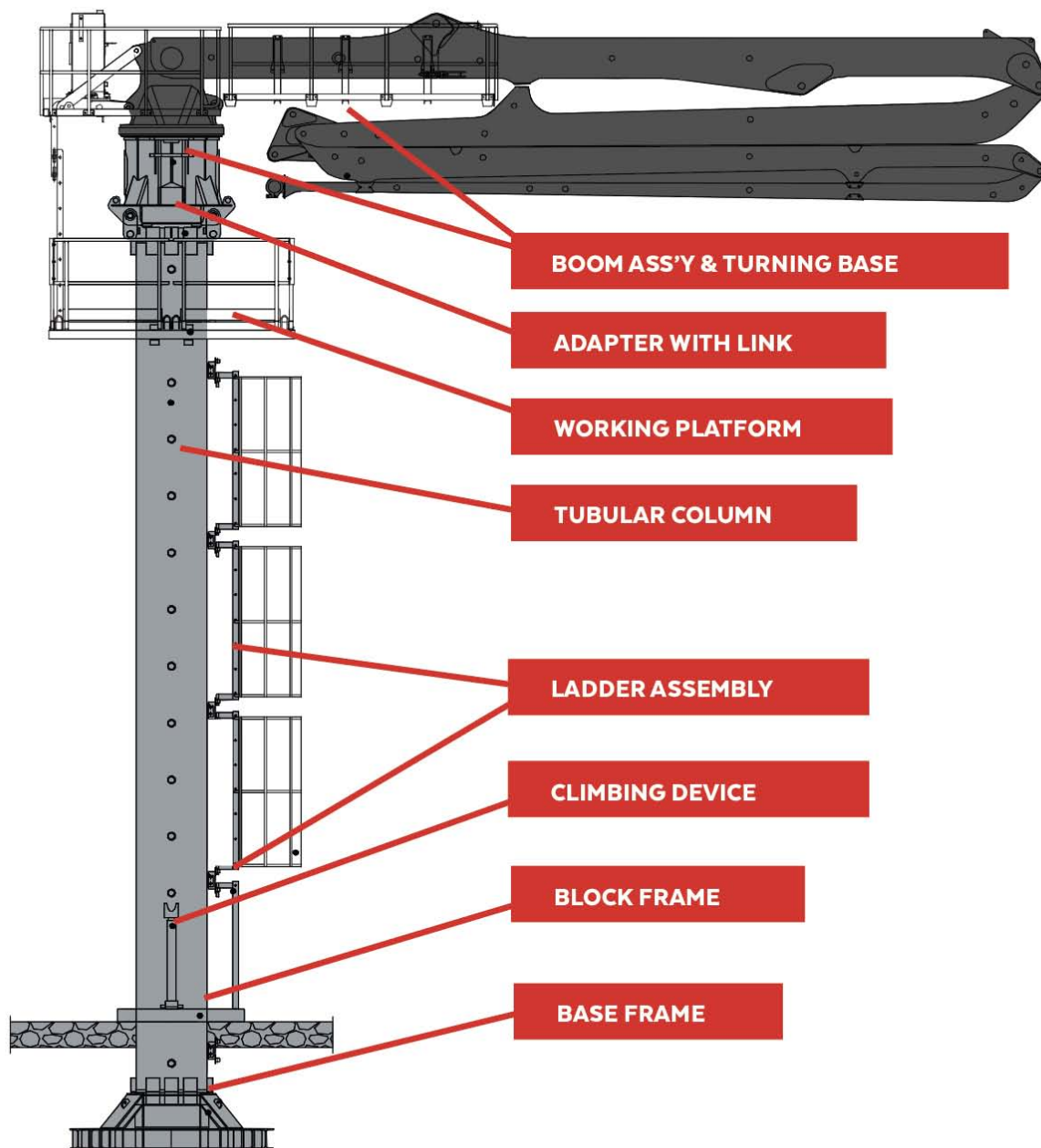


Figura 58. Partes de la Placing-Boom.

36/40 meter Z-Fold Placing Boom. (s/f). Allianceconcretepumps.com. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de

<https://www.allianceconcretepumps.com/concrete-pumps/36-meter-z-placing-boom.php>

Y no podemos dejar de lado el vibrado del concreto, al momento de estar vertiendo el concreto en la cimbra debe de haber personal vibrando el concreto para quitar los vacíos y que la mezcla no se disgregue en la columna, y que esta quede colada homogéneamente con una resistencia uniforme en toda la columna.

En la figura 59 se muestra el equipo de vibrado y como se está vibrando el concreto al momento del colado de una losa.



Figura 59. Vibrado de concreto en una losa.

Astúa, G. (2021, marzo 21). *5 recomendaciones para un correcto vibrado del concreto*. Terra Equipos | Alquiler de Equipos para la Construcción. <https://terraequipos.com/recomendaciones-vibrado-del-concreto/>

Una vez que este trabajo quede terminado se procederá a curar el concreto, es decir humedecer la columna después de que se termine de colar durante los siguientes 28 días (esto de manera ideal). Una vez que pasen los 28 días (o el tiempo necesario para que la columna adquiera una resistencia suficiente). Y al final se quitará la cimbra.

En la figura 60 se muestra una ilustración sencilla del curado de una columna de concreto armado.



Figura 60. Ilustración del curado de concreto.

Facebook. (s/f). Facebook.com. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de

https://www.facebook.com/expedientetecnicos/photos/a.901091499922502/1912789455419363/?type=3&locale=hi_IN

Este proceso es muy similar al que se seguiría en el colado de una columna de concreto reforzado común.

3.7.- Supervisiones de Trabajo

Como en todos los trabajos, la supervisión es una parte muy importante de este proceso. Esta puede estar a cargo de la misma empresa constructora (si esta tiene una supervisión interna ya previamente establecida en la compañía), que el cliente puede contratar, o también el cliente puede optar por contratar a otra empresa (diferente de la constructora), para llevar a cabo la supervisión (esta última es la opción que se usa comúnmente).

La empresa que lleva a cabo la supervisión debe de estar pendiente de los procedimientos constructivos, de los materiales y de su calidad, que todas las pruebas que se

lleven a cabo de los materiales y las uniones cumplan con lo establecido en el proyecto estructural y con las normas aplicables ante la ley, que se sigan los procesos como se estipulo desde un principio en el proyecto.

Esta también está encargada de supervisar los documentos que se deben de seguir al pie de la letra, documentos como formatos de autorización de colado, especificaciones del colado, revisiones de conexiones, etc.

La supervisión debe de dar el visto bueno de todos y cada uno de los procesos constructivos y de los materiales que se utilizaran en la obra, si algo no pasa por supervisión no puede ser tomado como un trabajo realizado. En la figura 61 se ejemplifica el trabajo de supervisión de obra.



Figura 61. Supervisión de obra.

Coordinación de Obra (Supervisión y Administración). (s/f). Consultoría en proyectos - consulpro. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de

<https://www.consultoriaenproyectos.mx/nuestras-especialidades/coordinacion-y-supervision/supervision-y-administracion-de-obra.html>

Una cosa en específico que se tiene que revisar son las soldaduras, y esto se puede hacer por medio de formas WPS y PQR. WPS son las siglas de Welding Procedure Specification (Especificación de procedimiento de soldadura), y este es básicamente como una receta que menciona paso a paso cómo se debe de realizar una soldadura. PQR son las siglas de Procedure Qualification Record (Registro del procedimiento de calificación), y es básicamente las variables que vas a calificar de la soldadura, dicho de otro modo con este formato se define si la soldadura está bien o mal hecha.

En la figura 62 se ejemplifica el trabajo de soldadura entre una columna y una trabe de acero.

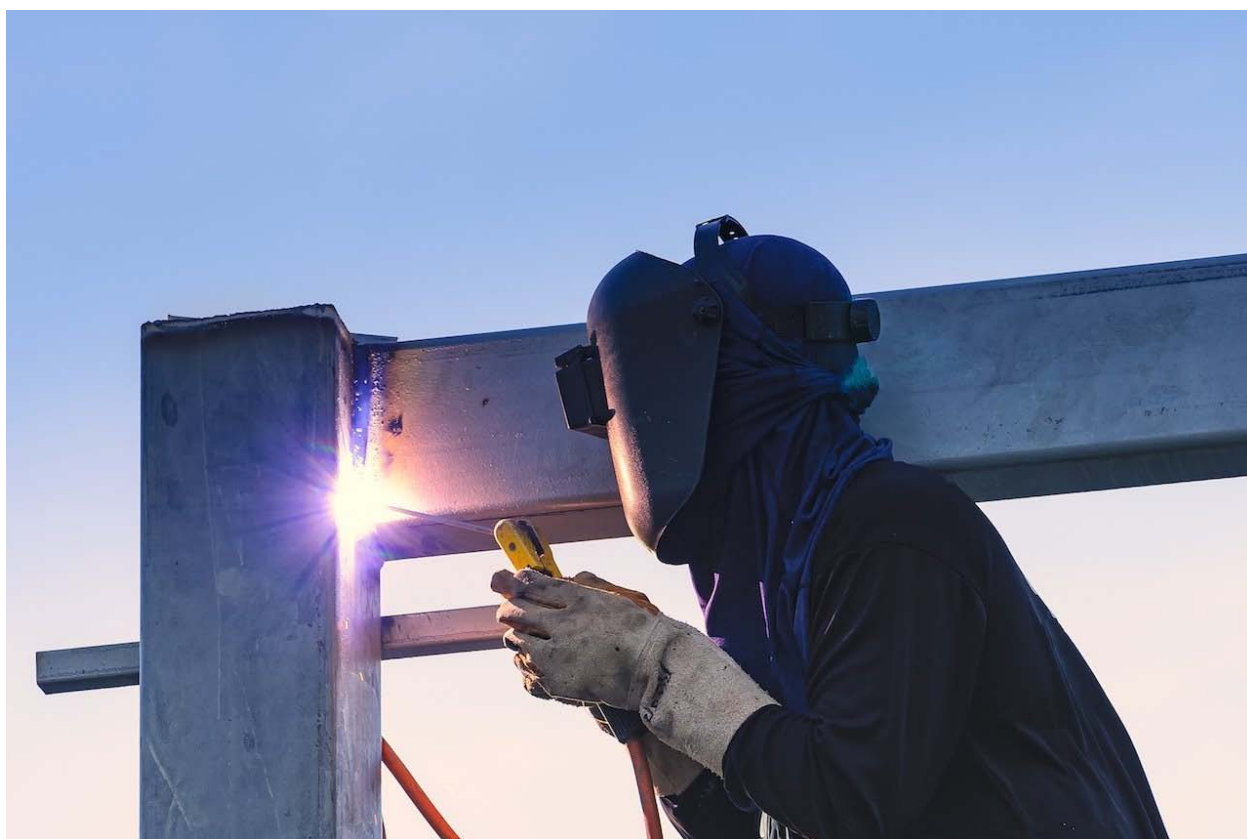


Figura 62. Soldadura de dos perfiles de acero.

IPEControl. (2018, diciembre 3). *Inspección de soldaduras: 5 técnicas básicas*. IPE Control.

<https://ipecontrol.com/inspeccion-de-soldaduras/>

En las columnas mixtas lo que tiene que cuidar la supervisión son las uniones, la calidad de los materiales y el procedimiento de colado (desde que se vacía el concreto hasta que se descimbra la columna).

3.8.- Ejemplo de Proceso Constructivo de un Tipo de Columna Mixta

En este apartado se verá como ejemplo una construcción en donde se implementaron columnas mixtas, la obra que se estará analizando en este punto está conformada por un centro comercial, y en la azotea del centro comercial tendrá dos torres, una que tendrá la función de oficinas y otra para departamentos.

El conjunto tendrá un total de 42 niveles, y 11 niveles de estacionamiento, siendo los sótanos 1, 2, 3 y 4 destinados para el centro comercial, y el resto de los sótanos para estacionamiento de las oficinas y los departamentos.

En la figura 63 se muestra el conjunto de sótanos de la construcción que se tomará como ejemplo.



Figura 63. Sótanos.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

Este conjunto está ubicado en la Ciudad de México, cerca del metro “Patriotismo”. El centro comercial y las oficinas son financiadas por varias empresas, mientras que los departamentos se comenzarán a financiar con las preventas de estos mismos.

La estructura cuenta con aisladores sísmicos, tanto en el nivel de planta baja (entre planta baja y sótano 1), como en en el conjunto de elevadores en varios pisos (es decir que el área en donde se encuentran los elevadores tienen aisladores sísmicos no solo en un nivel, sino en varios, aunque estos aisladores sísmicos son pequeños en comparación con los que se encuentran en el área general del edificio entre el sótano 1 y planta baja), esto para que en

caso de que ocurra un sismo el período sísmico de los elevadores no coincida con el período sísmico del edificio, evitando que todo el conjunto completo se mueva más de lo esperado.

En la figura 64 se muestra un aislador sísmico del conjunto/cubo de elevadores, y en la figura 65 se muestra un aislador sísmico que se encuentra entre el sótano 1 y la planta baja del edificio.



Figura 64. Aislador sísmico de un conjunto de elevadores.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.



Figura 65. Aislador sísmico en planta baja, entre capitel y columna mixta.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En toda la construcción se están utilizando elementos estructurales pre-esforzados, y en el caso de las columnas también, solo que a diferencia de otros elementos estructurales en ellas también se están implementando varillas de acero corrugado como acero de refuerzo y perfiles cuadrados macizos o perfiles IPR, como acero estructural sumados a los elementos prefabricados, aparte de concreto de alta resistencia de $f'(c)=600 \text{ kg/cm}^2$.

3.8.1.- Elementos Pre-Esforzados

En el perímetro de las columnas se colocaron elementos pre-fabricados y pre-esforzados a los cuales se les llamaron “cascarones” que tienen la altura de los entrepisos. Sus funciones son que se presente un buen acabado y que sirvan para contener el concreto al momento del colado (aunque por la presión a la que salía el concreto bombeado por la maquinaria llamada *Placing-Boom* se tuvo que utilizar aparte cimbra metálica troquelada para que los cascarones no se tronaran), y que confinen al elemento estructural.

En la siguiente figura (figura 66), podemos observar una columna ya terminada con su unión a una viga, el tipo de conexión es por medio de una placa extrema. Podemos notar que el corte alrededor de la placa extrema de la viga en la columna es algo irregular, por lo que podemos asumir que esta unión no se tenía contemplada al principio, ya que de haber sido considerada se hubiera pedido que el cascarón prefabricado de la columna fuera diseñado desde un principio con el hueco para unión con la viga.



Figura 66. Union de columna-viga con corte irregular.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En las siguientes figuras (figura 67 y 68), podemos observar columnas mixtas ya terminadas, varias ya con sus uniones con vigas.



Figura 67. Columnas mixtas terminadas.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.



Figura 68. Columnas mixtas terminadas.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

Algunas de las columnas que se utilizaron para los sótanos fueron construidas para que fueran columnas mixtas, aunque están mezcladas con otras columnas que se construyeron de otras maneras (como comúnmente se construyen con varilla de acero de refuerzo y coladas in-situ, sin la implementación de los cascarones prefabricados). En la figura 69 se muestran las columnas de algunos de los niveles de sótanos de la construcción.



Figura 69. Columnas terminadas de los sótanos de estacionamiento.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En la siguiente figura (figura 70), podemos observar un pedazo de un cascarón pre-fabricado, de los que se utilizaron en las columnas mixtas. Como podemos observar cuentan con su propio armado de varillas que sirven como acero de refuerzo y que está pre-esforzado. También podemos notar que en el interior del cascarón cuentan con una textura apropiada para que el concreto que se verterá dentro de ellas se pueda sujetar bien a los cascarones una vez que el concreto termine de fraguar.



Figura 70. Pedacera de “casarón” pre-fabricado.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

Se puede observar en la siguiente figura (figura 71), una columna mixta ya terminada, solo que esta a diferencia de las que observamos anteriormente, tiene una relación de esbeltez mayor, teniendo que abarcar 3 entresijos sin ningún tipo de arriostramiento ni soporte entre la parte inferior y superior de la columna. Aunque esto podría cambiar, si se requiere algún tipo de soporte extra esté se puede implementar posteriormente.



Figura 71. Columna terminada con altura de 3 entresijos.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En la figura 72 podemos observar una columna mixta que ya está terminada, y que sobresalen varillas corrugadas que servirán para la conexión con la viga que se construirá posteriormente, podemos destacar que a diferencia de otras columnas la unión viga-columna será por otro medio, incluso pudiendo ser para una viga colada in-situ, como normalmente se acostumbra.

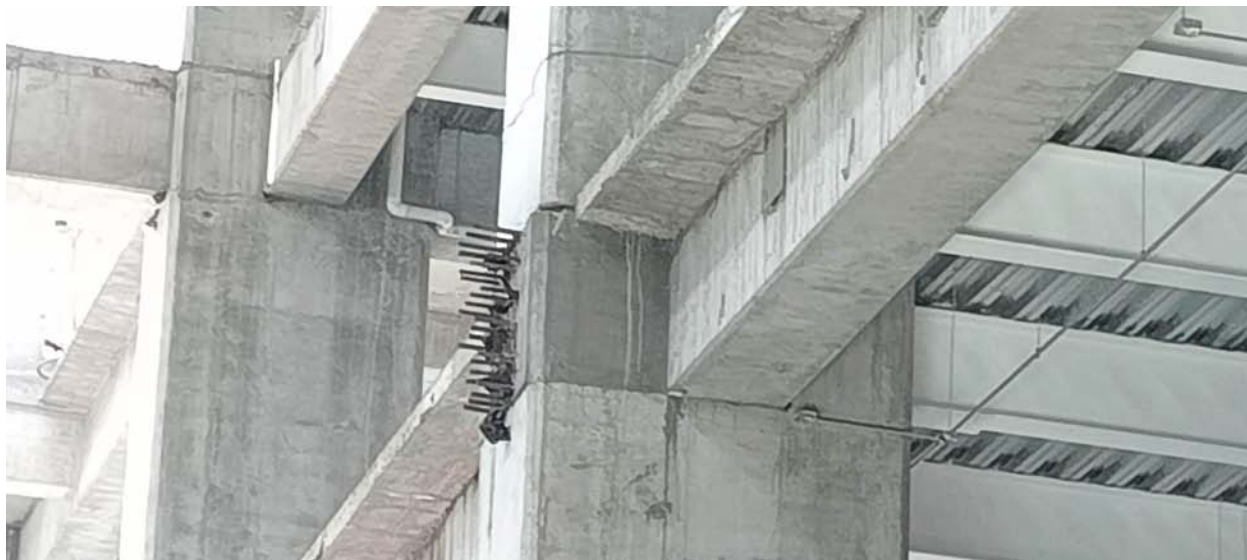


Figura 72. Nodo de entrepisos con columnas terminadas y preparación para unión viga-columna.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En esta obra hubieron casos donde el cascarón de la columna se ha agrietado debido a la presión que ejerce el concreto al momento de realizar el colado, este tipo de incidentes se comunican a la brevedad con el ingeniero estructurista, y él deberá de verificar la integridad de la columna y determinar si es apto ó no el mantener el elemento estructural.

En la figura 73 podemos observar una columna con una ligera grieta que pasa cerca del cartel de “no fumar”, esta grieta ya se examinó y se llegó a la conclusión que es una grieta superficial, formada por temperatura, y que no habrá mayor problema con ella. Cuando este tipo de grietas no representan una falla estructural se opta por “chulear” la columna (es decir se le da una capa de algún acabado para meros fines estéticos).



Figura 73. Columna terminada que presenta una grieta por temperatura.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

Como se mencionó anteriormente en este capítulo el edificio cuenta con aisladores sísmicos tanto en la estructura general en planta baja, como en los conjuntos de elevadores en varios niveles. En las siguientes figuras (figuras 74, 75 y 76), podemos observar los aisladores sísmicos que están bajo una columna mixta entre el sótano 1 y la planta baja.



Figura 74. Unión viga-columna en nodo de entre piso entre sótano 1 y planta baja.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

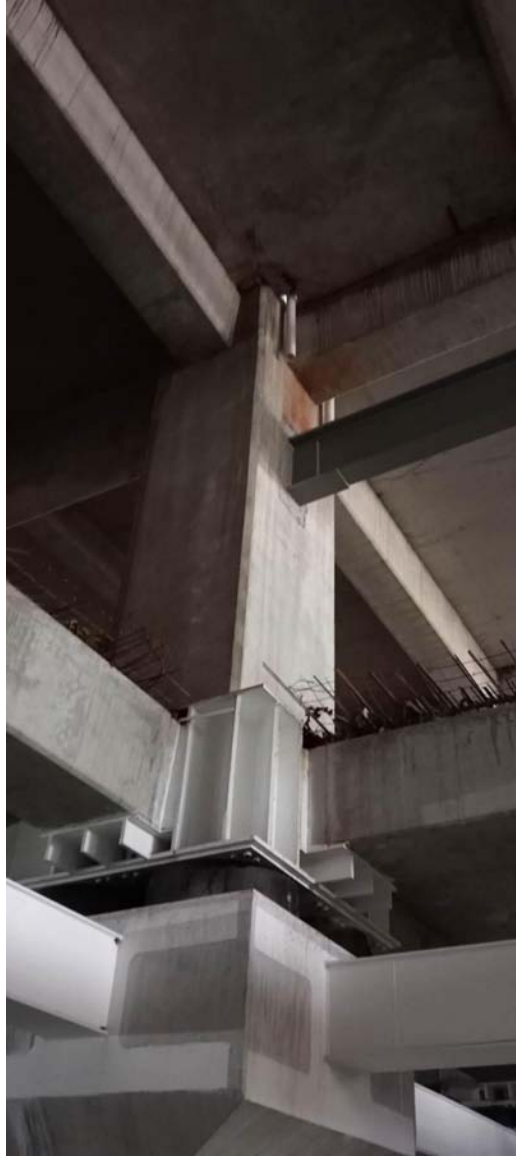


Figura 75. Columna terminada entre sótano 1 y planta baja.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.



Figura 76. Columna terminada con aisladores sísmicos en su nodo.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

3.8.2.- Acero de Refuerzo (Varillas de Acero Corrugado)

El acero de refuerzo se realizó, como lo es típicamente, por medio de varilla de acero corrugado. Algo importante a mencionar es que la unión entre las varillas longitudinalmente (despiece), se realizó por medio de conectores de acero de refuerzo, y no por soldadura ni ningún otro medio.

En las figuras 77 y 78 se muestra el acero de refuerzo longitudinal de varias columnas.



Figura 77. Acero de refuerzo en una columna mixta.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.



Figura 78. Armado de acero de refuerzo en columnas mixtas.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

Las varillas longitudinales que se utilizaron para el armado del acero de refuerzo son arriba del No. 8, y como en todas las construcciones, se aseguraron de realizar un despiece adecuado ya que no puede haber uniones a la misma longitud de todas las varillas porque provocaría un punto débil en la columna.

En las figuras 79 y 80 se muestran las puntas de varillas de acero corrugado de dos columnas.

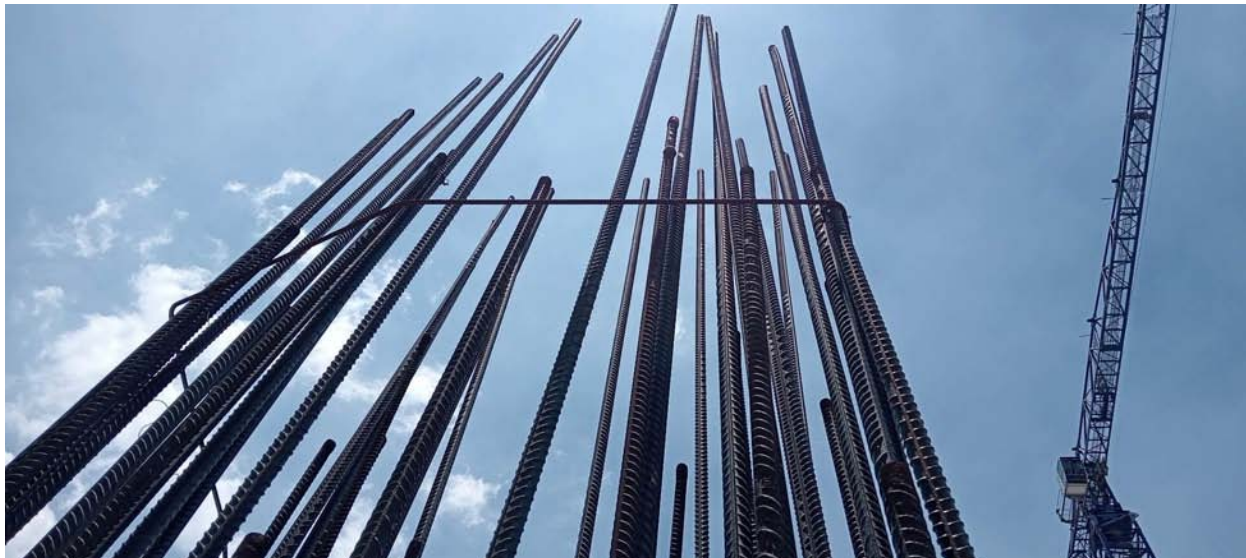


Figura 79. Despiece de varillas de acero corrugado (acero de refuerzo), de una columna.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.



Figura 80. Acero de refuerzo de continuación sobre columnas ya terminadas.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En la figura 81 se muestran algunos elementos prefabricados (trabes), junto al armado de acero de columnas.



Figura 81. Armado de acero de refuerzo de columna junto a elementos estructurales pre-fabricados en el 8vo piso.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

En los nodos de unión entre las columnas y las trabes podemos observar como el acero de refuerzo se entrelaza para que quede una buena unión entre ambos elementos estructurales, esto se puede observar en las figuras 82, 83 y 84.

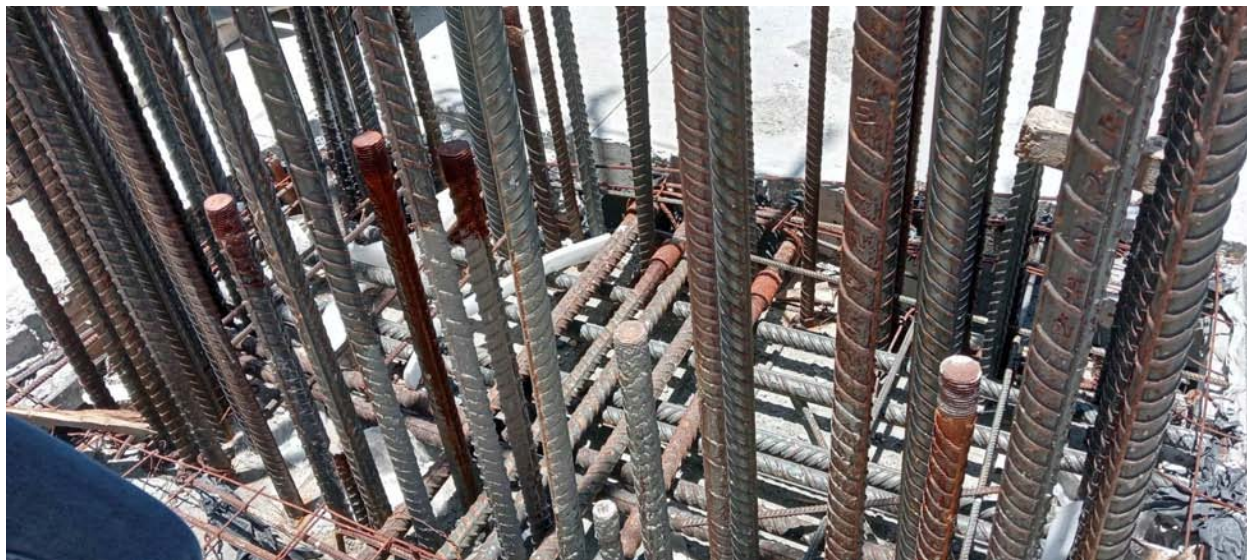


Figura 82. Armado de acero de refuerzo en nodo de una columna.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.



Figura 83. Armado de acero de refuerzo en nodo de una columna.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

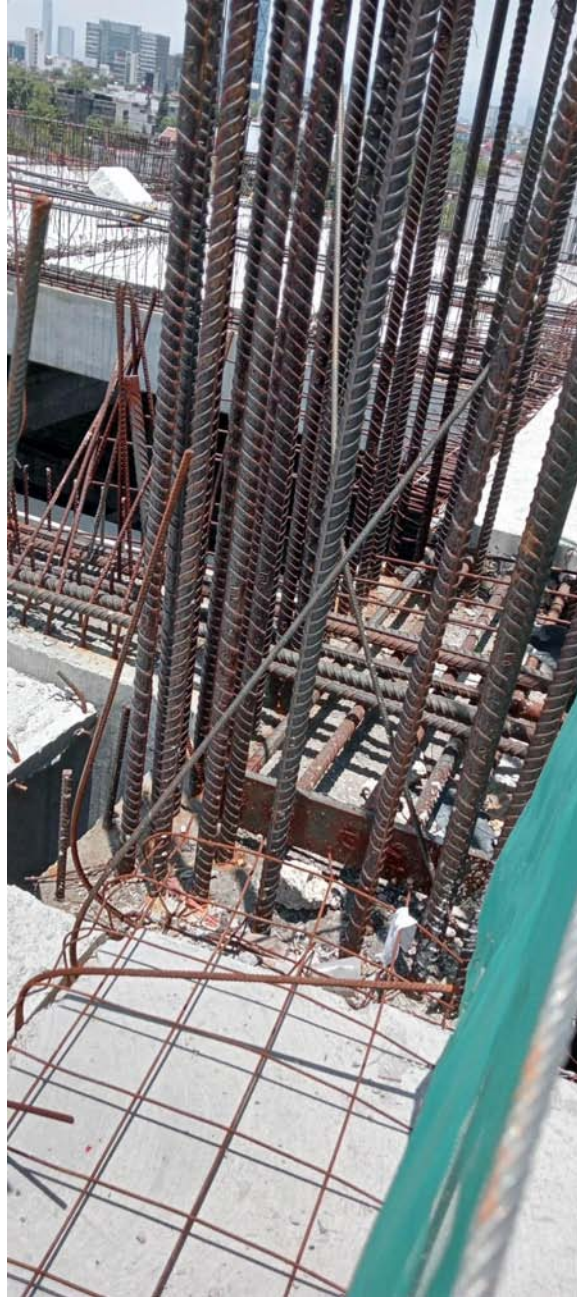


Figura 84. Acero de refuerzo en nudo de una columna.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

3.8.2.1.- Conectores Mecánicos de Acero de Refuerzo

Los conectores de acero de refuerzo son el medio por el cual se lleva a cabo la conexión del despiece del acero longitudinal de refuerzo de las columnas de esta construcción,

y que consta de cilindros cortos de acero con cuerda interior las cuales se van a enroscar en la varilla inferior y superior por medio de una cuerda (que también se les realiza a las varillas de acero corrugado en los extremos). En la figura 85 se puede observar la punta de una varilla de acero corrugado ya con la cuerda hecha y el conector a su vez unido con otra varilla de acero corrugado.



Figura 85. Ilustración de conector roscado para varillas corrugadas.

Estructuras y Construcción, T. [@teyconstruccion]. (2019, agosto 16). *COMO ELIMINAR LOS TRASLAPOS EN VARILLAS de refuerzo | Conectores*. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=x7taO17ORNc>

Esta técnica tiene como ventaja principal que no se desperdicia tanta varilla al momento de realizar las uniones, y también es de instalación rápida y sencilla. Una de sus desventajas es que se necesita de una preparación previa de la varilla para realizarle la cuerda para juntarla con el conector, este proceso se puede hacer en la obra por medio de una roscadora para realizar este trabajo, o se puede mandar a hacer con el proveedor de la varilla, este proceso varía dependiendo de los recursos económicos de la obra y del espacio que se encuentre en la misma, así mismo como de la logística de los trabajos. En la figura 86 podemos observar un ejemplo de este tipo de máquina.



Figura 86. Roscadora eléctrica Nilam modelo NI-100D1.

Roscadora Electrica De 1/2 A 4 Nilam Con Reversa Uso Rudo - \$ 48,600. (s/f). Com.mx. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-567599819-roscadora-electrica-de-12-a-4-nilam-con-reversa-uso-rudo-_JM?matt_tool=18267311&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=15700894205&matt_ad_group_id=154310709068&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=647375488532&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=705683925&matt_product_id=MLM567599819&matt_product_partition_id=1937549459681&matt_target_id=pla-1937549459681&gclid=CjwKCAjwkeqkBhAnEiwA5U-uM4qZqL4LkLc43cUh1QEyWzSVIMS4GbhyW2tp66E2csARzQCxYh2MHxoCQUsQAvD_BwE

Es importante mencionar que el esfuerzo de fluencia del conector tiene que ser mayor que el de las varillas, es decir que si el esfuerzo de fluencia de las varillas es $f_y=4200$ [kg/cm²], el de los conectores tiene que ser mayor a esté, pudiendo llegar hasta los 9000 [kg/cm²].

En la figura 87 se muestra una varilla de acero corrugado que ya tiene la cuerda hecha para ensamblarla con el conector.



Figura 87. Cuerda en un extremo de una varilla de acero corrugado utilizada para las columnas de la construcción del ejemplo.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

3.8.3.- Acero Estructural (Perfiles de Acero)

Los perfiles de acero que se utilizaron en las columnas mixtas son de un área transversal cuadrada y macizos, y perfiles IPR, esto dependiendo de su ubicación dada por el proyecto estructural. Se ubicaron 4 de estos perfiles por cada columna, colocando uno en cada esquina del perímetro formado por el acero de refuerzo.

El uso de estos perfiles queda sujeto al proyecto estructural, y de acuerdo a este mismo, algunas columnas mixtas que usan perfiles IPR pueden tener atiesadores entre ellos o pernos de cortante en ellos, pero todo basado en el proyecto estructural.

Es importante remarcar que si bien en la parte teórica de este trabajo se mencionaron columnas mixtas con un solo perfil de acero embebido, en esta construcción se utilizan hasta 4 perfiles de acero embebidos, lo cual hace que el área transversal de estas columnas sea de gran tamaño.

3.8.4.- Cimbra

Si bien los cascarones de concreto pre-fabricado que se utilizan en las columnas podrían ser utilizados como cimbras al momento de colarlas, la presión con la que sale el concreto (que es bombeado por un mecanismo que se mencionara más adelante en este trabajo), es tanta que puede llegar a dañar los cascarones incluso al punto de dejarlos inútiles para su propósito.

Es por este motivo aparte de los cascarones pre-fabricados también se le coloca una cimbra metálica troquelada alrededor de los cascarones al momento del colado, para que los cascarones no reciban por completo la presión y la cimbra le ayuda con eso.

En la figura 88 se muestra la cimbra metálica que se utiliza para colar las columnas en esta construcción.



Figura 88. Cimbra metálica utilizada para las columnas.

Imagen propia tomada en obra el 09/06/23.

3.8.5.- Montaje

Se comienza por montar el acero estructural (los perfiles de acero), después se habilita el acero de refuerzo (varilla corrugada), luego con ayuda de la grúa se colocan los cascarones pre-fabricados, luego se coloca la cimbra metálica y se troquela para que los cascarones no se fisuren al momento del colado, y al final se cuela la columna. Para terminar, se tiene que curar el concreto, y después de que pase el tiempo determinado por el proyecto en general y por las especificaciones en el proyecto estructural se procede a descimbrar.

3.8.6.- Colado

Al principio se utilizó la maquinaria llamada *Placing-Boom*, porque de acuerdo a un estudio salió más rentable utilizar esta maquinaria para las primeras etapas de la construcción,

y después de determinados pisos construidos se optó por utilizar un método más convencional de bombeo de concreto, ya que el área que se debía de cubrir para realizar los colados no sería tanta como al principio, y esto junto con un estudio de relación costo-beneficio se llegaba a la conclusión de que salía mas caro y menos productivo seguir rentando la *Placing-Boom* para las siguientes etapas de construcción.

En la figura 89 se muestra a una maquinaria placing-boom trabajando, aunque esto solo es de forma ilustrativa ya que la imagen no es de la construcción que se está viendo de ejemplo en este trabajo.



Figura 89. Placing-boom.

SELF CLIMBING PLACING BOOM VSPB17S. (s/f). Shanghai VOSTOSUN Industrial Co.,Ltd. Recuperado el 3 de marzo de 2024, de <https://www.vostosun.com/self-climbing-placing-boom-vspb17s-15542577117610448.html>

3.8.7.- Supervisión

Como en toda obra la supervisión de la obra se lleva a cabo mediante normas y pruebas de materiales en laboratorio, así como por documentos que avalan ante la ley que la obra se está cumpliendo en cuanto a tiempo y forma.

3.8.8.- Esquema de contratación de obra

El precio alzado es un pacto que se hace antes de empezar los trabajos, entre el contratante y el contratado, y cuyo valor no puede cambiar por ninguna circunstancia.

Los precios unitarios son más confiables, en ellos se hace un análisis de todo lo que involucra el trabajo, desglosándolo por partidas y subpartidas, y cada una de las subpartidas contiene a su vez conceptos de trabajo, se intenta que cada concepto de trabajo sea lo más específico posible para que no caiga en ambigüedades y se cubra por completo todos los trabajos que se van a realizar en esa construcción. Cada concepto está formado por sus partes principales, que son mano de obra, materiales y maquinaria. Cada una de estas partes tiene su precio y se analizan de acuerdo a su cantidad (medida en una unidad), y su rendimiento, es decir que tanto de ese insumo se necesita para realizar una medida en unidad del concepto que se está analizando.

4.- CONCLUSIONES

Las columnas mixtas pueden ayudar para reducir el área transversal que ocuparía una columna de concreto reforzado, no se requiere de mano de obra especializada para su colocación. Pero hay que tener especial cuidado al momento de diseñar la estructura.

Como se puede observar en el trabajo las columnas mixtas tienen tanto ventajas como desventajas y estas pueden caer en puntos medios entre las columnas de concreto armado y las columnas de acero, como ejemplo que el tiempo de montaje es inferior al tiempo de fabricación de una columna de concreto armado pero es superior a una columna de perfil de acero.

Pero su uso no debe de quedar sujeto a una sola variable, sino a muchas variables, para que su uso sea percibido como el óptimo el proyecto debe de requerir columnas resistente pero que no abarquen una gran área, deben de ser económicamente factibles pero sin abaratar costos en estos elementos a tal grado que no se garantice la seguridad del usuario, y debe de hacer efectivo el tiempo de montaje de la columna.

Y es ahí donde entran las columnas mixtas, ya que son columnas que resisten mucho pero que su área transversal no abarca el mismo espacio que abarcaría una columna de concreto armado, no son tan caras como mandar a fabricar un perfil con la resistencia necesaria para soportar cargas de gran magnitud sino que trabaja en conjunto un perfil de acero con concreto para satisfacer esas cargas, y su mayor ventaja, el costo.

Si bien se necesita de una inversión inicial mayor para las columnas mixtas, su tiempo de retorno de inversión es menor, ya que al ser más rápidas de instalar el tiempo de obra se reduce y eso a su vez significa un ahorro de insumos, y en posibles multas por atrasos en la obra. Precisamente este fue el caso de la obra que se vio de ejemplo en ese trabajo, ya que

debido a un amplio estudio se llegó a la conclusión de que este tipo de columnas era la mejor opción, en cuanto a resistencia, en cuanto a espacios, y en cuanto a economía.

Bibliografía

¿Qué es el triplay? (n.d.). Grupo Bajce. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <http://www.bajce.com/blog/post/que-es-el-triplay>

(N.d.). Org.au. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://aees.org.au/wp-content/uploads/2013/11/16-Yao.pdf>

(N.d.-e). Cloudfront.net. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64487273/CONCRETO_ESTRUCTURA_PROPIEDADES_Y_MATERIALES%20PDF%20PORTLAND.pdf?1600721093=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DConcreto_Estructura_propiedades_y_materi.pdf&Expires=1669356201&Signature=gH4Hsj0OiACRJLNZr2NxUIGBFwKceb15NMAXVe9YNMD5VvRzfcIrfd7mAqofsMNHgzB9XRAKy8L48425N2SEZbwYocQ2vKFDNhN6OY97d2v6UewBtwfbKWPfi4NOgZsmow7KNGaolLLzXo631WxcVgIqwvz4ObtasGLxOtfntTQkwOeug7Z9gbXZqBNcqhZHsMaM~n478jSisbMWTkyKShia8on54QbQ88pP4tXV~M2r~6XM~RY5BFFMMD4LYhEvJ9ijo6hmIPqXgNDAopfocJ-mK6eNtWxdBWjdj7k~1vwr7lSNhneZafwKdbfMNsOBDanHF~lDHwQD51HXoKqIjg &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

(N.d.-f). Com.Mx. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, from <https://www.trabis.com.mx/soluciones/otros/columnas/>

(S/f). Udlap.mx. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/gatica_g_jc/capitulo5.pdf

Antonia, T. (2021, Abril 11). *Cimbras de Madera En La Construcción: Importancia y Ventajas*. homify.com.mx; homify. https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/7879264/cimbras-de-madera-en-la-construccion-importancia-y-ventajas

Brotóns, P. U. (2010). *Construcción de estructuras metálicas*. Editorial Club Universitario.

C.Y. lee & PARTNERS 李祖原聯合建築師事務所 • *fang yuan mansion Shenyang*. (n.d.). C.Y. LEE & PARTNERS 李祖原聯合建築師事務所 • Fang Yuan Mansion Shenyang. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://www.cylee.com/project/Fang-Yuan-Mansion-Shenyang>

Cabrera, I. J. (2011, septiembre 27). *RESISTENCIA Vs. RIGIDEZ*. Civilgeeks.com; CivilGeeks. <https://civilgeeks.com/2011/09/27/resistencia-vs-rigidez/>

Clasificación DE Los Aditivos Según La Norma Astm 494. (n.d.). Idoc.Pub. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://idoc.pub/documents/clasificacion-de-los-aditivos-segun-la-norma-astm-494-on23p1dirolo>

Columnas mixtas de acero y hormigón. (2016, noviembre 24). Issuu.
https://issuu.com/wilderrojas1/docs/columnas_mixtas_de_acero_y_hormig___

Columnas Preesforzadas Diapositivas. (n.d.). Scribd. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://es.scribd.com/document/384900977/COLUMNAS-PREESFORZADAS-DIAPOSITIVAS>

De, C., Civil, I., Briones Vásquez, P. R., Gilmer, S., Hermes, I., & Mosqueira Ramírez, R. (s/f). *FACULTAD DE INGENIERÍA*. Edu.pe. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25361/Briones%20V%c3%a1squez%2c%20Pepe%20Riol%20-%20Silva%20Baz%c3%a1n%2c%20Gilmer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

de Cv, U. S. S. [@urbinascaffoldingsrldecv3593]. (2018, Abril 20). *Cimbra metálica para Columnas.* Youtube.
https://www.youtube.com/watch?v=1OGCYn_eS98

Definición de “Compresión”. Rae.Es. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://dle.rae.es/compresi%C3%B3n>

Fangyuan Mansion - Páginas [1] - Conocimiento enciclopédico del Mundo. (n.d.). Swewe.net. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de http://es.swewe.net/word_show.htm/?636816_1&Fangyuan_Mansion

Historia y desarrollo del acero. (2017, Febrero 24). Acero.es.
<https://acero.es/historia-y-desarrollo/>

Ingegeek. (2022, Febrero 22). *Las columnas mixtas son elementos compuestos por la unión de 2 elementos utilizados en la construcción.* Ingegeek.
<https://www.ingegeek.site/2022/02/22/columnas-mixtas-que-son/>

JGJ 138-2001 English PDF (JGJ138-2001). (n.d.). Chinesestandard.net.
Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de
<https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/JGJ138-2001>

Lamus, F., & Andrade, S. (2015). *Concreto reforzado: Fundamentos.* Ecoe Ediciones.

Leo a Daly. (2018, Noviembre 1). Wwww.leoadaly.com; LEO A DALY.
<http://www.leoadaly.com>

McCORMAC, & Jack. (2016). *Diseño de estructuras de acero - 5a ed.* Alfaomega Grupo Editor.

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de concreto reforzado.* Alpha Editorial.

Medifestructuras [UCLMWAmi1DX83jj75a9w7dsg]. (2018, octubre 2). *Columnas de acero rellenas de hormigón.* Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=cTouO2pSkJU>

Monterrey, M. A. [@maxaceromonterrey]. (2022, Abril 12). *¿Cómo se clasifican los perfiles de acero? Conoce los perfiles estructurales y comerciales.* 🤖.

Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=wlapYQQVldg>

Normas Técnicas Complementarias 2017. Org.Mx. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de

<https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-ciudad-mexico-2017.pdf>

Normas Técnicas Complementarias 2020. Org.Mx. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de

<https://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/ntc-acero-2020.pdf>

Perfil, V. (n.d.). *Compresión Simple en Columnas*. Blogspot.com. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de

<https://compresionsimpleencolumnas.blogspot.com/2021/07/los-elementos-compresion-en-este-caso.html>

Perú, C. [CypeIngenierosPeruSAC]. (2017, abril 21). *WEBINAR CYPECAD: Columnas mixtas.* Youtube.

https://www.youtube.com/watch?v=QKgzQnp7__M

Rueda, J. [UChVdV-WMTXfOeb3_3DfBoKw]. (2015, mayo 23). *FLEXIÓN UNIAXIAL EN COLUMNAS.* Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=xdZgpIFU6SY>

Sin título. (n.d.). Dichandadang.com. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://www.dichandadang.com/en/office-leasing/shenzhen/futian/excellence-century-center-tower-1>

Varilla – Aceros Ali. (n.d.). Acerosali.com. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de <https://www.acerosali.com/productos/varilla/>

Yang, H., Lam, D., & Gardner, L. (2008). Testing and analysis of concrete-filled elliptical hollow sections. *Engineering Structures*, 30(12), 3771–3781. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.07.004>

Zhaohua Jialing River Bridge. (n.d.). Highestbridges.com. Recuperado el 29 de Diciembre de 2023, de [http://highestbridges.com/wiki/index.php?title=Zhaohua Jialing River Bridge](http://highestbridges.com/wiki/index.php?title=Zhaohua_Jialing_River_Bridge)

Zheng, J., & Wang, J. (2018). Concrete-filled steel tube arch bridges in China. *Engineering (Beijing, China)*, 4(1), 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.003>