

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FC**  
Facultad de  
Construcciones

Departamento de Ingeniería Civil

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Título: Análisis de pórticos de acero de grandes luces.

Autor: Giselle Marcelo García

Tutor: Santiago Venancio Sánchez Pérez

Santa Clara, Junio, 2019  
Copyright©UCLV

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FC**  
Facultad de  
Construcciones

Academic Department of Civil Engineering

## **DIPLOMA THESIS**

Title: Big lights's steel's frames's analysis.

Author: Giselle Marcelo García

Thesis Director: Santiago Venancio Sánchez Pérez

Santa Clara, June, 2019  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

*“No podemos hacer grandes cosas, solo pequeñas cosas con gran amor”*

*Madre Teresa.*

## *Dedicatoria*

*A mis padres Rolando Marcelo y Valentina García, a mis suegros Mirelis Cabezas y Pablo Daniel González y a mi esposo Luis Daniel González por su amor, comprensión y apoyo.*

*A mi hermano David por ser parte inseparable de mi vida.*

*A todas las personas que directa o indirectamente han contribuido para que este trabajo fuera posible.*

*A mis padres, suegros y hermano por darme la oportunidad de estudiar, por apoyarme siempre en las decisiones que he tomado y respetarlas, por estar siempre ahí cuando más los necesité y sufrir conmigo cada prueba, cada trabajo y cada proyecto que he tenido.*

*A mi esposo por su amor, ayuda, amistad y paciencia durante los 5 años de mi carrera.*

*A mis compañeros de la facultad, con quienes cursé y estudié durante toda mi carrera, incluyendo a los que se quedaron en el camino.*

*A Greisi, Víctor, Roxana, Chabely y Claudia, por ser mis compañeros en muchos trabajos y compañeros de estudio siempre.*

*A todos los del cuarto por ser mi segunda familia.*

*A todas las personas que me dijeron "ya casi" y me dieron ánimos para continuar cuando más desanimada estaba.*

*A mi tutor el Dr. Ing. Santiago Venancio Sánchez Pérez, y a José Luis Llanes por abrirme las puertas de sus casas, por sus consejos, predisposición, y toda la ayuda aportada para la realización de este trabajo.*

*A la universidad y a todos los profesores que contribuyeron a mi formación como ingeniera civil.*

## **RESUMEN**

En la actualidad hay muchas formas de proyectar un pórtico variando sus condiciones de apoyo y las uniones entre sus elementos. Entre estas variantes se pueden mencionar los pórticos empotrados, los biarticulados, los empotrados en la base con una articulación en la unión superior y los triarticulados. Los articulados en la base, al no presentar momento flector en la base del pilar, necesita un volumen de cimentación mucho menor que los empotrados en la base. Sin embargo, los desplazamientos que presentan estos son mayores que los que puede presentar uno rígido por lo que los biarticulados y triarticulados necesitan un mayor dimensionamiento de perfiles de estructuras metálicas. Ante esta contradicción se realiza una comparación de forma global desde el punto de vista económico y estructural para determinar cuál sería la opción más racional.

### **Palabras Clave**

Pórtico

Empotramiento

Articulación

Luces

Acero

## **ABSTRACT**

Currently there are many ways to project a frame varying its support conditions and the links between its elements. Among these variants we can mention the bieformed, biarticulated, formed in the base with a joint in the upper union and triarticulate. Since the articulated at the base do not have , flector moment at the base of the pillar, they need a smaller melting volume than those formed in the base. However, the displacements that present these are greater than those that can present a rigid one so the biarticulate and triarticulate need a greater dimensioning of profiles of metal structures. Given this contradiction, a global comparison is made from the economic and structural point of view to determine which would be the most rational option.

### **Keywords:**

Frame

Embedment

Joint

Lights

Steel

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Problema científico: .....	2
Objeto de Estudio: .....	2
Tema de la investigación: .....	2
Campo de Acción: .....	3
Objetivo General: .....	3
Objetivos Específicos: .....	3
Justificación de la investigación: .....	3
Hipótesis: .....	4
Novedad Científica: .....	4
Aporte Práctico: .....	4
Métodos: .....	4
Estructura del Trabajo .....	5
1.    CAPITULO I: Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes. ....	7
1.1.    Pórticos: .....	7
1.2.    Edificaciones metálicas de grandes dimensiones .....	8
1.3.    Usos de las edificaciones metálicas de grandes dimensiones: .....	9
1.4.    Materiales .....	10
1.5.    Ventajas y desventajas de algunos materiales en la construcción de naves industriales: .....	10
1.5.1.    Madera .....	10
1.5.2.    Hormigón Prefabricado .....	11
1.5.3.    Hormigón pretensado .....	11
1.5.4.    Acero .....	12
1.6.    Elementos estructurales que componen una edificación metálica (Sócola, 2015): 13	
1.6.1.    Placa base .....	13
1.6.2.    Columnas .....	14
1.6.3.    Vigas .....	14
1.6.4.    Correas .....	14
1.6.5.    Cerchas .....	15
1.6.6.    Tensores .....	15

1.6.7.	Arriostres .....	15
1.6.8.	Cubierta .....	16
1.7.	Uniones entre elementos y vínculos de la estructura con la tierra. ....	17
1.7.1.	Uniones .....	17
1.7.2.	Cimentación .....	17
1.8.	Investigaciones que anteceden .....	19
1.9.	Conclusiones parciales .....	25
2.	CAPITULO II: Revisión y confección de los modelos geométricos. ....	27
2.1.	Objeto de estudio .....	27
2.2.	Metodología .....	27
2.3.	Perfiles utilizados para el prediseño .....	28
2.4.	Cubierta .....	29
2.5.	Acciones consideradas en el cálculo .....	30
2.6.	Vigas y columnas .....	31
2.7.	Uniones entre los elementos .....	31
2.8.	Cimentación .....	32
2.8.1.	Diseño geotécnico del cimiento .....	33
2.8.2.	Diseño estructural del cimiento .....	35
2.9.	Presupuesto .....	36
2.9.1.	Costo de la superestructura .....	36
2.9.2.	Costo de la cimentación .....	37
2.10.	Gráficos .....	37
2.10.1.	Momento .....	37
2.10.2.	Cortante .....	39
2.10.3.	Deformación .....	41
2.11.	Conclusiones parciales .....	43
3.	CAPÍTULO III: Análisis de los resultados. ....	44
3.1.	Resultados .....	44
3.2.	Desplazamientos .....	44
3.3.	Fuerzas en la base .....	51
3.4.	Cimentación .....	53
3.5.	Costo de la cimentación .....	57
3.6.	Costo de la superestructura .....	59
3.7.	Costo total (cimentación + superestructura).....	61
3.8.	Conclusiones parciales .....	63

CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES .....	66
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS .....	68
Costo de la cimentación .....	68
Presupuesto de hormigón .....	68
Presupuesto de acero .....	69
Costo de la superestructura .....	71

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años podemos apreciar importantes cambios en el ámbito de la construcción de naves metálicas de grandes luces, ya que un gran número de las estructuras metálicas han pasado de construirse con cerchas montadas sobre pilares a proyectarse como estructuras de tipo pórtico. En la actualidad se plantea la duda de como una estructura tipo pórtico es más aconsejable proyectarla cuando estas tienen diferentes condiciones de apoyo y diferentes tipos de uniones entre sus elementos. En una primera comparación podemos resaltar que los pórticos biarticulados y triarticulados presentan, por lo general, mayor peso de acero que los pórticos empotrados y que los empotrados en la base con una articulación en la unión superior. Ahora bien, si nos fijamos en el volumen necesario en la cimentación, vemos que, en los pórticos biarticulados y triarticulados, dicho volumen es considerablemente menor que en los pórticos de nudos rígidos y en los rígidos en la base con una articulación en la unión superior. Esto es debido a que en las articulaciones no se producen momentos lo que condicionará un aumento en el volumen de las zapatas. Ante el diferente comportamiento que ofrecen estos cuatro tipos de pórticos, se ha realizado un estudio comparativo, para determinar de forma global cuál de ellos resulta económicamente más rentable. (Villora, 2006)

Un pórtico de acero es un “conjunto de elementos resistentes capaces de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a que ha de estar sometido”. (“Greek architecture,” 1968)

Para resolver con acierto la estabilidad de una nave de acero, es imprescindible entender el funcionamiento de su estructura, conocer la disposición de los elementos estructurales, las solicitaciones que le llegan y el material utilizado, con el fin de elegir los detalles y disposiciones constructivas más adecuados, así como resolver los puntos singulares de la misma. (Malley, 1998)

Los materiales empleados en su construcción suelen ser metales, hormigón y madera, pudiéndose recurrir al empleo de materiales compuestos para determinados elementos estructurales o para aplicaciones especiales.

Las construcciones ejecutadas con estructuras metálicas permiten luces mayores, especialmente interesantes para locales comerciales, almacenes, industrias, talleres, salas

deportivas, salones de exposiciones, salas de espectáculos, etc. donde se requieran edificios sin pilares intermedios, así como para edificios de grandes alturas, sin pilares excesivamente gruesos, evitando ocupar espacios importantes.(Bresler, 1999)

La utilización del acero como material para la construcción de estos pórticos trae consigo grandes ventajas entre las que se encuentran su alta resistencia, lo que hace que los elementos que formarán la estructura en cualquier construcción podrán ser de una sección transversal mucho menor que en el caso del hormigón, ocupando, por lo tanto, menos espacio, además de su uniformidad, homogeneidad, la posibilidad de ser reformada de forma relativamente fácil y la rapidez de montaje, entre otras. Entre sus desventajas se encuentran la corrosión del material, el pandeo, el costo económico, la necesidad de una mano de obra más especializada y la problemática en caso de incendios.(Machado, 2018)

En la actualidad existe un gran auge en la construcción de edificaciones metálicas de grandes luces de tipo pórticos, aún existe la duda de cuál sería la forma más aconsejable de proyectarlas variando sus condiciones de apoyo y diferentes tipos de uniones entre dichos elementos, dando lugar al siguiente problema científico:

**Problema científico:**

¿Cómo contribuir al logro de la racionalidad en los pórticos para estructuras metálicas de grandes luces teniendo en cuenta diferentes parámetros?

**Objeto de Estudio:**

Los pórticos de acero en estructuras de grandes luces.

**Tema de la investigación:**

Los pórticos de grandes dimensiones empleados en naves de acero.

### **Campo de Acción:**

Los pórticos de acero con columnas y vigas de alma llena en estructuras de grandes luces.

### **Objetivo General:**

Analizar pórticos de columnas y vigas de acero en estructuras de grandes luces teniendo en cuenta diferentes condiciones de apoyo y vínculos entre sus elementos.

### **Objetivos Específicos:**

- ✓ Realizar una revisión bibliográfica sobre los diferentes modelos geométricos (esquemas de análisis) y sobre el enfoque empleado por la **AISC-LRFD** para el análisis y el diseño de los elementos estructurales empleados en pórticos de acero de grandes dimensiones utilizados en Cuba y en otros países.
- ✓ Analizar los resultados de las corridas realizadas con el software profesional **STAAD. Pro V8i** a los modelos confeccionados en investigaciones realizadas en el curso anterior.
- ✓ Determinar la influencia de la variación de las dimensiones globales, los vínculos entre los elementos y las condiciones de apoyo de los pórticos, en el análisis y en el diseño estructural mediante el software profesional **STAAD. Pro V8i**.
- ✓ Seleccionar de las variantes analizadas la que cumple con todos los requerimientos estructurales y con el menor costo posible.

### **Justificación de la investigación:**

Con la apertura a la inversión extranjera se hace necesaria la construcción y desarrollo de proyectos de edificaciones capaces de almacenar grandes volúmenes de materias primas, por lo que para países en fase de desarrollo es indispensable ahorrar el máximo de los recursos. Con el conocimiento de la variante óptima en términos económicos podrán hacerse proyectos más viables y más rentables para las condiciones de costo cubana.

### **Hipótesis:**

Si se analizan estructuralmente múltiples variantes de pórticos de acero con columnas y vigas de alma llena con diferentes condiciones de apoyo y de vínculos entre sus elementos, entonces podrá establecerse cuál de ellos es el más racional.

### **Novedad Científica:**

Basado en la revisión de la bibliografía existente se resumen las características más generales, se sintetizan los conceptos y definiciones más relevantes necesarias para el análisis estructural de los diferentes modelos geométricos de pórticos de acero de grandes dimensiones, así se puede determinar la influencia de la variación de las dimensiones globales de la edificación en el análisis y en el diseño de los elementos estructurales, según las especificaciones de la **LRFD- AISC** mediante el empleo de un software profesional.

### **Aporte Práctico:**

La posibilidad de facilitar a estudiantes y profesionales la elección en un corto periodo de tiempo de: Las dimensiones, tipo de vínculo entre elementos y los tipos de apoyos, para pórticos de acero empleados en naves, facilitando así la comprensión del comportamiento de estos, y permitiendo obtener nuevas consideraciones para el análisis y el diseño de los mismos, lo que podría contribuir a mejorar o reafirmar la manera en que estos se proyectan actualmente.

### **Métodos:**

- Teórico.
- Empírico
- Estadístico-matemático

Teórico: dentro de este método se va a utilizar el análisis para desagregar, descomponer la nave industrial en sus partes para identificar y estudiar cada uno de sus elementos, las

relaciones entre sí y con las dimensiones idóneas. La inducción que va de lo particular al general. El histórico lógico para apoyarse en la información ya existente referente a los estudios de pórticos de acero de grandes luces.

Empíricos: dentro de este se va a utilizar la observación, la medición, y experimentos.

Estadístico-matemático: para el análisis de los datos y la comprobación de la Hipótesis.

## **Estructura del Trabajo**

- Título.
- Resumen.
- Introducción.
- Desarrollo.
  
- ✓ **Capítulo 1:** Marco teórico referencial.
  
- ✓ **Capítulo 2:** Revisión y confección de los modelos geométricos.

### **Variantes:**

- Tipos de modelos a utilizar en los pórticos:
  - Pórticos biarticulados
  - Triarticulados
  - Empotrados
  - empotrados en la base con una articulación en la unión superior
- Luces
  - 24m
  - 30m
  - 36m
- Alturas
  - 8,4m
  - 9,6m
  - 10,8m
- Estados de carga

- Carga permanente
- Carga de uso (en cubierta)
- Carga de viento extremo
- Carga de viento no extremo
- Carga de sismo
- Combinaciones de carga
  - 1,4 carga permanente
  - 1,2 carga permanente+0,5 carga de uso de cubierta
  - 1,2 carga permanente+1,6 carga de uso de cubierta+0,8 carga de viento extremo
  - 1,2 carga permanente+1,6 carga de uso de cubierta+0,8 carga de viento no extremo
  - 1,2 carga permanente+1,4 carga de sismo+0,2 carga de uso de cubierta
  - 0,9 carga permanente+ 1,4 carga de viento extremo
  - 0,9 carga permanente+ 1,4 carga de viento no extremo
  - 0,9 carga permanente+1,4 carga de sismo

En total se analizarán 4 tipos de pórticos en cuanto a sus uniones, los triarticulados, los empotrados, los biarticulados y los empotrados con una articulación en la unión superior, para cada uno se realizaron 9 modelos variando las alturas y las luces, para un total de 36 combinaciones.

✓ **Capítulo 3:** Análisis de los resultados de la corrida de los modelos y la respuesta de la estructura en términos de esfuerzo y desplazamiento.

- Conclusiones.
- Recomendaciones.
- Bibliografía.
- Anexos.

## 1. CAPITULO I: Revisión bibliográfica y estudio de antecedentes.

### 1.1. Pórticos:

El pórtico es un sistema estructural formado por pilares y vigas que trabajan en conjunto recogiendo las reacciones de las correas y llevando las cargas finales resultantes a la cimentación.

Los pórticos tienen su origen en el primitivo conjunto de la columna y el dintel de piedra usado por los antiguos, en las construcciones clásicas de los griegos, como en el Partenón y aún más atrás, en los trilitos del conjunto de Stonehenge en Inglaterra (1800 años a.C.). En éstos la flexión solo se presenta en el elemento horizontal (viga) para cargas verticales y en los elementos verticales (columnas) para el caso de fuerzas horizontales.(Leet, 2006)

Con la unión rígida de la columna y el dintel (viga) se logra que los dos elementos participen a flexión en el soporte de las cargas, no solamente verticales, sino horizontales, dándole al conjunto una mayor resistencia, y una mayor rigidez o capacidad de limitar los desplazamientos horizontales. Materiales como el hormigón armado y el acero estructural facilitaron la construcción de los nudos rígidos que unen la viga y la columna.

Se componen de vigas y columnas que están unidas entre sí bien rígidamente o bien mediante articulaciones. Se clasifican en pórticos simples y pórticos múltiples, según consten de uno o varios vanos. Suelen ser pórticos a dos aguas, adaptándose a la inclinación de los faldones, con lo que se aprovecha más el interior al no existir tirantes.(Villora, 2006)

Los elementos que forman a los pórticos suelen ser de alma llena y alma libre. Los encuentros se refuerzan con cartelas formadas por trozos de perfiles, que rigidizan el nudo y ayudan a contrarrestar el empuje que ejerce el pórtico hacia el exterior. Los mismos pueden ser:

- De acuerdo a sus condiciones de apoyo.
  - Pórticos biempotrados
  - Pórticos biarticulados
  - Pórticos triarticulados
  - Pórticos biempotrados con una articulación en la unión superior
- De acuerdo a la sección transversal de sus elementos.

- Pórticos de canto variable
- Pórticos de canto constante
- De acuerdo al sistema de arriostramiento.
- Pórticos arriostrado transversal.(Coxe, 2018)

A continuación, se muestra una nave porticada donde se encuentran ilustrados los elementos que la conforman:

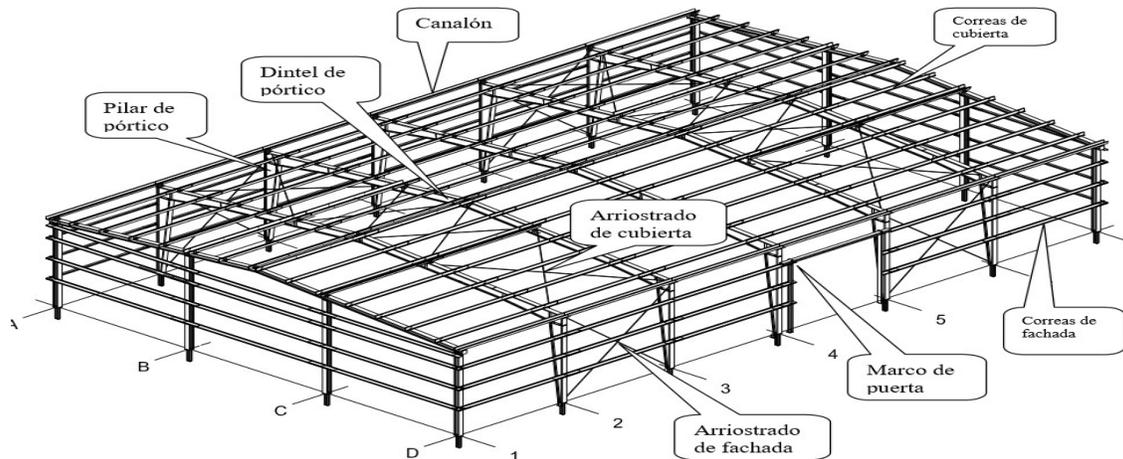


Fig. 1.1 Elementos de un pórtico  
Fuente: S. R. Lionberger, 1969

## 1.2. Edificaciones metálicas de grandes dimensiones

En el siglo XVIII llega la revolución industrial de la mano de la máquina de vapor. Es el nacimiento de la industria como tal; aparecen las fábricas y desaparece el taller familiar. Las primeras naves industriales eran espacios poco diáfanos, con una iluminación y una ventilación muy pobre. Las estructuras de estas naves industriales solían ser de madera y se apoyaban en muros de carga, coronadas por bóvedas cuyo peso se distribuía en vigas de madera que al principio no podían estar a más de seis metros entre ellas. La arquitectura fue evolucionando a medida que lo hacían las necesidades de una economía industrializada, y se aprovecharon los desarrollos de la industria siderúrgica para mejorar las estructuras de los nuevos edificios, incluidas fábricas y naves industriales. Gracias a estos avances en el sector del acero, se pudieron construir naves industriales más diáfanas y más luminosas y ventiladas. A esos avances les siguió la invención del hormigón armado,

un hormigón prefabricado muy resistente que con el paso de los años ganó mucho terreno en el ámbito industrial, en especial en la construcción de naves industriales. (Arrellano, 2012)

Las naves de acero tienen una gran versatilidad. Los perfiles metálicos pueden ser usados como vigas y como pilares. Siempre se pueden suplementar mediante soldadura o atornillado para modificar sus propiedades geométricas. Esa ventaja es decisiva en el caso de ampliaciones, cambios de uso e incluso de errores dado que un pórtico o una cercha siempre se pueden reforzar de forma menos aparatosa que una estructura de hormigón. La fabricación de la estructura, al igual que la de las naves prefabricadas de hormigón, se suele llevar a cabo en taller. El grado de control de producción e inspecciones es el propio de una fábrica, se puede y se debe asegurar la calidad de todo componente antes de su traslado a obra. El montaje y acopio de elementos resulta más fácil que en naves de hormigón y además es posible introducir cambios sobre la marcha, ya sea para adoptar modificaciones o bien para corregir eventuales errores.

Actualmente la mayoría de las naves de mediana y grandes luces están construidas con hormigón armado o están construidas prácticamente en su totalidad con metal, y están situadas en los polígonos industriales. Su proliferación a partir de los años noventa hizo necesaria una legislación para regular dónde se construían las naves industriales y qué tipo de actividades podían albergar. (Coxe, 2018)

### **1.3. Usos de las edificaciones metálicas de grandes dimensiones:**

- Almacenes
- Supermercados
- Oficinas
- Mercados
- Salón de exposición
- Salas para eventos
- Salas deportivas
- Talleres
- Fabricas
- Naves industriales con y sin carga tecnológica

## 1.4. Materiales

- Madera.
- Pétreos naturales:
  - Piedra para mampuestos o sillares.
  - Áridos (para hormigones estructurales).
- Pétreos artificiales:
  - Cemento para hormigón estructural.
  - Cemento, yeso, cal viva y pasta de cal hidratada, para morteros con destino a muros portantes.
  - Arcilla cocida para ladrillos (o sin cocer, para adobes y tapial) con destino a muros portantes.
- Metálicos: hierro y acero.(De la Cruz & Del Caño, 2001).

## 1.5. Ventajas y desventajas de algunos materiales en la construcción de naves industriales:

### 1.5.1. Madera

#### Ventajas

- Permite ajustar la sección al nivel de solicitaciones consiguiendo un ahorro del material, sin exceso de coste de fabricación
- Conseguir piezas curvadas, perfectamente adaptadas al objeto del elemento estructural y a la intención de diseño sin desperdicio del material
- El control de la calidad es excelente y sencillo ya que los defectos son fáciles de advertir.
- Alta calidad estética, los elementos estructurales son decorativos en sí mismos, sin tratamiento posterior o acabados especiales.
- Excelentes características mecánicas. Con buen comportamiento a flexión y compresión en la dirección de las fibras
- Baja conductividad térmica.
- Buena estabilidad dimensional en sentido longitudinal
- Buena resistencia a los agentes químicos
- Facilidad de montaje.

#### Desventajas

- Se requiere mano de obra experimentada y talleres adecuados.
- Este material precisa de maquinaria especial y potente para el transporte y montaje
- Baja resistencia al fuego
- No permite abarcar grandes luces.(García, 2009).

### **1.5.2. Hormigón Prefabricado**

#### **Ventajas**

- Disminución de los gastos de mantenimiento.
- Se obtiene una mayor seguridad, como consecuencia entre otras de un menor deterioro y hundimiento de la estructura por parte de la acción del fuego.
- Reducción de los plazos de ejecución, debido a la eliminación de los plazos de espera.
- Se reducen los equipos de obra, siendo indispensables elementos como los encofrados y los andamios.
- Su perfecta geometría, permite adquirir secciones de mayor resistencia estructural.
- Poseen una gran resistencia al fuego y buena capacidad de aislar acústicamente; consiguiendo a su vez una reducción de coste de la energía.
- Altas relaciones luz/canto.
- Mayor facilidad en las penetraciones sin afectar a la estructura.
- Mayor durabilidad.
- Amplia variedad de formas y acabados, como consecuencia de la gran amplitud y tipologías de módulos.

#### **Desventajas**

- Estructuralmente hablando poseen puntos débiles, como es el caso de las uniones, originando una escasa rigidez frente a esfuerzos horizontales.
- Los prefabricados se ven sometidos a continuos estados de carga transitoria desde su transporte hasta su puesta en obra, afectando a su resistencia estructural.
- Es necesaria una inversión económica inicial importante.
- Durante su montaje se necesita maquinaria pesada y gran espacio para maniobrar.
- Se requiere de la ingeniería de proyecto de todas las instalaciones previas al comienzo de obra.

### **1.5.3. Hormigón pretensado**

#### **Ventajas**

- Mayor cantidad de elementos prefabricados, frente a una disminución del tiempo, como consecuencia de ser una producción en serie.
- Se obtiene un mejor comportamiento bajo cargas de servicio.
- Disminución de la cantidad de material, logrando de igual forma elementos esbeltos y eficientes.
- Eliminación de las fisuras, como consecuencia de descartar las tensiones a tracción a las que el elemento puede verse sometido.
- La corrosión de las armaduras se ve eliminada, debido a que no se producen fisuras.
- Mayor fiabilidad en su puesta en obra, como consecuencia del uso de un hormigón y de acero de alta resistencia lo que requiere de un gran número de controles durante su fabricación y su ejecución.

### **Desventajas**

- Se requiere de una especialización en el diseño de estos elementos estructurales
- En su fabricación y en el montaje es necesario la intervención de operarios especializados.
- Elevación del coste, debido al uso de un equipamiento y de una maquinaria patentada.
- Gran inversión económica inicial.
- El uso de acero y hormigón de alta resistencia también supone un aumento del coste.
- A pesar de ser estructuras dúctiles estas también son frágiles, añadiendo así cierta peligrosidad en el caso de producirse colapsos.

### **1.5.4. Acero**

#### **Ventajas**

- Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado
- Rapidez de montaje
- La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras, esto es de gran importancia en estructuras de grandes luces.
- La obra gruesa puede ejecutarse en seco
- El tiempo de construcción es considerablemente reducido, pues los elementos de construcción llegan a la obra listos para el montaje.

- La puesta en obra de los elementos se hace limpiamente, sin ruido excesivo y con poco polvo.
- Gran capacidad de laminarse y en gran cantidad de tamaños y formas

### **Desventajas**

- Costo de mantenimiento, la mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. La corrosión depende totalmente del clima como por ejemplo un ambiente salino.
- Costos de la protección contra el fuego, aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios
- La susceptibilidad al pandeo, entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. El acero tiene una alta resistencia por unidad de peso. Pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo. (Cueva, 2015)

Para el caso de naves industriales de grandes luces, el acero como material tiene mejores ventajas en su utilización, ya que hay una alta relación entre la resistencia y el peso, además la posibilidad de construir cubiertas de grandes luces, mayores de 30 m.

## **1.6. Elementos estructurales que componen una edificación metálica (Sócola, 2015):**

### **1.6.1. Placa base**

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

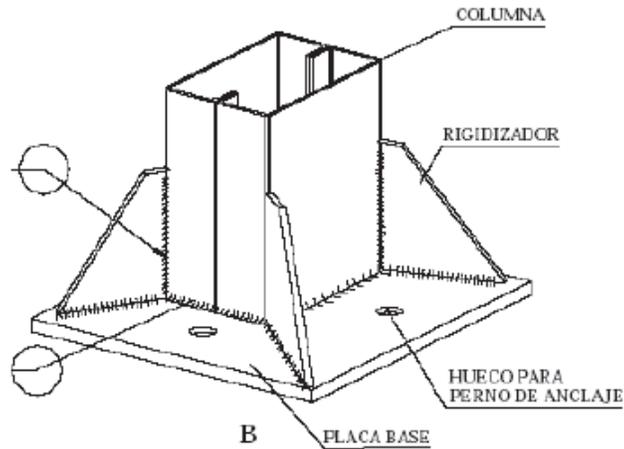


Fig. 1.6.1 Placa base

Fuente: AISC 358-05/ANSI

### 1.6.2. Columnas

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

### 1.6.3. Vigas

Son elementos estructurales que principalmente trabajan bajo cargas a flexión.

Tienen la función de soportar cargas verticales que actúen sobre ella, así como contribuir a la rigidez estructural.

### 1.6.4. Correas

Son elementos estructurales de una cubierta que da apoyo directamente a la teja. Puede estar constituida por barras (varillas y ángulos) en celosía, o por perfiles de alma llena como los W, C o Z. estos últimos son particularmente apropiados para tal efecto, sean de lámina delgada o laminados en caliente.

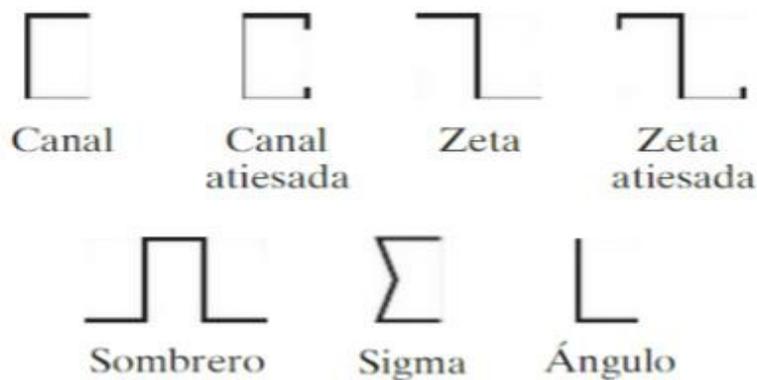


Fig. 1.6.4 Perfiles laminados en frío

Fuente: (Chapman and Ward; Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights, 1997.)

### 1.6.5. Cerchas

Es la parte principal de la cubierta. Sobre éstas se apoyan las correas, de tal forma que permiten que se transmitan las cargas actuantes sobre las correas a los soportes.

### 1.6.6. Tensores

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

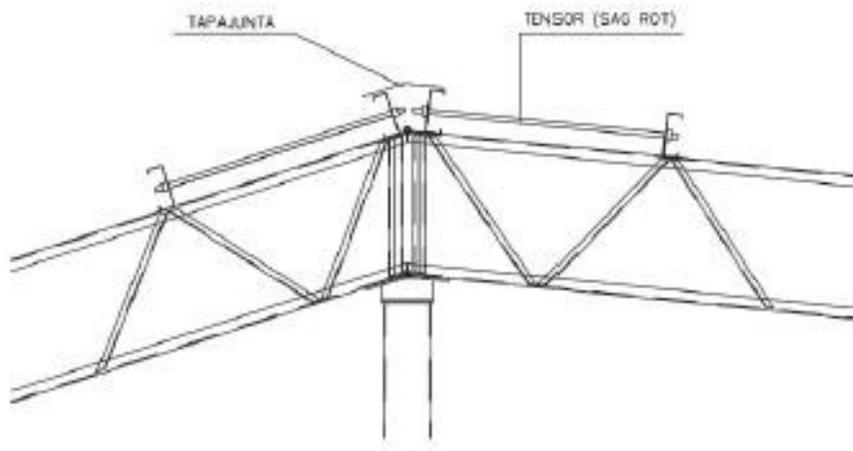


Fig. 1.6.6 Tensor

Fuente:(PTOLOMEO)

### 1.6.7. Arriostres

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

Los perfiles que utilizamos como arrostramiento son los de tipo: C y angulares.

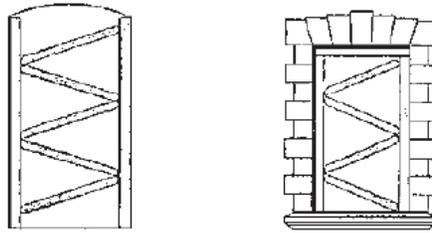


Fig. 1.6.7 Arriostres

Fuente: (Barberot,1911 Traducido por Daniel Torrealva, 2003)

### 1.6.8. Cubierta

Es un elemento no estructural de la parte superior de la estructura, la colocación más utilizada es mediante placas ligeras que apoyan directamente sobre las correas, las cuales a su vez se apoyan en las cerchas o dintel de los pórticos.

El material de la cubierta debe poseer: Impermeabilidad, larga duración, aislamiento térmico y peso reducido.

Las cubiertas para estructuras industriales más comercializadas son: Planchas onduladas de fibro-cemento, planchas de acero galvanizado, planchas de aluminio, placas traslúcidas.

SECCIÓN TRANSVERSAL ONDULADA



SECCIÓN TRANSVERSAL TRAPEZOIDAL



SECCIÓN TRANSVERSAL ACANALADA



Fig. 1.6.8 A Cubiertas para estructuras industriales

Fuente: (Priscila Vanessa Socola Rivera)

Las cargas que actúan sobre la edificación son:

- Peso propio de las chapas de la cubierta.
- Sobrecarga de viento.
- Sobrecarga de uso.
- Efecto sísmico.

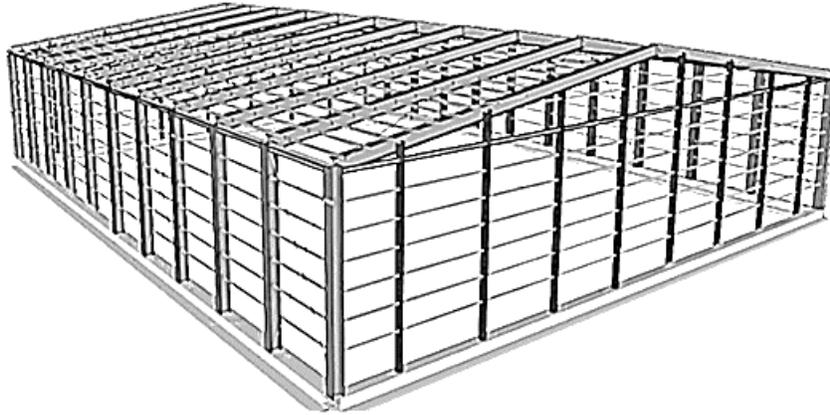


Fig. 1.6.8 B Estructuración de cubierta de una nave industrial

Fuente: (Priscila Vanessa Socola Rivera)

## 1.7. Uniones entre elementos y vínculos de la estructura con la tierra.

### 1.7.1. Uniones

Las uniones se pueden clasificar según su rigidez y de su resistencia:

- Articulaciones: son aquellas que transmiten fuerzas, pero no momentos apreciables,
- Rígidas: son aquellas que son capaces de transmitir las fuerzas y momentos determinados por el cálculo. La deformación de una unión rígida no influirá apreciablemente en la distribución de esfuerzos en la estructura.
- Semirrígidas: es la situación intermedia entre las anteriores y deberá ser capaz de transmitir las fuerzas y momentos determinados en el cálculo.

### 1.7.2. Cimentación

La cimentación es parte de la estructura conocida como subestructura, cuya función es transmitir y distribuir las cargas de la edificación al suelo. Además, es un elemento de enlace y en su diseño ha de tomarse en cuenta tanto las características de la edificación, como las del terreno.

Estos factores deben ser examinados para definir cuál es la solución técnica que mejor convenga y se adapte al tipo de problema. De hecho, se podrá resolver de varias formas, todas igual de satisfactorias, pero lo más importante es la seguridad, resistencia y economía para el proyecto. (Sócola, 2015).

En las siguientes figuras se muestran las uniones entre distintos elementos y entre la estructura y la cimentación:

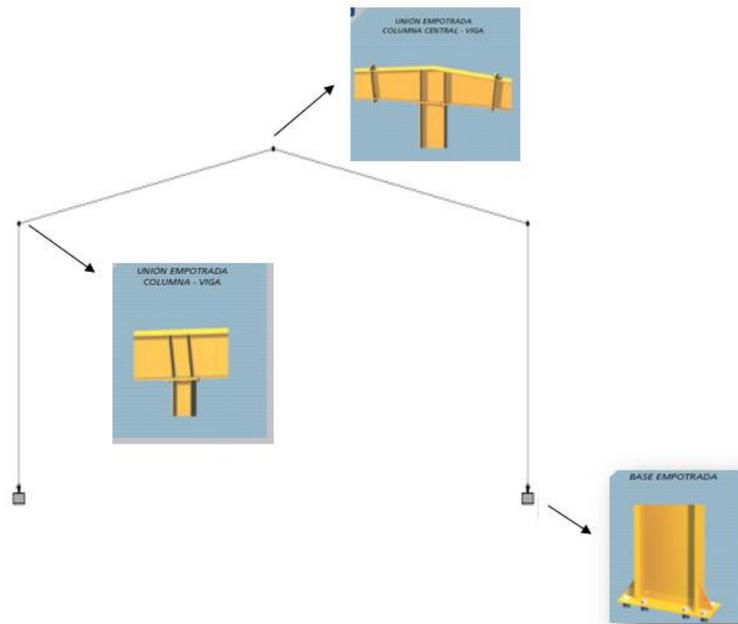


Fig. 1.7.2 A Uniones: pórtico empotrado,  
Fuente: (PRADO,2004)

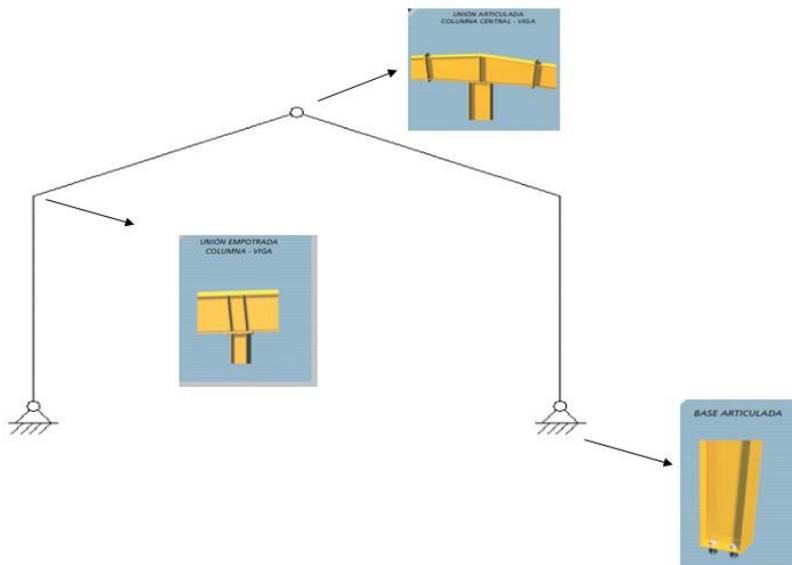


Fig. 1.7.2 B Uniones: pórtico triarticulado.  
Fuente: (PRADO,2004)

Todas las uniones tienen que tener un comportamiento suficientemente dúctil, capaz de desarrollar su capacidad resistente en el rango plástico sin que se presente un fallo prematuro motivado por una deformación excesiva.

Los siguientes puntos ya han sido abordados en investigaciones de años anteriores (Coxe, 2018; Machado, 2018):

- Diseño
  - Análisis estructural
    - Modelación
    - Calculo de las solicitaciones
  - Diseño estructural
    - Diseño de los elementos según la especificación de diseño de la AISC-LRFD.

### **1.8. Investigaciones que anteceden**

- El Ing. Martínez J. M. Pórticos de nudos rígidos frente a pórticos biarticulados en la construcción de estructuras metálicas. Tesis en opción al grado científico de Ingeniero Civil. Universidad de Castilla – La Mancha, España. (2004), ha comparado pórticos biempotrados y biarticulados en una serie de luces que van desde 10 m a 35 m, a intervalos de 5 metros, y una serie de alturas de pilar desde 3 m a 7 m, a intervalos de 1 metro. La inclinación de la cubierta es de 20° para los pórticos de luces comprendidas entre 10 y 20 metros, y de 15° para luces superiores a 20 metros. (Montero, Galletero, Expósito, & Díaz, 2004)

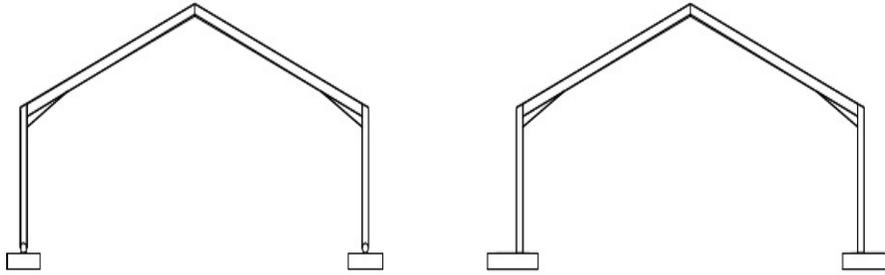


Fig. 1.8 A Pórticos

Fuente: CYPE (2001). Software Metal-3D. CYPE Ingenieros S.A. Alicante, 2004

Finalizado el estudio, los resultados ponen claramente de manifiesto las ventajas del pórtico biarticulado desde el punto de vista de la cimentación y las del pórtico biempotrado desde el punto de vista de la estructura metálica.

Ahora bien, cuando se tiene en cuenta el costo total de la estructura (estructura metálica más cimentación) se concluye que, si se utilizan perfiles laminados los pórticos biempotrados resultan ligeramente favorables respecto a los biarticulados, desde el punto de vista económico.

- En Portal Frames For Industrial Buildings, de C. Teleman, se realiza una breve comparación y análisis de los distintos tipos de uniones que existen, este solo se realiza para tres tipos de pórticos, el triarticulado, el biarticulado y el empotrado (Teleman, 2014):

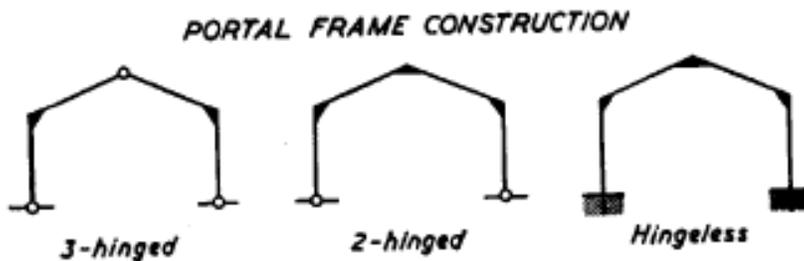


Fig. 1.8 B pórticos

- pórtico triarticulado (estáticamente determinado) los momentos y la corona de las deflexiones son mayores que para los otros tipos; no sensible al asentamiento de tierra.
- pórtico empotrado tiene los valores de momentos más pequeños de los tres tipos;
- pórticos biarticulados (teoría del arco, la cual presupone la existencia de

resistencia horizontal apropiada a los pies de los pórticos para proporcionar el empuje del arco) comparativamente pequeños desplazamientos horizontales en las zapatas causan considerables Redistribución de los momentos.

Los suelos débiles requieren articulaciones en los cimientos; si los empujes horizontales son importantes (arco extendido), luego las barras de hundimiento se colocan en el marco transversal entre Las columnas a nivel de cimentación.

### Conexión entre la columna y la viga

#### Rodillas de los marcos rígidos:

Se prefieren las juntas soldadas , por los perfiles laminados en caliente con llama y procesado de los bordes después del calentamiento.

Las soldaduras a tope y las soldaduras de filete se utilizan (en una placa de acero como soporte).

Para construir secciones casi todos los casos aquí presentados tienen refuerzos transversales para rigidizar las redes de la columna y de la viga.

Los momentos de flexión en el plano del marco tienen en la mayoría de los casos, los mayores valores en estas conexiones  $\Rightarrow$  tenemos que fortalecer la cruz sección en la forma de una cadera con una recta o Línea de curva.

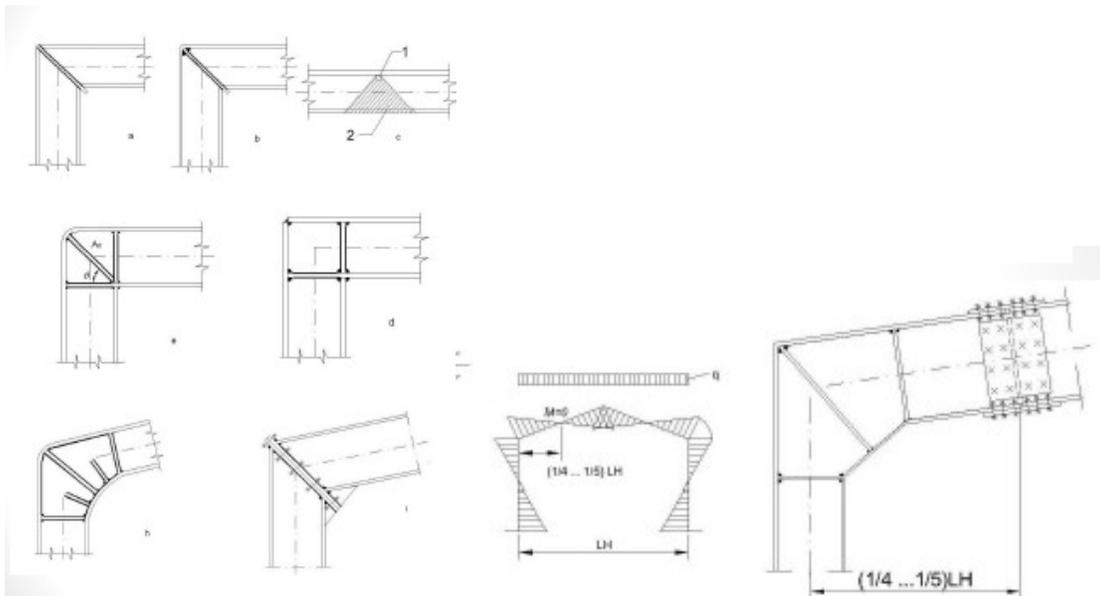


Fig. 1.8 C conexiones

Conexión conjunta entre las vigas

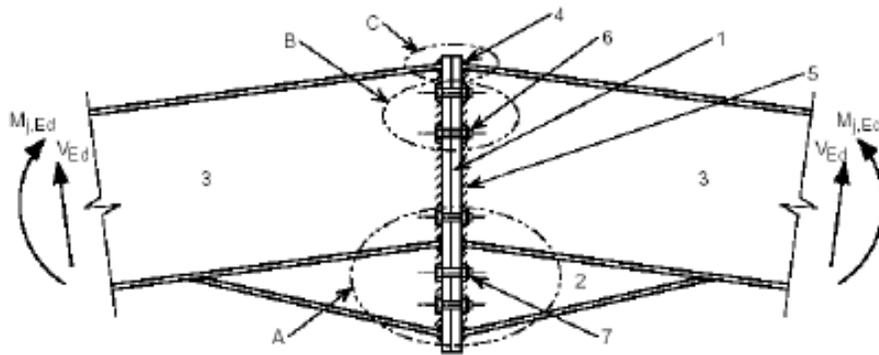


Fig. 1.8 D Conexión rígida empernada entre vigas con sección rígida modelada según EN 1993-1-8

regulaciones:

- 1) placa extremo; 2) parte de rigidización; 3) refiltro (sección transversal actual); 4) Soldadura de la brida hasta el final de la placa; 5) soldadura de la banda a la placa final;
- 6) Tornillos en cizalla; 7) tornillos en tensión

Área de A-Tensión; Zona B- Compartida; Área comprimida en C

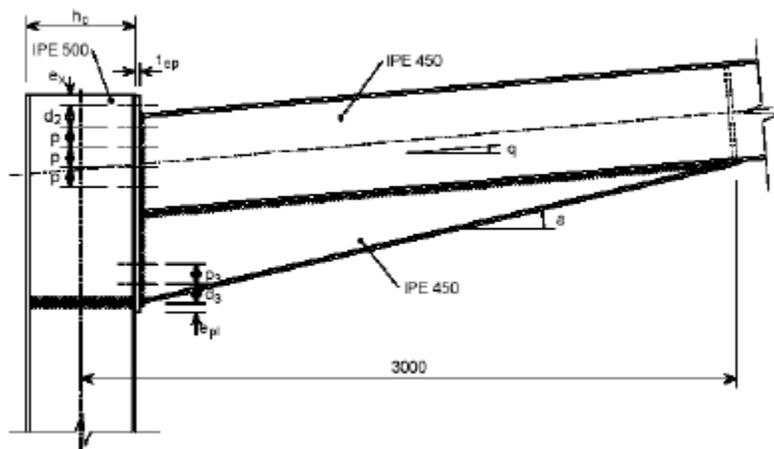


Fig. 1.8 E Conexión rígida empernada entre la viga (viga roscada) y la columna (regulaciones EN 1993-1-8):

- I- La viga necesita una sección transversal mayor para una mayor rigidez (menor altura de la columna y mayor lapso de la viga);
- II- En el área de tensión sobre los pernos de N.A. tomarán las fuerzas en la conexión; en el área de la red de la columna está rígida contra el pandeo local.

- En este documento no se abordan temas de interés económico, solo se limita a la comparación desde el punto de vista estructural de los pórticos y de las uniones de estos, también mediante fórmulas determinan los valores de los momentos y como eso influye en la estabilidad de la estructura.

En trabajos de diploma realizados en cursos anteriores por los estudiantes Wilson Coxe y Victor Machado Noy , Universidad Central “Marta Abreu“ de la Villas, 2018, en estos se realizó un análisis comparativo entre pórticos de grandes luces y con diferentes condiciones de apoyo.

En el estudio realizado por Wilson Coxe se comparan los pórticos biempotrados y biarticulados obteniendo las siguientes conclusiones(Coxe, 2018):

- Los pórticos articulados en la base, ofrecen menos resistencia al desplazamiento, teniendo que recurrirse al uso de perfiles más pesados a la hora de su construcción.
- Los pórticos empotrados en la base, al ofrecer mayor resistencia al desplazamiento y mejor respuesta a la hora de transmitir las cargas a los cimientos, requieren perfiles menos pesados, sin embargo, generan momentos en la base, lo que aumenta de manera significativa las dimensiones de la misma. Y con eso hay un mayor gasto de hormigón y barras de acero.
- Finalizado el estudio, los resultados ponen claramente de manifiesto las ventajas del pórtico articulado en la base (biarticulado) desde el punto de vista de la cimentación, ya que requiere menos cantidad de hormigón y barras de acero y las del pórtico empotrado en la base (biempotrado) desde el punto de vista de la estructura metálica, ya que ofrece mayor resistencia.
- Ahora bien, cuando se tiene en cuenta el coste total de la estructura (estructura metálica más cimentación) se concluye que, si se utilizan perfiles laminados los pórticos biempotrados resultan ligeramente favorables respecto a los biarticulados, desde el punto de vista económico.

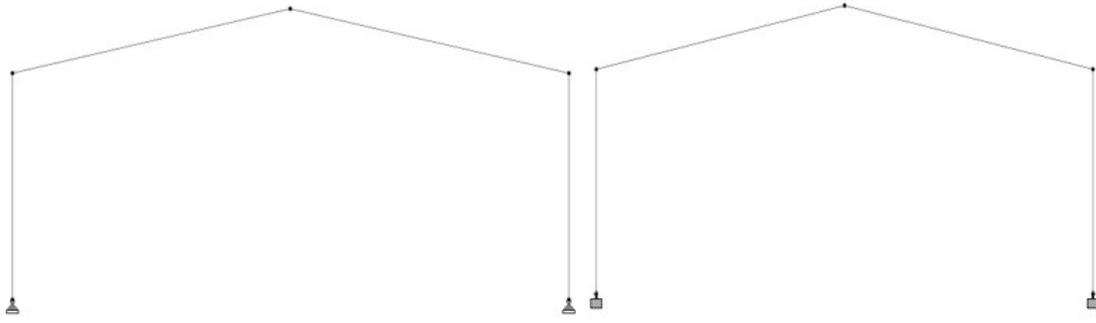


Fig. 1.8 F Tipologías estructurales empleadas en el estudio

Fuente: (Trabajo de Diploma, Wilson Coxe, 2018)

En el estudio realizado por Víctor Machado Noy, se realizó un análisis comparativo entre pórticos triarticulados y pórticos empotrados en la base y con una articulación en la unión superior (Machado, 2018):

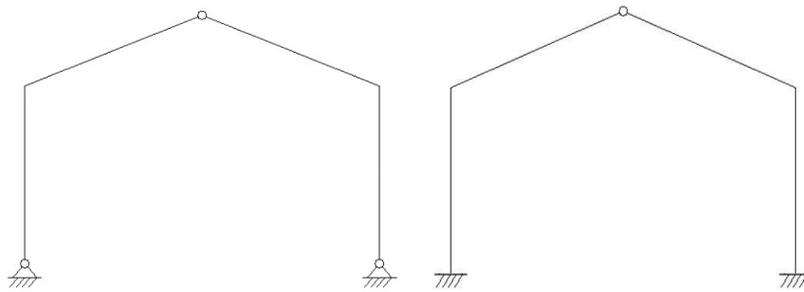


Fig. 1.8G Tipologías estructurales empleadas en el estudio

Fuente: (Trabajo de Diploma, Víctor Machado Noy, 2018)

De este trabajo se obtienen las siguientes conclusiones:

Realizando una comparación entre los resultados obtenidos para los dos tipos de condiciones de apoyo que son objeto de estudio de la investigación se puede apreciar que las dimensiones del área de la base, así como el peralte aumentan considerablemente para los pórticos empotrados en la base, resultando un diseño mucho más costoso debido a los volúmenes de hormigón y el número de barras de acero que se necesitan.

Los pórticos articulados en la base desde el punto de vista económico resultan en este caso una mejor opción en comparación con los empotrados en la base. Sin embargo, en cuanto a la resistencia ante las cargas que actuarán durante la vida útil de la estructura, los pórticos empotrados resultan mucho más rígidos en la base y seguros.

- No hay que olvidar, que siempre se debe tener en cuenta el terreno donde se va a cimentar la estructura, en algunas de las investigaciones anteriores se hace referencia a que tipo de unión sería más favorable en dependencia de si el suelo es débil, pero no se especifica qué tipo de suelo ( $C$ ,  $\varphi$  o  $C-\varphi$ ),
- Siempre que el terreno sea débil, es preferible la solución con bases de pilares articulados, ya que la estructura es más costosa pero la cimentación exige menor gasto y es más flexible. Por el contrario, en este tipo de terreno una estructura más rígida implica una cimentación menos económica a la hora de empotrar la base de los pilares.

### 1.9. Conclusiones parciales

- Los tipos de pórticos más utilizados son los triarticulados, los empotrados y los biarticulados; los que son empotrados en la base y poseen una articulación en la unión superior, no son muy empleados en la construcción. Existen distintos tipos de uniones, pero las más empleadas son las rígidas y las articuladas.
- La elección del material que se puede utilizar para la construcción de una estructura en específico dependerá del uso que se le dé a esta, del diseño que se quiere alcanzar, de las cargas a la que esté sometido, de la configuración que tenga el pórtico, de la rigidez, de las funciones que en ella se realizarán y escoger en cada caso el más rentable económicamente.
- Para la construcción de edificaciones se pueden utilizar distintos materiales entre los que se encuentra la madera, el hormigón armado (prefabricado y pretensado), el acero, entre otros, cada uno tiene ventajas y desventajas dependiendo de las condiciones y recursos con que se cuenten. Para la construcción de estructuras de grandes dimensiones los más empleados son el hormigón y el acero, este último posee una alta relación resistencia-peso, da la posibilidad de construir cubiertas con grandes luces (mayores de 30 m),
- Los pórticos biarticulados y triarticulados poseen ventajas desde el punto de vista de la cimentación y las del pórtico empotrado y el empotrado en la base con una articulación en la unión superior desde el punto de vista de la

estructura metálica, pero cuando se tiene en cuenta el costo total de la estructura los pórticos biempotrados, respecto a los biarticulados resultan ligeramente más favorables. En cuanto a la comparación entre los triarticulados y los empotrados en la base con la articulación en la unión superior se determinó que los articulados en la base resultan una mejor opción desde el punto de vista económico, pero en cuanto a la resistencia de las cargas que actúan durante la vida útil de la estructura resultan más útil los empotrados en la base.

## 2. CAPITULO II: Revisión y confección de los modelos geométricos.

### 2.1. Objeto de estudio

Se modelarán pórticos de grandes luces, con el objetivo de comparar en cuanto al comportamiento estructural, facilidad constructiva y economía, estudiando el análisis y procedimiento de sus elementos, sobre todo las cimentaciones, las cuales pueden experimentar cambios significativos al modificarse las condiciones de los apoyos, con el fin de determinar cuál de ellos resulta más recomendable en función de las dimensiones.

### 2.2. Metodología

Se van a comparar pórticos biempotrados, biarticulados, triarticulados y empotrados en la base con una articulación en la unión superior con luces de 24, 30, y 36 m, con alturas de 8.40, 9.60, y 10.80 m y con intercolumnios de 6m ya que para el proyecto típico de naves industriales, esas son las dimensiones modulares que se utilizan (luces e intercolumnios múltiplos de 6 m, y alturas múltiplos de 1.2 m) para que sean compatibles con las dimensiones (largo y ancho) de los diferentes tipos de losas prefabricadas (6 m x 1.2 m)

. La inclinación de la cubierta es de 20°.

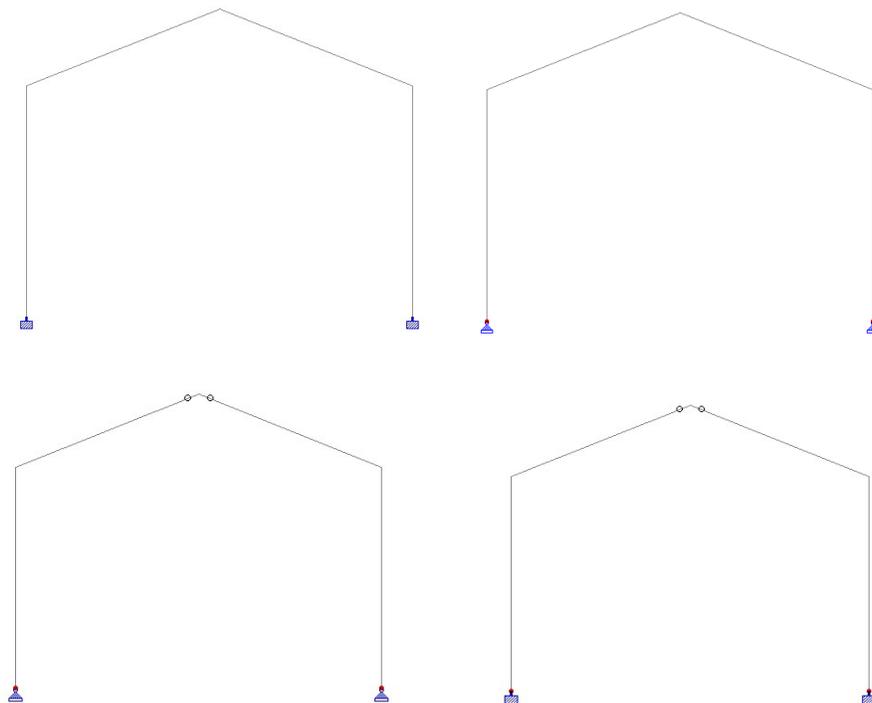


Fig. 2.2 Tipologías estructurales empleadas en el estudio  
Fuente: Creación propia

### 2.3. Perfiles utilizados para el prediseño

Los perfiles para el prediseño de la nave van a ser asignados de la siguiente forma:

- Para los pórticos se asignarán perfiles W24x104 al igual que para las columnas de viento

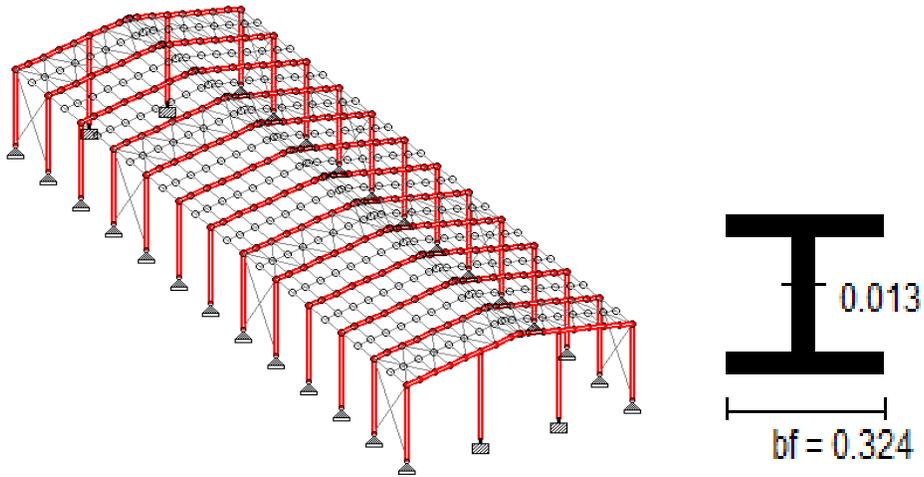


Fig. 2.3 A Columnas y vigas  
Fuente: creación propia

- Para los purlings se utilizarán perfiles canales C9x20

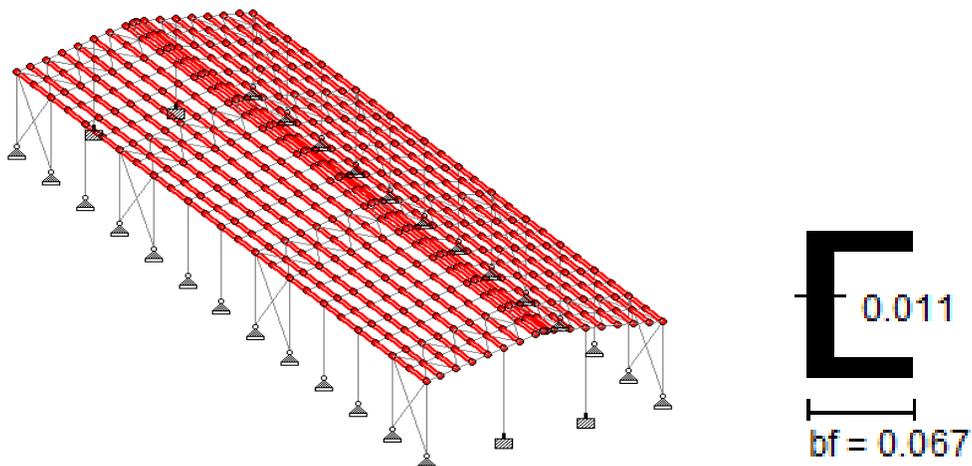


Fig. 2.3 B pourlings  
Fuente: creación propia

- Para los riostres, dígame con riostres las cruces de San Andrés y los tirantes se tomarán perfiles angulares L35258

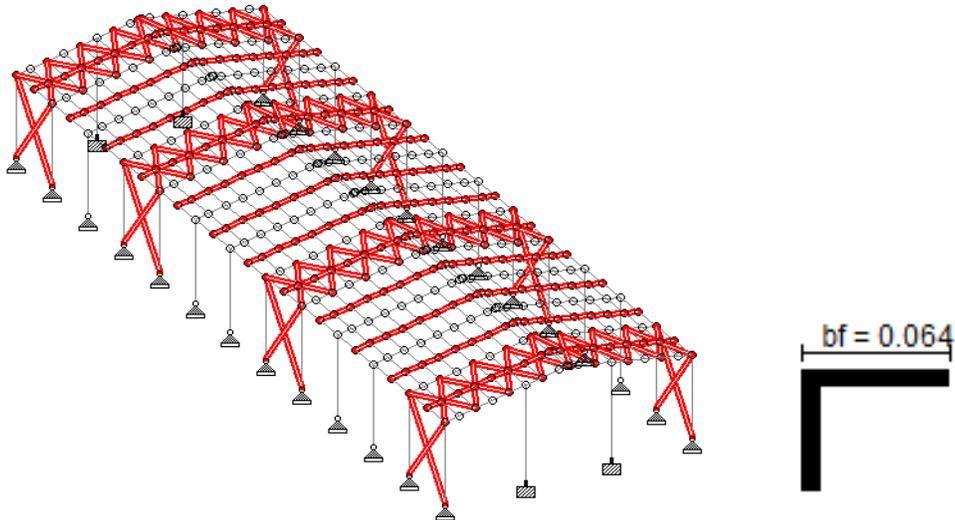


Fig. 2.3C Riostres

Fuente: creación propia

Para su selección se basaron en trabajos parecidos realizados por diferentes autores, y por criterios de especialistas consultados.

Terminada la corrida de los diseños se definirán los tipos de perfiles que se construirán los pórticos para las naves, ya que el **STAAD. Pro V8i 3ra edición, 2001**, define los mismos de manera automática.

## 2.4. Cubierta

El fibrocemento es un material utilizado en la construcción, constituido por una mezcla de un aglomerante inorgánico hidráulico (cemento) o un aglomerante de silicato de calcio que se forma por la reacción química de un material silíceo y un material calcáreo, reforzado con fibras orgánicas, minerales y/o fibras inorgánicas sintéticas. (Bresler, 1999).

El fibrocemento se emplea principalmente para el revestimiento de numerosas estructuras, ya sea lateral como en cubierta. Y en este trabajo se usarán para ambas.

En nuestro caso se utilizaron planchas de fibro-cemento con sección transversal ondulada y con un espesor de 9mm que representa un peso de 2,5 KN/m<sup>2</sup>, se trabajará con columnas simples y perfiles laminados de sección W y solo con las uniones rígidas y las articuladas.

## 2.5. Acciones consideradas en el cálculo

Las estructuras son diseñadas para soportar los efectos de las acciones a que pueden ser sometidas durante las distintas etapas de su vida útil, con cierto grado de seguridad. Para garantizar este grado de seguridad en cuanto a las solicitaciones se establecen los valores de las cargas y de sus factores, partiendo de métodos probabilísticos, que aseguran que la probabilidad de que dichos valores sean superados, se mantenga dentro de límites técnicos económicos admisibles. Eso se logra con la introducción de factores que consideran las incertidumbres en:

- Los valores reales de las cargas
- La duración de las cargas
- La simultaneidad de acción de las mismas y sus combinaciones más desfavorables.

Se consideró como acciones la carga muerta, la carga viva de cubierta, la carga de viento y la carga de sismo. Las acciones fueron definidas según las normas vigentes: NC 450: 2006, NC 284(carga viva), NC 285 (carga de viento), NC 46:2017 (carga sísmica).

Los valores de estas cargas ya han sido calculados en los trabajos de diploma de los estudiantes Víctor Machado y Wilson Coxe, se realizaron arreglos a dichos modelos entre los que se encuentran las direcciones de las cargas, se cambió al método de diseño de la AISC- LRFD, se arreglaron las combinaciones de cargas y se agregaron otras. Existían errores en la geometría de los modelos con luces de 36m, los cuales fueron corregidos, una vez resueltos los errores se procedió a correr los programas.

➤ Las combinaciones de carga utilizadas para el análisis de la superestructura fueron:

- 1,4 carga permanente
- 1,2 carga permanente+0,5 carga de uso de cubierta
- 1,2 carga permanente+1,6 carga de uso de cubierta+0,8 carga de viento extremo
- 1,2 carga permanente+1,6 carga de uso de cubierta+0,8 carga de viento no extremo
- 1,2 carga permanente+1,4 carga de sismo+0,2 carga de uso de cubierta

- 0,9 carga permanente+ 1,4 carga de viento extremo
- 0,9 carga permanente+ 1,4 carga de viento no extremo
- 0,9 carga permanente+1,4 carga de sismo

## 2.6. Vigas y columnas

Ya que los puntales son mayores de 6 m, se utilizará bajantes pluviales, lo cual implicará el uso de pretilas longitudinales.

Las vigas y columnas serán de alma llena de sección I.

Los purlings serán de perfil canal (C)

Los arriostres y tirantes de perfil angular (L)

También se usarán cartelas en la unión viga-columna, para aumentar la rigidez de la estructura ante las cargas de viento extremo y sismo.

## 2.7. Uniones entre los elementos

Una de las diferencias más acusadas entre las estructuras metálicas y las de hormigón consiste en la existencia en las primeras de multitud de uniones; es difícil en cambio encontrarlas en las estructuras de hormigón, caracterizadas por su monolitismo.(RSCS, 2009)

Las uniones cobran, dentro de los proyectos de las construcciones de acero, especial relevancia y por qué no decirlo, dificultad. Toda unión es por su propia naturaleza una discontinuidad y, por tanto, una zona potencialmente peligrosa: de hecho, multitud de accidentes se deben a uniones mal proyectadas o mal ejecutadas.

No es necesario insistir sobre la importancia que tienen las uniones, pues es suficiente que falle una cualquiera de ellas para ocasionar la ruina total o parcial de la estructura. En consecuencia, en un proyecto de estructura metálica deben estar adecuadamente resueltas todas las costuras.

En el proyecto de una unión entre dos o más piezas de una estructura metálica se distinguen dos fases principales.

La primera y más importante es la concepción y diseño general de la misma, eligiendo entre uniones soldadas o atornilladas y dentro de cada tipo el modelo de unión: a tope, en ángulo, con cubrejuntas, con chapa frontal, con casquillos, etc.

En la segunda fase, el proyectista ha de comprobar la capacidad portante de la unión elegida. En el caso más general esta comprobación se realiza en tres etapas:

- Determinación de los esfuerzos a los que se encuentra sometida la unión, que en general depende de su rigidez, por lo que nos encontraremos ante un problema isostático o hiperestático (donde no es suficiente analizar las leyes de la estática para averiguar los esfuerzos que la solicitan, sino que es preciso tener en cuenta además las deformaciones locales de la propia unión).
- Determinación de las tensiones que estos esfuerzos originan en los distintos elementos de la unión (cordones de soldadura, tornillos, casquillos, cartelas, etc.)
- Comprobación de que estas tensiones no ocasionan el agotamiento de ninguno de dichos elementos.

## **2.8. Cimentación**

El suelo donde se realizará la cimentación es una arcilla de alta compresibilidad y por el método del HRB se clasifica como A-7-6, el cual posee una humedad óptima de 23.5% y peso específico seco máximo de  $12.15 \text{ kN/m}^3$ , su módulo de deformación es de 20.5 MPa y un índice de plasticidad de 64%, los parámetros de resistencia a cortante de dicho suelo son una cohesión de 58.84 kPa y ángulo de fricción de  $15.04^\circ$ .

El diseño geotécnico de las mismas se realizará por la propuesta de Norma Cubana (NC:2007). Apoyándonos en la hoja de Mathcad con la cual cuenta la misma

- Características del suelo:

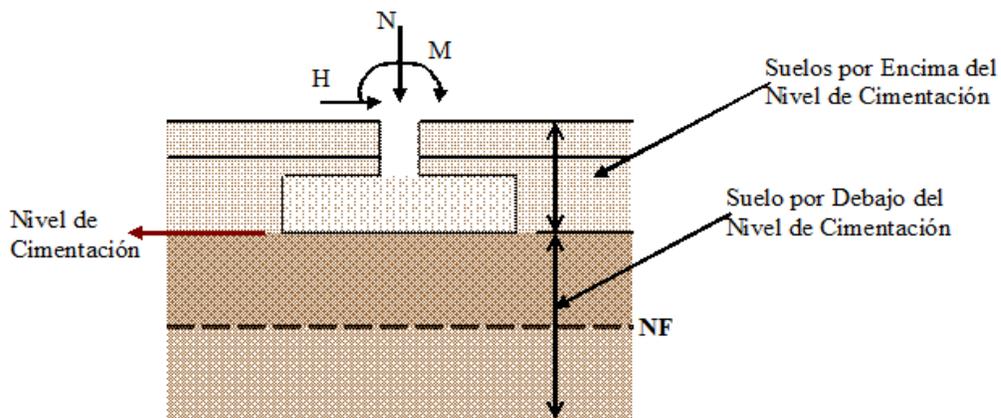


Fig.2.8A Suelo por encima del nivel de cimentación

Fuente: Tesis de Wilson, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas

Suelo por encima del nivel de cimentación.

Suelo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	h (m)
suelo 1	12,15	1,5

Tabla 3.6A Propiedades físicas del suelo

Tabla 2.8 A Datos del suelo

Suelo por debajo del nivel de cimentación

suelo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\Phi$ (°)	"h (m)"	Eo (kPa)	$\mu$
Suelo 1	12.15	58,84	15,04	20.00	20500.00	0.33

Tabla 2.8B Propiedades físicas del suelo

Presencia de Nivel Freático a una Profundidad por Debajo del Nivel de Cimentación de:

NF=4.5m

Peso Específico Saturado del Suelo por Debajo del NF

Ganma NF=18.63 kN/m<sup>3</sup>

### 2.8.1. Diseño geotécnico del cimiento

Los cimientos serán aislados, y se determinara mediante el empleo de hojas de cálculo confeccionadas en **Mathcad 14.0**



Fig.2.8B NC1:2007

Esta norma realiza un diseño por el método de los estados límites (1er Estado Límite vuelco, deslizamiento y capacidad de carga, 2do Estado Límite comportamiento lineal del suelo y asentamientos lineales y no lineales). Para el diseño de la cimentación para cada una de las variantes se analizó el cimiento con mayores solicitaciones o las más críticas, estos valores se colocaron en las hojas de cálculo y se obtuvo las dimensiones del mismo para 1er y 2do estado límite. Se toman las de mayores dimensiones por ser las más críticas.

Datos a tener en cuenta:

Estados de Cargas

+

	"Cargas"	"N (kN)"	"H (kN)"	"M (kN-m)"
Carga Muerta	"Muerta"	285.35	168.35	603.85
Carga Viva de Larga Duración	"Viva de LD"	44.19	28.48	99.62
Carga Viva de Corta Duración	"Viva de CD"	0.00	0.00	0.00
Carga Especial de Viento	"Viento"	23.29	42.15	153.05
Carga Especial de Sismo	"Sismo"	4.19	14.46	99.05

Fig. 2.8C Datos para el cálculo (L24XH8.40m empotrado)  
Fuente: hoja de cálculo del **Mathcad 14.0** (código ACI-318-05)

**Combinaciones de Cargas para el Diseño**

**Normativas.**

	$Nn_{car} =$	$Hn_{car} =$	$Mn_{car} =$
CM-----	285.351	168.351	603.85
CM+ CT-----	329.543	196.831	703.47
CM + CT + CEviento-----	352.833	238.981	856.517
CM + CT + CEviento-----	352.833	238.981	856.517
CM + CEviento-----	308.641	210.501	756.897
CM + CT + CEsismo-----	333.733	211.288	802.52
CM + CEsismo-----	289.541	182.808	702.9

**De Cálculo o Mayoradas.**

	$Nm_{car} =$	$Hm_{car} =$	$Mm_{car} =$
1.4CM-----	399.4914	235.6914	845.39
1.2CM+ 1.6 CT-----	413.1284	247.5892	884.012
1.2CM + CT + 1.3CEviento-----	416.8902	285.2962	$1.0232 \cdot 10^3$
1.2CM + 1.6CT +0.8CEviento--	431.7604	281.3092	$1.00645 \cdot 10^3$
0.9CM + 1.3CEviento-----	287.0929	206.3109	742.4261
1.2CM + CT + 1.4CEsismo-----	392.4792	250.741	962.91
0.9CM + 1.4CEsismo-----	262.6819	171.7557	682.135

Fig. 2.8D Combinaciones de carga

Fuente: hoja de cálculo del **Mathcad 14.0**: Diseño geotécnico (código ACI-318-05)

**2.8.2. Diseño estructural del cimiento**

Para el diseño estructural se emplean también hojas de cálculo del **Mathcad 14.0** para las cimentaciones aisladas rectangulares, en las cuales se considera una distribución lineal variable en función de la excentricidad de las cargas y siguiendo las recomendaciones del código ACI-318-05.

En esta hoja de cálculo se introducen los valores obtenidos en el diseño geotécnico y también los valores de momentos, axial y horizontal de las cargas permanente, de uso y de viento. Con estos datos se obtienen la cantidad de barras con su espesor, espaciamento y con la distancia a borde.

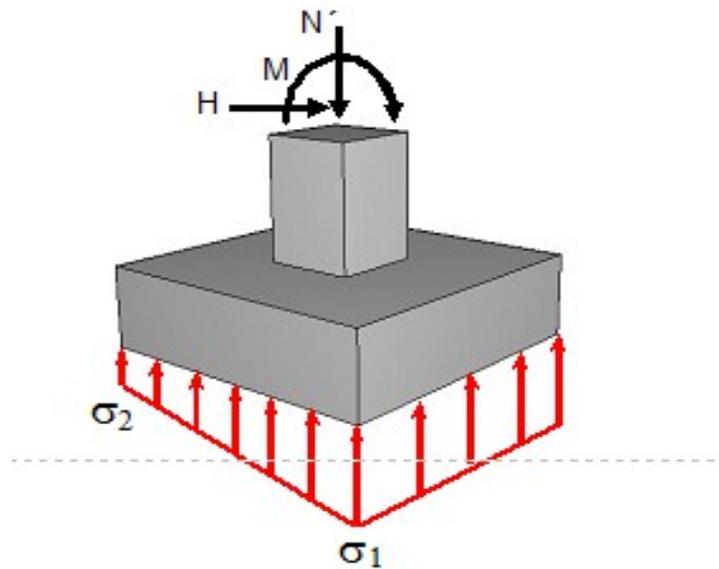


Fig.2.8E Distribución de tensiones

Fuente: hoja de cálculo del **Mathcad 14.0**: Diseño estructural (código ACI-318-05)

## 2.9. Presupuesto

Para obtener el presupuesto se trabajó con el PRECONS II y con hojas de cálculo de Microsoft Excel.

### 2.9.1. Costo de la superestructura

El programa **STAAD. Pro V8i** luego de su corrida realiza un diseño para cada uno de los elementos (columnas, vigas, riostres y pouring), este no es del todo verídico ya que en la vida real resulta difícil la colocación de distintos tipos de perfiles para cada uno de estos. En caso de las columnas para obtener el perfil más crítico de los resultantes se tomó en cuenta la carga axial actuante dado que este tipo de elementos trabaja principalmente a compresión axial. Las vigas principales y los pourlings por su parte trabajan a flexión por lo que se tiene en cuenta los valores de momento al seleccionar el perfil más crítico.

Para cada variación de las luces y las alturas y para los cuatro tipos distintos de modelos, se buscó el perfil de mayor peso para las columnas (perfil W), las vigas (perfil W), los riostres (perfil L) y los pouring (perfil C). Con los pesos totales de cada uno de estos se buscó el renglón variante en el PRECONS II y con este se obtuvo un presupuesto para cada variante.

### 2.9.2. Costo de la cimentación

Luego de obtener las dimensiones largo y ancho de la cimentación en las hojas de cálculo **Mathcad 14.0** para el diseño geotécnico y haber tomado un ancho de 2m, se calcula el volumen mediante el empleo de las hojas de Excel, luego con el reglón variante correspondiente en el PRECONS II se obtuvo el costo del hormigonado para cada variante. Las dimensiones anteriormente obtenidas se utilizan para las hojas de cálculo **Mathcad 14.0** para diseño estructural, esta te brinda la cantidad de barras con su espesor, espaciamiento y con la distancia a borde. Luego con la densidad del acero y los datos anteriormente obtenidos, se calcula el peso y se lleva a toneladas, con el reglón variante correspondiente en el PRECONS II se obtiene el costo de la colocación del acero para cada variante.

## 2.10. Gráficos

### 2.10.1. Momento

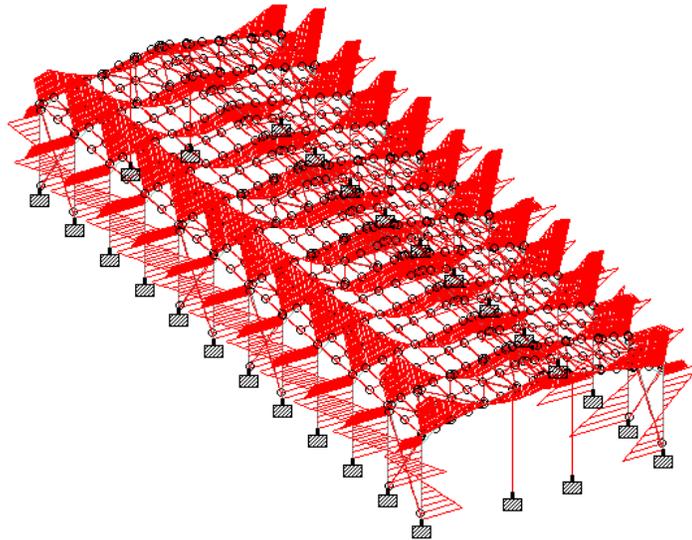


Fig.2.10.1A Gráfico de momento, pórtico empotrado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

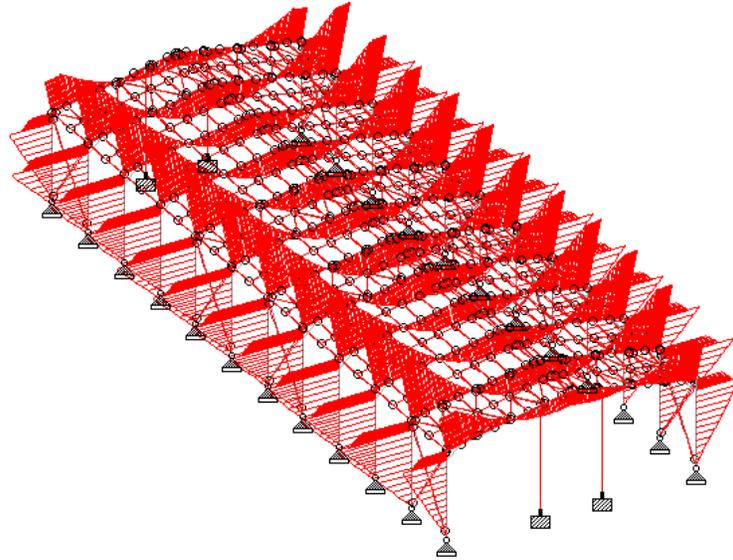


Fig.2.10.1B Gráfico de momento, pórtico articulado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

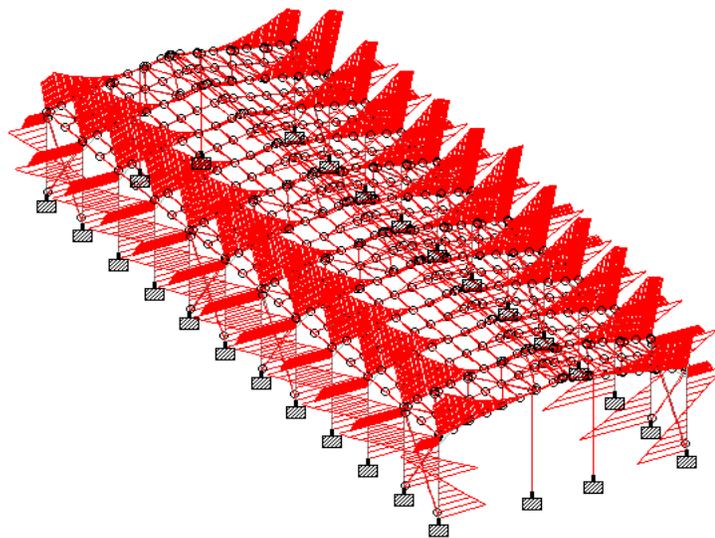


Fig.2.10.1C Gráfico de momento, pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

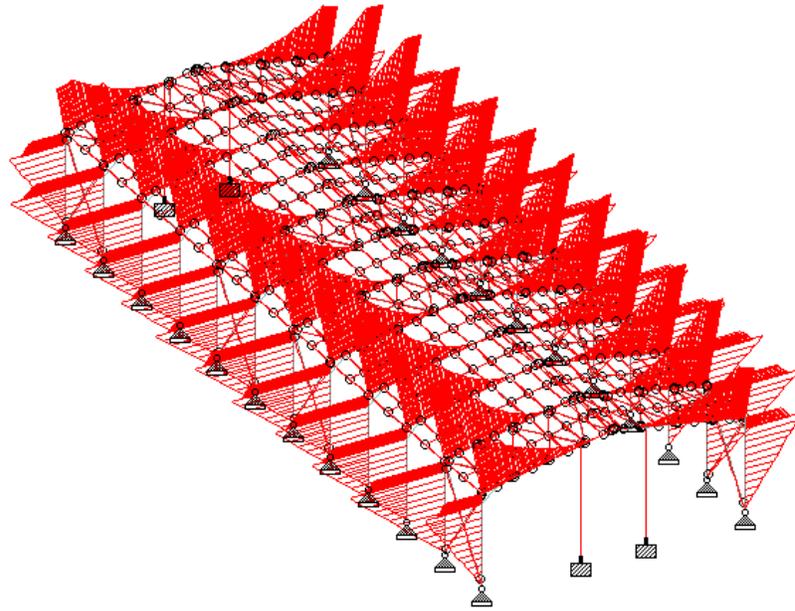


Fig.2.10.1D Gráfico de momento, pórtico triarticulado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

### 2.10.2. Cortante

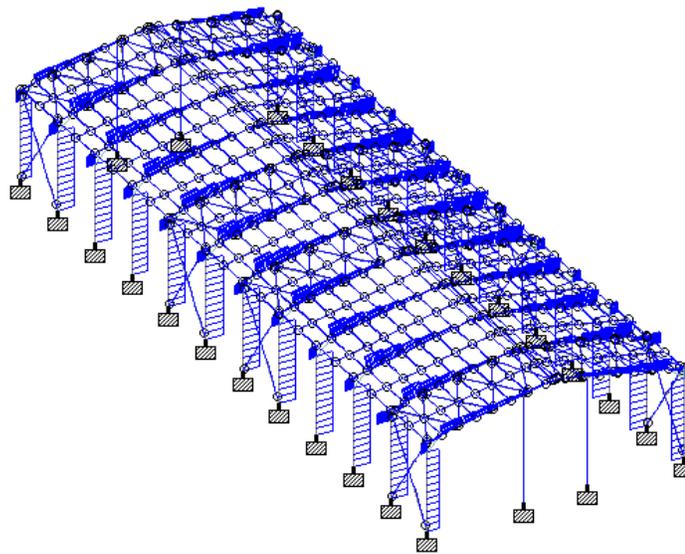


Fig.2.10.2A Gráfico de cortante, pórtico empotrado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

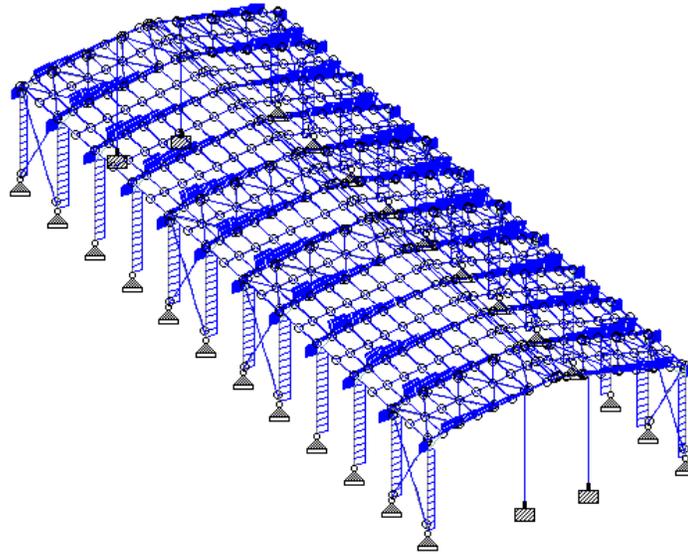


Fig.2.10.2B Gráfico de cortante, pórtico articulado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

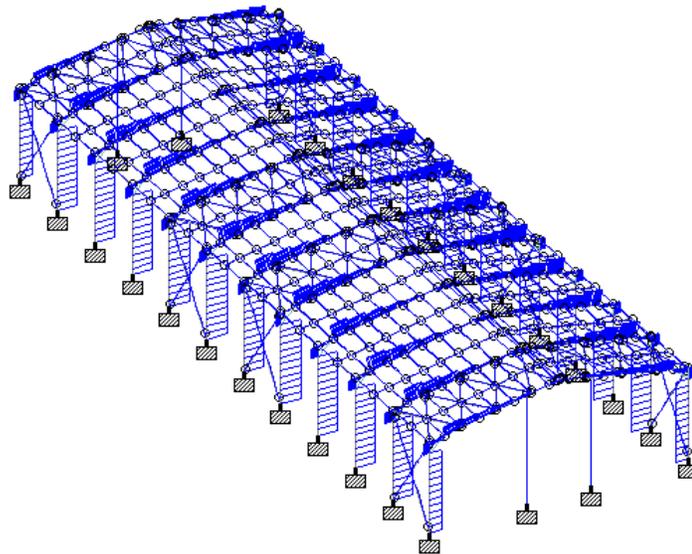


Fig. 2.10.2C Gráfico de cortante, pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

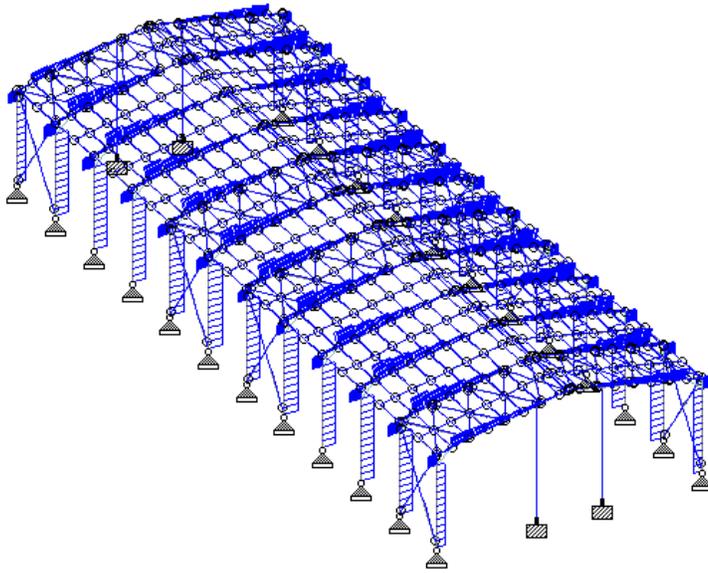


Fig.2.10.2D Gráfico de cortante, pórtico triarticulado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

### 2.10.3. Deformación

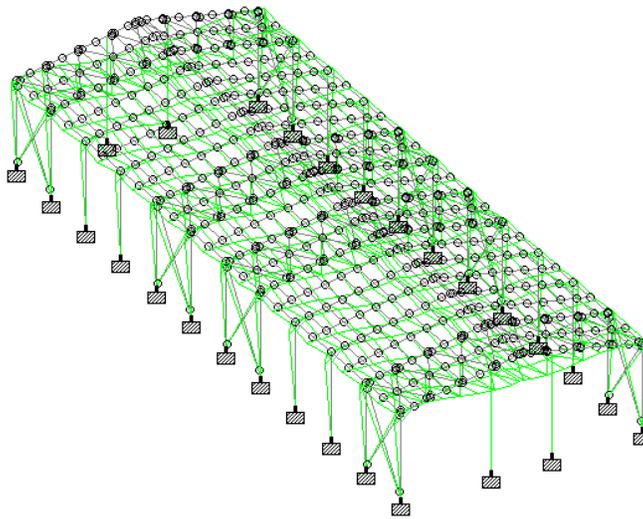


Fig.2.10.3A Gráfico de deformación, pórtico empotrado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

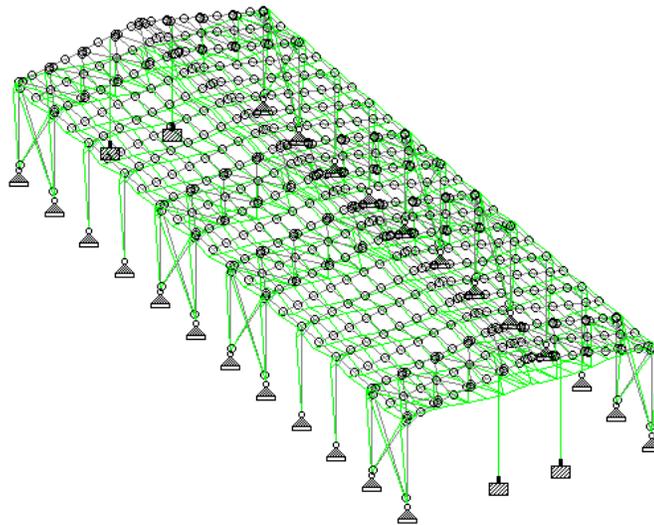


Fig.2.10.3B Gráfico de deformación, pórtico biarticulado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

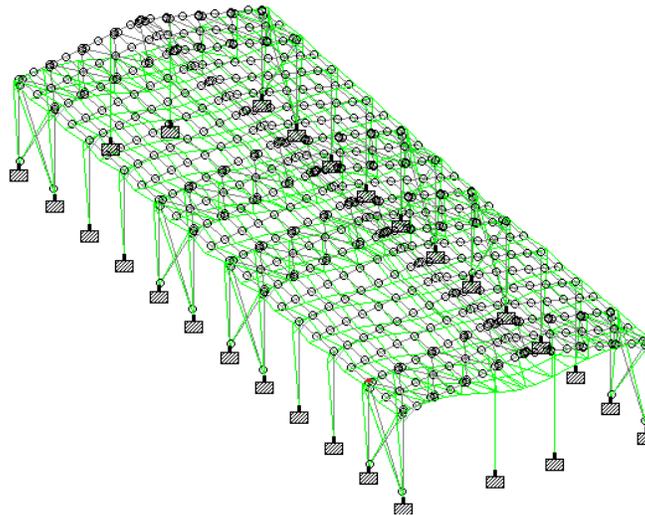


Fig.2.10.3C Gráfico de deformación, pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

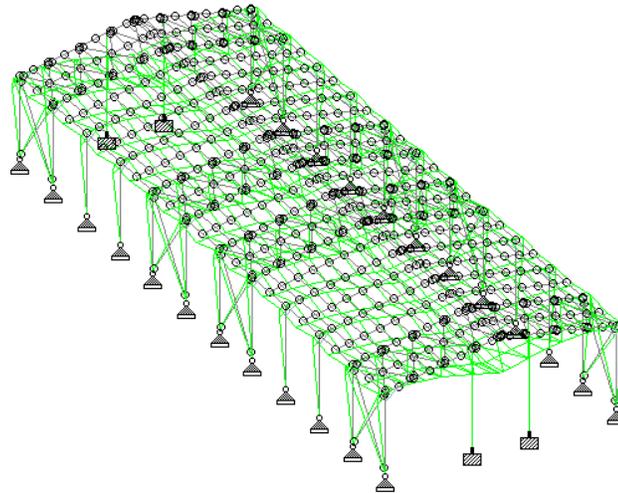


Fig.2.10.3D Gráfico de cortante, pórtico triarticulado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

## 2.11. Conclusiones parciales

Conociendo las dimensiones globales de la estructura, la disposición de los elementos estructurales, la propuesta para la sección transversal de los elementos estructurales, la propuesta para las uniones entre elementos y el vínculo de la estructura con la tierra, además de la modelación de las cargas y del material se puede entonces pasar a realizar el análisis estructural de los elementos de los pórticos, que da lugar a la obtención de la respuesta de la estructura en términos de fuerza y desplazamiento de sus nodos. Y es esta respuesta la que nos revelará si el pre dimensionamiento de las secciones transversales de los elementos de la estructura, sus uniones y vínculos con la tierra es resistente o no para las cargas analizadas que posee la estructura.

### **3. CAPÍTULO III: Análisis de los resultados.**

#### **3.1. Resultados**

Finalizada la modelación de las estructuras, se ha podido comprobar que el pre dimensionamiento de las secciones transversales de los elementos de esta, sus uniones y vínculos con la tierra son resistentes para las cargas analizadas. Pero este no es el verdadero diseño, ya que en la vida real es muy difícil la colocación de distintos tipos de perfiles de un mismo tipo para un mismo elemento. En caso de las columnas para obtener el perfil más crítico de los resultantes se tomó en cuenta la carga axial actuante dado que este tipo de elementos trabaja principalmente a compresión axial. Las vigas principales y los pourlings por su parte trabajan a flexión por lo que se tiene en cuenta los valores de momento al seleccionar el perfil más crítico.

Todos los resultados son producto del análisis de 2do orden (efecto  $P - \Delta$ ), puesto que no se produce cambios significativos en cuanto a la respuesta ante las cargas sometidas a la estructura si lo comparamos con el análisis de 1er orden, esto ya ha sido demostrado en trabajos anteriores.

#### **3.2. Desplazamientos**

Luego de la corrida del programa se hizo un análisis para las columnas en cuanto a sus perfiles y a sus desplazamientos en la dirección del eje x, para esto se seleccionaron los nudos correspondientes a estas columnas.

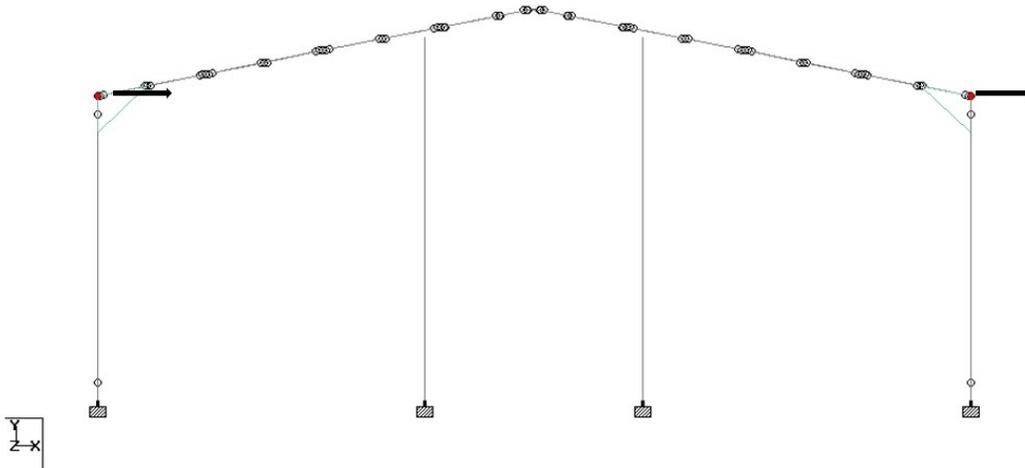


Fig.3.2 Dirección de los desplazamientos, Pórtico empotrado (L24H8.4)

Fuente: Creación propia

En las siguientes tablas se muestran los resultados extraídos después de la corrida de los modelos en el análisis P Delta, especificando los perfiles y el desplazamiento máximo para cada uno de los casos de estudio, así como los gráficos correspondientes a cada uno.

Los máximos desplazamientos en columnas principales, son producto de la combinación de carga muerta, de uso y de sismo equivalente en dirección de X ( $1.2 \cdot CD + 0.2 \cdot CL + 1.4 \cdot CE$  Equivalente X) para los pórticos empotrados en la base, para los biarticulados, para los triarticulados y para los empotrados en la base con la articulación en la unión superior.

Pórticos empotrados

Luces (m)	Alturas (m)	Vigas	Columnas	
		Perfil	Perfil	Desplazamientos (mm)
24	8.4	W30x173	W33x118	34.24
	9.6	W30x173	W27x146	46.809
	10.8	W33x141	W24x131	59.22
30	8.4	W40x268	W40x199	24.393
	9.6	W40x268	W40x215	32.844
	10.8	W44x262	W44x230	34.834
36	8.4	W36x393	W44x230	23.4
	9.6	W40x268	W40x244	26.593
	10.8	W44x290	W40x244	31.647

Tabla 3.2A Desplazamientos del pórtico empotrado

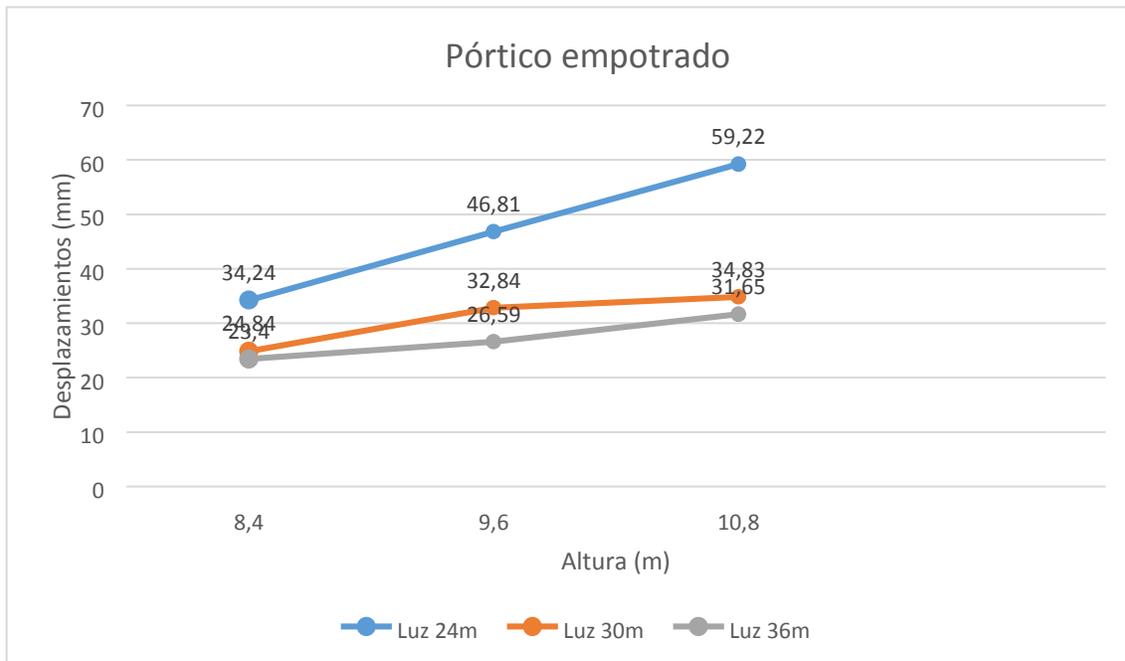


Gráfico 3.2A Desplazamientos del pórtico empotrado

En el gráfico anterior se puede ver como a medida que aumentan las alturas, aumentan los valores de desplazamientos para cada una de las luces.

Pórticos biarticulados

Luces (m)	Alturas (m)	Vigas	Columnas	
		Perfiles	Perfil	Desplazamiento (mm)
24	8.4	W30X191	W36x135	91.006
	9.6	W40X167	W33x130	110.533
	10.8	W30X173	W36x150	129.019
30	8.4	W24X103	W24x104	26.729
	9.6	W40X298	W40x215	88.734
	10.8	W44X290	W40x215	103.867
36	8.4	W40X431	W44x262	75.012
	9.6	W40X431	W44x262	90.163
	10.8	W36X439	W40x268	110.574

Tabla 3.2B Desplazamientos del pórtico biarticulado

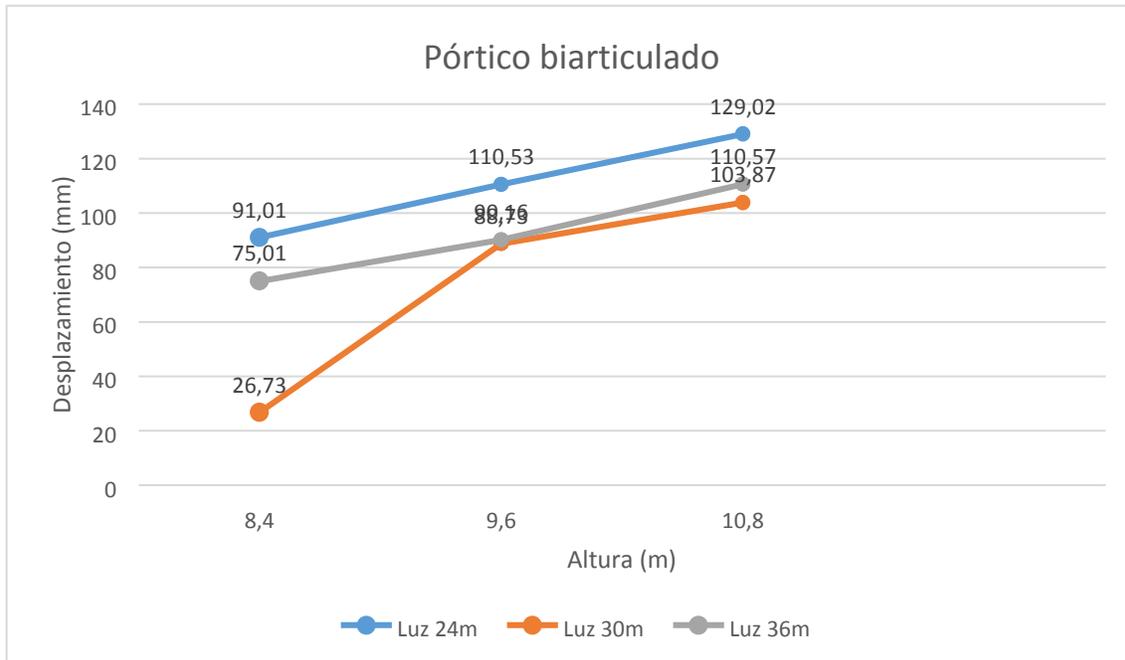


Gráfico 3.2B Desplazamientos del pórtico biarticulado

Aquí también se ve representado como a medida que aumenta los valores de las alturas, son mayores los desplazamientos.

Pórticos empotrados en la base con una articulación en la unión superior

Luces (m)	Alturas (m)	Vigas	Columnas	
		Perfil	Perfil	Desplazamiento (mm)
24	8.4	40x183	W36x135	34.509
	9.6	40x199	W30x173	31.044
	10.8	30x173	W27x146	48.228
30	8.4	40x244	W44x230	19.297
	9.6	40x298	W44x262	24.932
	10.8	40x244	W44x262	28.489
36	8.4	40x431	W40x324	21.07
	9.6	40x431	W40x324	24.627
	10.8	36x439	W40x298	30.553

Tabla 3.2C Desplazamientos del pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

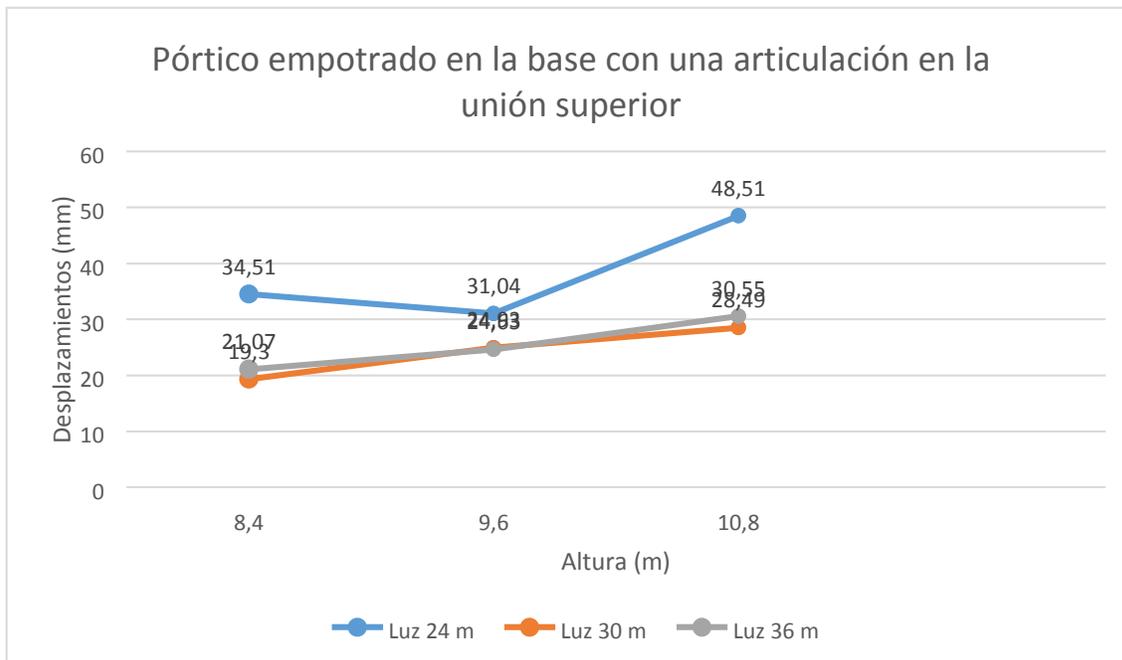


Gráfico 3.2C Desplazamientos del pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

En este gráfico para las luces de 30 y 36 m se ve cómo mientras mayores sean las alturas, mayores son los desplazamientos, pero en el caso de 24 m de luz para la altura de 9.6 m hay una disminución de este valor de desplazamiento.

Pórticos triarticulados

Luces (m)	Alturas (m)	Vigas		Columnas	
		Perfiles	Perfil	Desplazamiento (mm)	
24	8.4	40x199	W36x160	90.795	
	9.6	40x221	W40x192	78.708	
	10.8	40x192	W36x170	103.907	
30	8.4	40x372	W44x262	72.756	
	9.6	40x372	W44x262	86.385	
	10.8	40x372	W44x262	101.788	
36	8.4	36x393	W40x324	69.93	
	9.6	40x503	W44.335	86.345	
	10.8	36x527	W40x362	107.352	

Tabla 3.2D Desplazamientos del pórtico triarticulado

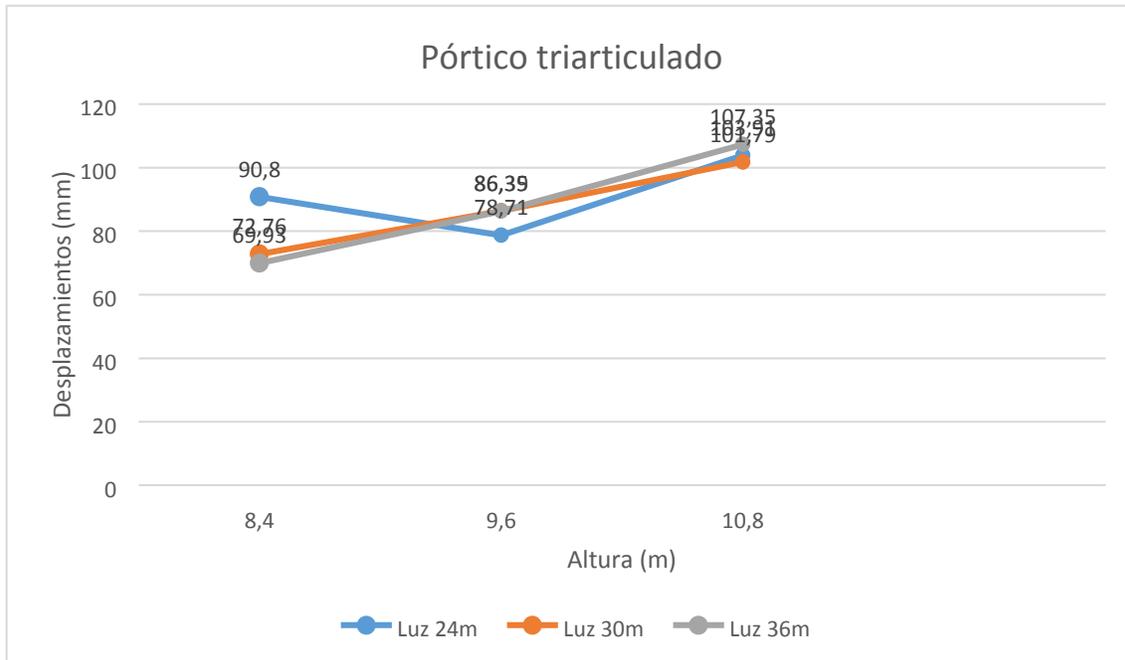


Gráfico 3.2D Desplazamientos del pórtico triarticulado

Aquí ocurre lo mismo que en caso anterior; para las luces de 30 y 36 m se ve cómo mientras mayores sean las alturas, mayores son los desplazamientos, pero en el caso de 24m de luz para la altura de 9.6m hay una disminución de este valor de desplazamiento.

En los gráficos siguientes veremos el comportamiento que tiene el desplazamiento de una misma Luz para cada tipo de pórtico, con cada una de las alturas analizadas:

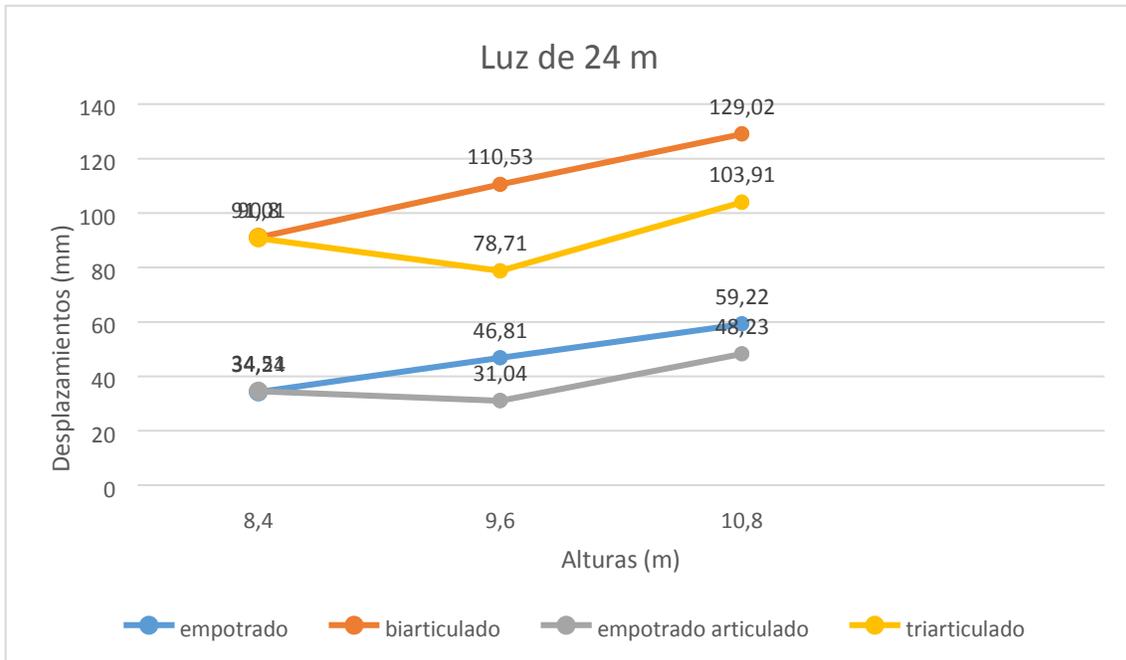


Gráfico 3.2E Desplazamiento vs Altura para una luz de 24m

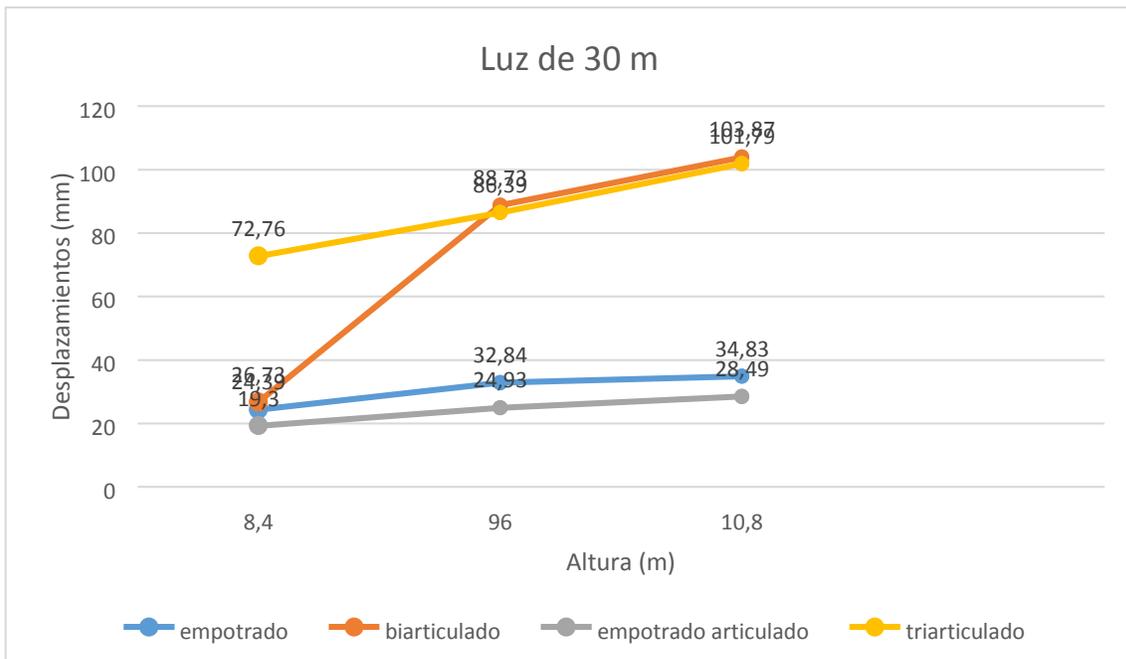


Gráfico 3.2F Desplazamiento vs Altura para una luz de 30m

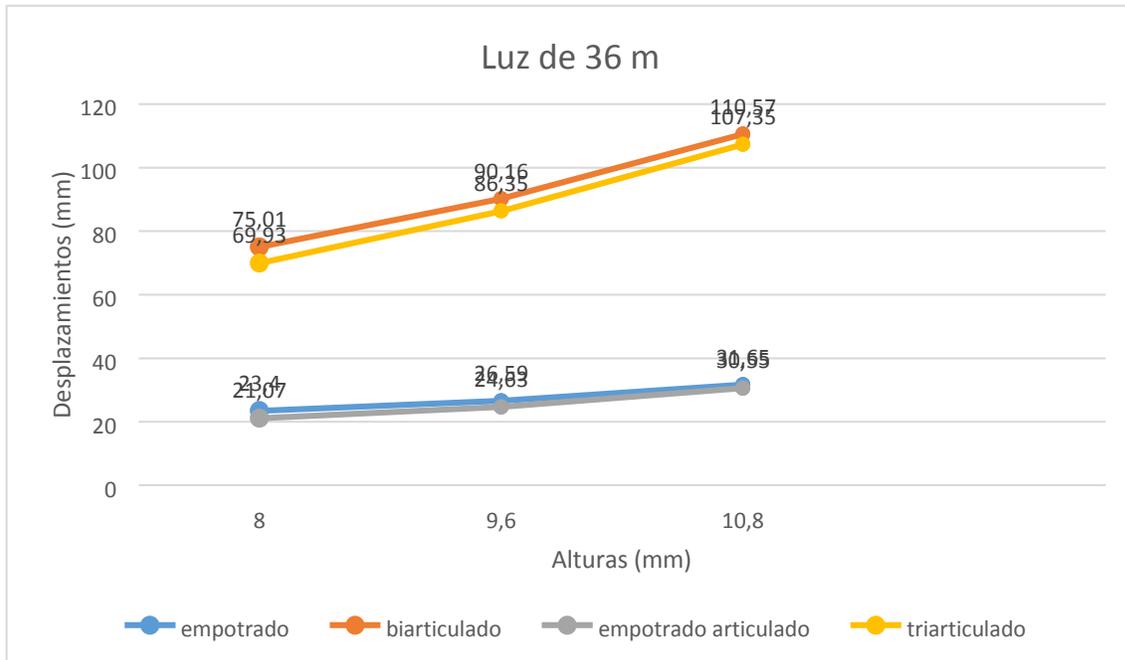


Gráfico 3.2G Desplazamiento vs Altura para una luz de 36m

Con el análisis realizado a los desplazamientos se puede deducir que estos son directamente proporcionales con el valor de las alturas, a medida que aumenta el valor de uno, aumenta el valor del otro, esto se cumple para todas las variantes analizadas con la excepción de los pórticos con articulación en la unión superior; para la luz de 24m y la altura de 9,6m.

Cuando se hizo la comparación para una misma luz y los diferentes tipos de pórticos se puede concluir que los menores desplazamientos ocurren en los pórticos empotrados en la base con la articulación en la unión superior, mientras que los mayores valores se registraron para los pórticos biarticulados. También es importante destacar que existe un comportamiento parecido en los pórticos biarticulados y triarticulados, así como en los empotrados en la base.

Se ve claramente que los pórticos articulados en la base se desplazan más por ofrecer menos rigidez en la misma, y los pórticos empotrados ofrecen mayor rigidez ante el desplazamiento.

### 3.3. Fuerzas en la base

Para realizar el diseño de las cimentaciones es necesario determinar cuáles son las fuerzas reactivas en la base de las columnas. Sin embargo, las resultantes en

los apoyos vienen dada por la combinación más crítica obtenida por el software cuyos valores se muestran a continuación en las siguientes tablas para todos los casos de estudio.

Pórtico empotrado

Luces (m)	Alturas (m)	F <sub>x</sub> (KN)	F <sub>y</sub> (KN)	M <sub>z</sub> (KN*m)
24	8.4	275.61	959.38	1161.18
	9.6	205.25	948.28	966.13
	10.8	204.52	1019.86	1143.9
30	8.4	378.49	1664.5	1658.84
	9.6	343.96	1697.05	1693.21
	10.8	305.54	1745.67	1687.25
36	8.4	517.73	1997.50	2274.17
	9.6	467.15	2204.66	2297.49
	10.8	420.09	2394.59	2251.14

Tabla 3.3A combinaciones críticas (Pórtico empotrado)

Pórtico biarticulado

Luces (m)	Alturas (m)	F <sub>x</sub> (KN)	F <sub>y</sub> (KN)	M <sub>z</sub> (KN*m)
24	8.4	178.01	959.01	0
	9.6	141.71	945.72	0
	10.8	149.46	1020.48	0
30	8.4	15.3	21.96	0
	9.6	235.47	1728.75	0
	10.8	215.95	1766.88	0
36	8.4	346.36	1997.44	0
	9.6	310.12	2202.82	0
	10.8	285.07	2403.74	0

Tabla 3.3B combinaciones críticas (Pórtico biarticulado)

Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luces (m)	Alturas (m)	F <sub>x</sub> (KN)	F <sub>y</sub> (KN)	M <sub>z</sub> (KN*m)
24	8.4	285.8	961.35	1282.41
	9.6	266.46	938.92	1311.07
	10.8	244.14	1013.0	1312.34

30	8.4	421.03	1665.35	1919.88
	9.6	383.3	1686.64	1954.41
	10.8	345.64	1741.54	1944.26
36	8.4	570.66	1992.78	2431.46
	9.6	508.23	2206.57	2482.78
	10.8	469.12	2403.02	2588.08

Tabla 3.3C combinaciones críticas (Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior)

Pórtico triarticulado

Luces (m)	Alturas (m)	F <sub>x</sub> (KN)	F <sub>y</sub> (KN)	M <sub>z</sub> (KN*m)
24	8.4	201.79	960.13	0
	9.6	185.45	945.98	0
	10.8	169.90	1017.67	0
30	8.4	302.72	1698.65	0
	9.6	276.7	1736.29	0
	10.8	249.52	1790.44	0
36	8.4	396.61	2006.28	0
	9.6	364.91	2207.81	0
	10.8	338.29	2413.18	0

Tabla 3.3D combinaciones críticas (Pórtico triarticulado)

Sin embargo, para diseñar las cimentaciones es necesario extraer del software las solicitaciones sin mayorar, dado que la hoja de cálculo de Mathcad de la Norma cubana de cimentaciones realiza el análisis de las combinaciones de carga y elige según los datos introducidos cual es la más crítica.

### 3.4. Cimentación

En una edificación la cimentación representa del 15 al 20% de la misma por lo que es necesario realizar un buen diseño de las mismas.

Con la ayuda de las hojas de cálculo de **Mathcad** de la Norma cubana de cimentaciones se realizó el diseño geotécnico y estructural de los cimientos más críticos de la estructura. Estos resultados se muestran a continuación en las siguientes tablas:

Diseño geotécnico y estructural: Pórticos empotrados

Luces (m)	Alturas (m)	1er EL	2do EL	Resultado
24	8.4	4.3	5.3	5.3
	9.6	4.05	4.85	4.85
	10.8	4.25	5.05	5.05
30	8.4	5.3	6.4	6.4
	9.6	5.2	6.2	6.2
	10.8	5.1	6.15	6.15
36	8.4	5.6	4.29	5.6
	9.6	5.4	6.8	6.8
	10.8	5.3	6.65	6.65

Tabla 3.4 A Diseño geotécnico (Pórticos empotrados)

Luces (m)	Alturas (m)	# barras	∅	@
24	8.4	39	22	13cm
	9.6	33	22	14cm
	10.8	35	22	14cm
30	8.4	58	22	11cm
	9.6	54	22	11cm
	10.8	53	22	11cm
36	8.4	68	22	10cm
	9.6	65	22	10cm
	10.8	62	22	10cm

Tabla 3.4B Diseño estructural (Pórticos empotrados)

Diseño geotécnico y estructural: Pórticos biarticulados

Luces (m)	Alturas (m)	1er EL	2do EL	Resultado (m)
24	8.4	2.15	2.15	2.15
	9.6	1.95	1.65	1.95
	10.8	2.0	1.75	2.0
30	8.4	2.5	2.6	2.6
	9.6	2.4	2.4	2.4
	10.8	2.35	2.25	2.35
36	8.4	2.85	2.9	2.9
	9.6	2.7	2.65	2.7
	10.8	2.65	2.55	2.65

Tabla 3.4C Diseño geotécnico (Pórticos biarticulados)

Luces (m)	Alturas (m)	# barras	∅	@
24	8.4	9	22	25cm
	9.6	8	22	26cm
	10.8	8	22	27cm
30	8.4	11	22	24cm
	9.6	10	22	25cm
	10.8	10	22	25cm
36	8.4	13	22	23cm
	9.6	12	22	23cm
	10.8	12	22	23cm

Tabla 3.4D Diseño estructural (Pórticos biarticulados)

Diseño geotécnico y estructural: Pórticos empotrados en la base con una articulación en la unión superior.

Luces (m)	Alturas (m)	1er EL	2do EL	Resultado
24	8.4	4.8	5.9	5.9
	9.6	4.7	5.7	5.7
	10.8	4.75	5.75	5.75
30	8.4	5.45	6.65	6.65
	9.6	5.4	6.65	6.65
	10.8	5.4	6.6	6.6
36	8.4	5.95	7.35	7.35
	9.6	5.95	7.4	7.4
	10.8	5.85	7.4	7.4

Tabla 3.4 E Diseño geotécnico (Pórticos empotrados en la base con una articulación en la unión superior)

Luces (m)	Alturas (m)	# barras	∅	@
24	8.4	49	22	12cm
	9.6	45	22	12cm
	10.8	46	22	12cm
30	8.4	62	22	10cm
	9.6	62	22	10cm
	10.8	61	22	10cm

36	8.4	76	22	9cm
	9.6	77	22	9cm
	10.8	77	22	9cm

Tabla 3.4F Diseño estructural (Pórticos empotrados en la base con una articulación en la unión superior)

Diseño geotécnico y estructural: Pórticos triarticulados

Luces	Alturas (m)	1er EL	2do EL	Resultado
24	8.4	2.5	2.6	2.6
	9.6	2.35	2.35	2.35
	10.8	2.35	2.25	2.35
30	8.4	2.75	2.9	2.9
	9.6	2.6	2.7	2.7
	10.8	2.5	2.55	2.55
36	8.4	3.15	3.25	3.25
	9.6	3.35	3.5	3.5
	10.8	2.9	2.9	2.9

Tabla 3.4G Diseño geotécnico (Pórticos triarticulados)

Luce (m)	Alturas (m)	# barras	∅	@
24	8.4	10	22	27cm
	9.6	10	22	25cm
	10.8	10	22	25cm
30	8.4	12	22	25cm
	9.6	11	22	26cm
	10.8	11	22	24cm
36	8.4	16	22	21cm
	9.6	18	22	20cm
	10.8	14	22	21cm

Tabla 3.4H Diseño estructural (Pórticos triarticulados)

Realizando una comparación entre los resultados obtenidos se puede apreciar que las dimensiones del área de la base, así como el peralte aumentan considerablemente para los pórticos empotrados en la base, resultando un diseño mucho más costoso debido a los volúmenes de hormigón y el número de barras de acero que se necesitan.

También se puede apreciar que para una misma luz variando las alturas se ve casi siempre una disminución en las dimensiones de la cimentación y por tanto también en la cantidad de barras necesarias para el diseño.

Nota: En los pórticos empotrados en la base

### 3.5. Costo de la cimentación

Teniendo en cuenta los anteriores diseños realizados en las hojas de cálculo de **Mathcad** se obtuvo las dimensiones de largo y ancho, así como la cantidad de barras de acero para cada una de las variantes objeto de estudio, con estos datos y asumiendo una profundidad de 2m se puede calcular el volumen de hormigón para cada caso, también con la cantidad de barras y la densidad del acero se puede obtener el peso y con estos resultados buscar el renglón variante correspondiente para cada uno de los casos en el PRECONS II (PRECONS, 2005).

Renglones variantes utilizados para el presupuesto de la cimentación

Hormigonado (041124): 5.42 pesos/m<sup>3</sup>

Colocación del acero de refuerzo (305302): 78.22 pesos/tonelada

El cálculo está hecho para una misma altura (9.6m), variando las luces.

Pórtico empotrado

Luces (m)	costo del hormigonado(pesos)	costo de la colocación de acero(pesos)	costo total (pesos)
24	254.98	71.57	326.55
30	416.69	150.40	567.09
36	501.24	198.85	700.09

Tabla 3.5A Costo de la cimentación para una altura de 9.6m (Pórtico empotrado)

Pórtico biarticulado

Luces (m)	costo del hormigonado(pesos)	costo de la colocación de acero(pesos)	costo total (pesos)
24	41.22	6.76	47.98
30	62.44	10.50	72.94
36	79.02	14.25	93.27

Tabla 3.5B Costo de la cimentación para una altura de 9.6m (Pórtico biarticulado)

Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luces (m)	costo del hormigonado(pesos)	costo de la colocación de acero(pesos)	costo total (pesos)
24	352.19	115.06	467.25
30	479.37	185.42	664.80
36	593.60	256.65	850.25

Tabla 3.5C Costo de la cimentación para una altura de 9.6m (Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior)

Pórtico triarticulado

Luces (m)	costo del hormigonado(pesos)	costo de la colocación de acero(pesos)	costo total (pesos)
24	59,864	10.27	70.14
30	79,024	13.06	92.08
36	132,790	27.94	160.73

Tabla 3.5D Costo de la cimentación para una altura de 9.6m (Pórtico triarticulado)

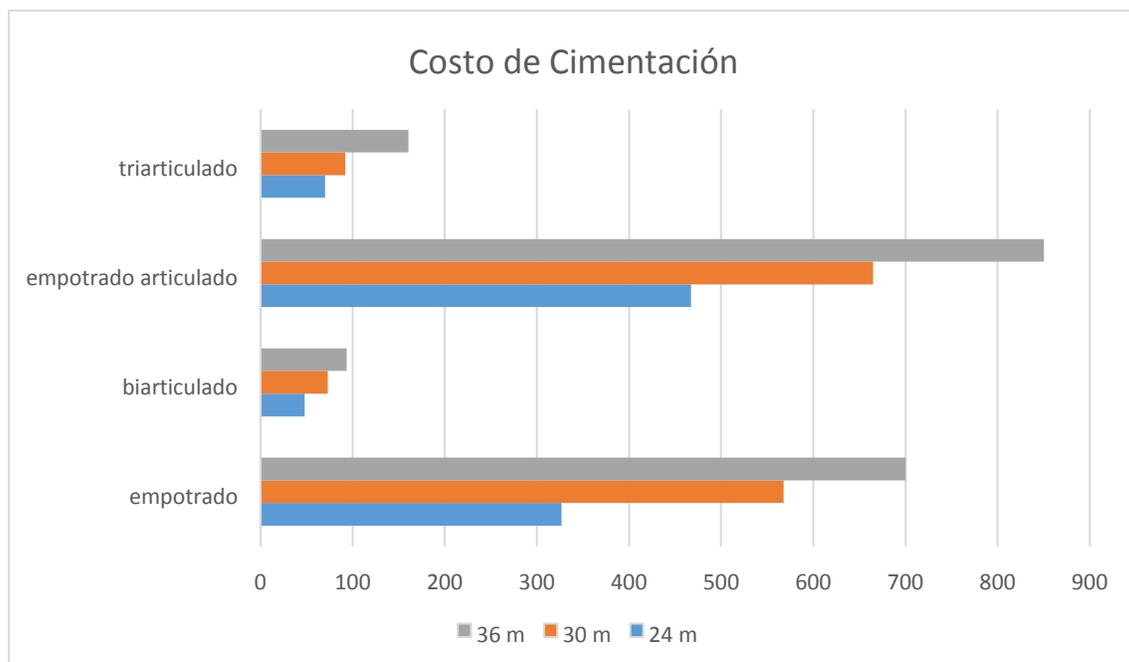


Gráfico 3.5A Costo de la cimentación para una altura de 9.6m para cada tipo de pórtico.

En el gráfico anterior se puede ver la gran diferencia que existe desde el punto de vista económico entre los pórticos empotrados en la base y los articulados en esta, siendo el pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior es el de mayor precio en la cimentación y el más barato de construir el biarticulado. Se ve claramente como para cada tipo de modelo a medida que las luces aumentan, también lo hacen sus dimensiones y por tanto el presupuesto.

### 3.6. Costo de la superestructura

El software **STAAD. Pro V8i** propone los perfiles idóneos para la construcción de la estructura, y dentro de las opciones que el mismo ofrece para las distintas luces y alturas, los pórticos se diseñaron con los perfiles que tuvieran una respuesta positiva ante las cargas más críticas a que ésta se encuentra sometida, para cada uno de los elementos.

Se ha calculado el precio de la estructura, por el PRECONS II (Sistema de Precios de la Construcción)(PRECONS, 2005)

Renglones variantes utilizados para el presupuesto de la superestructura:

Columnas (081112): 26.33 pesos/tonelada

Vigas (082324): 54.12 pesos/tonelada

Riostres (082711): 113.61 pesos/tonelada

Pourling (082616): 69.44 pesos/tonelada

El cálculo está hecho para una misma altura (9.6m), variando las luces.

Pórtico empotrado

Luz	costo (pesos)				costo total
	columnas	vigas	riostres	pourling	
24	2072.35	4016.6	8429.99	3686.46	18205.4
30	3444.44	7777.81	9932.15	6307.94	27462.34
36	7439.97	9333.37	16278.86	9052.31	42104.51

Tabla 3.6A Costo de la superestructura para una altura de 9.6m (Pórtico empotrado)

Pórtico biarticulado

Luz	costo (pesos)				costo total
	columnas	vigas	riostres	pourling	
24	2072.35	3877.29	8429.99	3072.05	17451.68
30	3444.44	8648.46	9932.15	3823	25848.05
36	7439.97	15010.01	16278.86	8229.37	46958.21

Tabla 3.6B Costo de la superestructura para una altura de 9.6m (Pórtico biarticulado)

Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luz	costo (pesos)				costo total
	columnas	vigas	riostres	pourling	
24	2072.35	4620.25	8429.99	4055.11	19177.7
30	3444.44	8648.46	9932.15	6307.94	28332.99
36	7439.97	15010.01	16278.86	6857.81	45586.65

Tabla 3.6C Costo de la superestructura para una altura de 9.6m (Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior)

Pórtico triarticulado

Luz	costo (pesos)				costo total
	columnas	vigas	riostres	pourling	
24	2072.35	5131.03	8429.99	3686.46	19319.83
30	3444.44	10796.06	9932.15	2867.25	27039.9
36	7439.97	17517.48	16278.86	8229.37	49465.68

Tabla 3.6D Costo de la superestructura para una altura de 9.6m (Pórtico triarticulado)

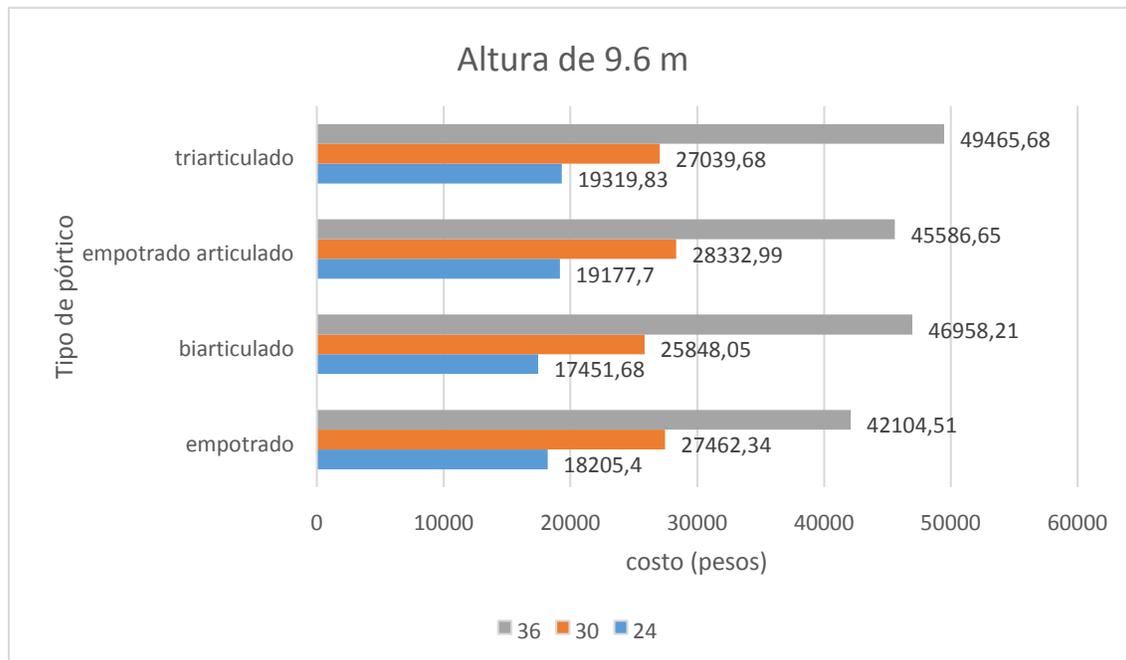


Gráfico 3.6A Costo de la superestructura para una altura de 9.6m para cada tipo de pórtico.

En el gráfico anterior se puede apreciar claramente como a mayor sea la luz, mayor será el precio de la superestructura para cada uno de los casos analizados, siendo el pórtico triarticulado el más costoso.

### 3.7. Costo total (cimentación + superestructura)

En las siguientes tablas se ve representado el costo total de la construcción (superestructura + cimentación) de cada uno de los tipos de pórticos.

Se realizará el análisis para una misma altura (9.6 m) variando las luces.

Pórtico empotrado

Luz	Costo de la superestructura	Costo de cimentación	Costo total
24	18205,4	326,55	18531,95
30	27462,34	567,09	28029,43
36	42104,51	700,09	42804,6

Tabla 3.7A Costo total para una altura de 9.6m (Pórtico empotrado)

Pórtico biarticulado

Luz	Costo de la superestructura	Costo de cimentación	Costo total
24	17451,68	47,98	17499,66
30	25848,05	72,94	25920,99
36	46958,21	93,27	47051,48

Tabla 3.7B Costo total para una altura de 9.6m (Pórtico biarticulado)

Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luz	Costo de la superestructura	Costo de cimentación	Costo total
24	19177,7	467,25	19644,95
30	28332,99	664,8	28997,79
36	45586,65	850,25	46436,9

Tabla 3.7C Costo total para una altura de 9.6m (Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior)

Pórtico triarticulado

Luz	Costo de la superestructura	Costo de cimentación	Costo total
24	19319,83	70,14	19389,97
30	27039,9	92,08	27131,98
36	49465,68	160,73	49626,41

Tabla 3.7D Costo total para una altura de 9.6m (Pórtico triarticulado)

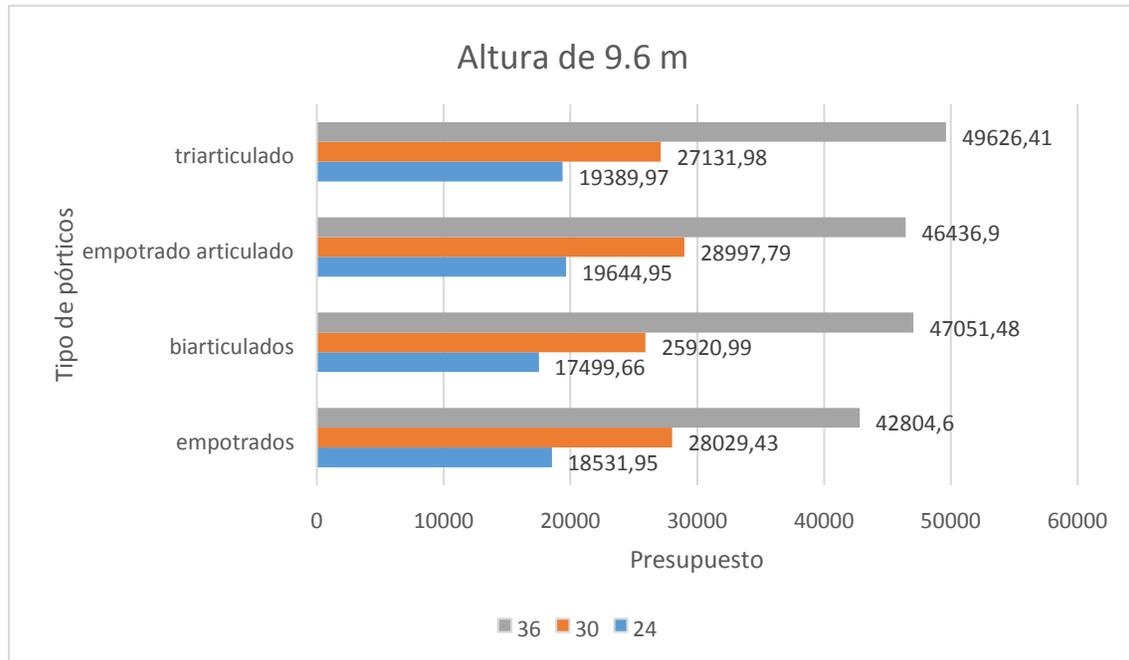


Gráfico 3.7A Costo total para una altura de 9.6m para cada tipo de pórtico.

En el gráfico anterior se muestra el presupuesto para cada uno de los modelos de pórticos y se puede deducir que mientras mayor es la luz mayor será el costo y que para cada una de estas el valor del presupuesto es muy parecido. Para la luz de 36 m la variante menos económica sería el triarticulado y el empotrado el de menos costo, esto no se cumple de igual forma para las luces de 24 y 30 m, para estas la mejor opción sería el biarticulado y la más costosa el empotrado en la base con una articulación en la unión superior.

### 3.8. Conclusiones parciales

Con el análisis realizado a los desplazamientos se puede deducir que a medida que aumenta el valor de las alturas, aumenta el valor de los desplazamientos, esto se cumple para todas las variantes analizadas con la excepción de los pórticos con articulación en la unión superior; para la luz de 24m y la altura de 9,6m. Cuando se hizo la comparación para una misma luz para los diferentes tipos de pórticos se puede concluir que los menores desplazamiento ocurren en los pórticos empotrados en la base, mientras que los mayores valores se registraron para los pórticos triarticulados y biarticulados. También es importante destacar que existe un comportamiento bastante parecido en los pórticos biarticulados y triarticulados, así como en los empotrados en la base.

Para el diseño de la cimentación se puede apreciar que las dimensiones del área de la base aumentan considerablemente para los pórticos empotrados en la base, resultando un diseño mucho más costoso debido a los volúmenes de hormigón y el número de barras de acero que se necesitan.

En cuanto al costo de la cimentación; Los pórticos empotrados en la base con una articulación en la unión superior son los de mayor precio. Los pórticos biarticulados son los más económicos y se ve claramente como para cada tipo de modelo a medida que las luces aumentan, también lo hacen sus dimensiones y por tanto el presupuesto.

En el costo de la superestructura se muestra una semejanza en el presupuesto de una misma luz para cada tipo de modelo a analizar, se ve que mientras mayores sean las luces, mayor será el costo de la estructura.

En cuanto al costo total (cimentación + superestructura) podemos observar que los cuatro tipos de pórticos presentan un comportamiento muy parecido, apreciándose un aumento de dicho costo total a medida que aumentas las luces.

Como resultado del análisis realizado se pudo concluir que: Para las luces de 24 y 30 m la variante más racional serían los pórticos biarticulados y Para la luz de 36 m la variante más racional la presentan los pórticos biempotrados.

## **CONCLUSIONES**

- Se obtuvo información satisfactoria en la revisión bibliográfica, de la temática objeto de estudio. Los tipos de pórticos más utilizados son los triarticulados, los empotrados y los biarticulados; los que son empotrados en la base y poseen una articulación en la unión superior, no son muy empleados en la construcción. Existen distintos tipos de uniones, pero las más empleadas son las rígidas y las articuladas.
- Los pórticos articulados en la base, ofrecen menos resistencia al desplazamiento, teniendo que recurrirse al uso de perfiles más pesados a la hora de su construcción.
- Los pórticos empotrados en la base, al ofrecer mayor resistencia al desplazamiento y mejor respuesta a la hora de transmitir las cargas a los cimientos, requieren perfiles menos pesados, sin embargo, generan momentos en la base, lo que aumenta de manera significativa las dimensiones de la misma. Y con eso hay un mayor gasto de hormigón y barras de acero.
- Finalizado el estudio, los resultados ponen claramente de manifiesto las ventajas de los pórticos articulados en la base (biarticulado y triarticulado) desde el punto de vista de la cimentación, ya que requiere menos volumen de hormigón y barras de acero. Por otra parte, los pórticos empotrados en la base (empotrado y empotrado en la base con una articulación en la unión superior) desde el punto de vista de la estructura metálica son más racionales, ya que al tener mayor rigidez ofrecen más resistencia a los desplazamientos, por lo que permite que se obtengan perfiles con secciones más pequeñas.
- Cuando se analiza el coste total de la estructura (estructura metálica más cimentación) se concluye que los pórticos biarticulados para las luces de 24 y 30 m son los más racionales, mientras que los pórticos biempotrados para las de 36 m resultan ser la opción más económica.

## **RECOMENDACIONES**

Para luces de 24 y 30 m se recomienda utilizar pórticos biarticulados, y para los de 36 m utilizarlos biempotrados.

Para el caso de los pórticos empotrados en la base, se recomienda la utilización de cimentación corrida.

Se recomienda hacer este mismo análisis para mayores dimensiones de intercolumnios.

Se recomienda diseñar los cimientos para otros tipos de suelo.

Realizar un análisis y diseño de las uniones, sobre todo de la unión viga-columna, y de la unión columna-cimiento (base de columna mencionada y no realizado en este trabajo).

Con la idea de completar y perfeccionar este trabajo se recomienda incluir el costo de ejecución.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Arrellano, R. (2012). Apuntes Curso Estructural de Acero I (Vol. EPN). Quito.
- Bresler, S. (1999). Diseño de estructuras de acero. México.
- Coxe, V. (2018). "Análisis Comparativo de pórticos de acero de medianas y grandes luces con diferentes condiciones de apoyo". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Santa Clara.
- Cueva, J. S. (2015).), Univesidad de Cuenca.
- De la Cruz, M. P., & Del Caño, A. (2001).), Escuela politécnica superior Universidad de la Coruña.
- García, G. (2009).), Univercidad Politécnica de Madrid.
- . Greek architecture. (1968) Encyclopedia Britannica.
- Leet, K. (2006). Fundamentos de análisis estructural. US: Graw Hill.
- Machado, V. (2018). "Análisis comparativo de pórticoc de medianas y grandes luces con diferentes condiciones de apoyo". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Malley, J. O. (1998). "SAC Steel Project: Summary of Phase 1 Testing Investigation Results". Engineering Structures, 20, 300-309.
- Montero, J., Galletero, P., Expósito, D., & Díaz, J. I. (2004). Pórticos de nudos rígidos frente a pórticoc biarticulados en la construcción de estructuras metálicas. Universidad de Castilla, La Mancha, España.
- PRECONS. (2005). Sistema de Precios de la Construcción. In D. d. P. y. P. d. M. d. I. Construcción & E. d. I. y. A. p. I. construcción (Eds.). Habana: OBRAS.
- RSCS. (2009). "Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts". Chicago: Research Concil on Structural Connection.
- Sócola, P. (2015). "Análisis estructural y económico de alternativas para estructuras industriales de acero de alma llena conformado por placas soldadas". (Tesis en adopción a título de Ingeniería Civil), Pontifica Universidad católica de Ecuador, Quito.
- Teleman, C. (2014). Portal Frames for Industrial Buldings. ICE, III, 22.
- Villora, A. (2006). "Comportamiento de los nudos semirígidos en estructuras metálicas de edificación". (Doctoral), Universida Politécnica de Valencia, Valencia, España.

## ANEXOS

### Costo de la cimentación

#### Presupuesto de hormigón:

##### Pórtico empotrado

Luces(m)	Alturas(m)	L (m)	B(m)	H(m)	volumen	costo/m3	costo (pesos)
24	8.4	5.3	5.3	2	56.18	5.42	304.4956
	9.6	4.85	4.85	2	47.045	5.42	254.9839
	10.8	5.05	5.05	2	51.005	5.42	276.4471
30	8.4	6.4	6.4	2	81.92	5.42	444.0064
	9.6	6.2	6.2	2	76.88	5.42	416.6896
	10.8	6.15	6.15	2	75.645	5.42	409.9959
36	8.4	8.85	8.85	2	156.645	5.42	849.0159
	9.6	6.8	6.8	2	92.48	5.42	501.2416
	10.4	6.65	6.65	2	88.445	5.42	479.3719

Anexo1. Costo de la cimentación. Presupuesto de hormigón. Pórtico empotrado.

##### Pórtico biarticulado

Luces(m)	Alturas(m)	L (m)	B(m)	H(m)	volumen	costo/m3	costo (pesos)
24	8.4	2.15	2.15	2	9.245	5.42	50.1079
	9.6	1.95	1.95	2	7.605	5.42	41.2191
	10.8	2	2	2	8	5.42	43.36
30	8.4	2.6	2.6	2	13.52	5.42	73.2784
	9.6	2.4	2.4	2	11.52	5.42	62.4384
	10.8	2.35	2.35	2	11.045	5.42	59.8639
36	8.4	2.9	2.9	2	16.82	5.42	91.1644
	9.6	2.7	2.7	2	14.58	5.42	79.0236
	10.4	2.65	2.65	2	14.045	5.42	76.1239

Anexo. Costo de la cimentación. Presupuesto de hormigón. Pórtico biarticulado.

##### Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luces(m)	Alturas(m)	L (m)	B(m)	H(m)	volumen	costo/m3	costo (pesos)
24	8,4	5,9	5,9	2	69,62	5,42	377,3404
	9,6	5,7	5,7	2	64,98	5,42	352,1916
	10,8	5,75	5,75	2	66,125	5,42	358,3975
30	8,4	6,65	6,65	2	88,445	5,42	479,3719
	9,6	6,65	6,65	2	88,445	5,42	479,3719
	10,8	6,6	6,6	2	87,12	5,42	472,1904
36	8,4	7,35	7,35	2	108,045	5,42	585,6039
	9,6	7,4	7,4	2	109,52	5,42	593,5984
	10,4	7,4	7,4	2	109,52	5,42	593,5984

Anexo 3. Costo de la cimentación. Presupuesto de hormigón. Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior.

#### Pórtico triarticulado

Luces(m)	Alturas(m)	L (m)	B(m)	H(m)	volumen	costo/m3	costo (pesos)
24	8,4	2,6	2,6	2	13,52	5,42	73,2784
	9,6	2,35	2,35	2	11,045	5,42	59,8639
	10,8	2,35	2,35	2	11,045	5,42	59,8639
30	8,4	2,9	2,9	2	16,82	5,42	91,1644
	9,6	2,7	2,7	2	14,58	5,42	79,0236
	10,8	2,55	2,55	2	13,005	5,42	70,4871
36	8,4	3,25	3,25	2	21,125	5,42	114,4975
	9,6	3,5	3,5	2	24,5	5,42	132,79
	10,4	2,9	2,9	2	16,82	5,42	91,1644

Anexo 4. Costo de la cimentación. Presupuesto de hormigón. Pórtico triarticulado.

#### Presupuesto de acero:

##### Pórtico empotrado

Luces (m)	Alturas (m)	volumen (m3)	peso (t)	costo/t	costo (pesos)
24	8,4	0,154	1,184	78,22	92,598
	9,6	0,119	0,915	78,22	71,572
	10,8	0,132	1,011	78,22	79,106
30	8,4	0,278	2,133	78,22	166,841
	9,6	0,250	1,923	78,22	150,403
	10,8	0,244	1,872	78,22	146,408
36	8,4	0,452	3,473	78,22	271,676
	9,6	0,331	2,542	78,22	198,849
	10,8	0,309	2,371	78,22	185,425

Anexo 5. Costo de la cimentación. Presupuesto de acero. Pórtico empotrado.

## Pórtico biarticulado

Luces (m)	Alturas (m)	volumen (m3)	peso (t)	costo/t	costo (pesos)
24	8,4	0.014	0.108	78,22	8.424
	9,6	0.011	0.086	78,22	6.758
	10,8	0.012	0.089	78,22	6.940
30	8,4	0.021	0.161	78,22	12.556
	9,6	0.017	0.134	78,22	10.502
	10,8	0.017	0.131	78,22	10.273
36	8,4	0.028	0.212	78,22	16.620
	9,6	0.024	0.182	78,22	14.246
	10,8	0.023	0.179	78,22	13.972

Anexo 6. Costo de la cimentación. Presupuesto de acero. Pórtico biarticulado.

## Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luces (m)	Alturas (m)	volumen (m3)	peso (t)	costo/t	costo (pesos)
24	8,4	0.216	1.659	78,22	129.765
	9,6	0.191	1.471	78,22	115.063
	10,8	0.197	1.517	78,22	118.670
30	8,4	0.309	2.371	78,22	185.425
	9,6	0.309	2.371	78,22	185.425
	10,8	0.301	2.315	78,22	181.041
36	8,4	0.419	3.216	78,22	251.586
	9,6	0.427	3.281	78,22	256.654
	10,8	0.427	3.281	78,22	256.654

Anexo 7. Costo de la cimentación. Presupuesto de acero. Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior.

## Pórtico triarticulado

Luces (m)	Alturas (m)	volumen (m3)	peso (t)	costo/t	costo (pesos)
24	8,4	0.019	0.146	78,22	11.415
	9,6	0.017	0.131	78,22	10.273
	10,8	0.017	0.131	78,22	10.273
30	8,4	0.026	0.196	78,22	15.342
	9,6	0.022	0.167	78,22	13.059
	10,8	0.020	0.157	78,22	12.305
36	8,4	0.038	0.294	78,22	23.013
	9,6	0.047	0.357	78,22	27.944
	10,8	0.030	0.229	78,22	17.899

## Anexo 8. Costo de la cimentación. Presupuesto de acero. Pórtico triarticulado.

**Costo de la superestructura**

## Pórtico empotrado

Luces	Alturas	Elementos	Perfiles	peso (t)	costo/tonelada	costo(pesos)	total
24	8.4	columnas	W40x183	65.85824	26.33	1.734.05	17.099.01
		vigas	W30x173	74.21653	54.12	4.016.60	
		riostras	L808018	72.84844	113.61	8.276.31	
		purling	C12x25	44.24035	69.44	3.072.05	
	9.6	columnas	W40x192	78.70671	26.33	2.072.35	18.205.40
		vigas	W30x173	74.21653	54.12	4.016.60	
		riostras	L808018	74.20115	113.61	8.429.99	
		purling	C12x30	53.08842	69.44	3.686.46	
	10.8	columnas	W14x730	335.7857	26.33	8.841.24	23.161.88
		vigas	W33x141	60.48862	54.12	3.273.64	
		riostras	L808018	75.60388	113.61	8.589.36	
		purling	C12x20	35.39228	69.44	2.457.64	
30	8.4	columnas	W44x262	114.895	26.33	3.025.19	26.889.40
		vigas	W40x268	143.7141	54.12	7.777.81	
		riostras	L808018	86.07049	113.61	9.778.47	
		purling	C15x33	90.84018	69.44	6.307.94	
	9.6	columnas	W44x262	130.818	26.33	3.444.44	27.462.34
		vigas	W40x268	143.7141	54.12	7.777.81	
		riostras	L808018	87.42321	113.61	9.932.15	
		purling	C15x33	90.84018	69.44	6.307.94	
	10.8	columnas	W44x262	146.7409	26.33	3.863.69	26.337.62
		vigas	W44x262	140.4966	54.12	7.603.68	
		riostras	L808018	88.82593	113.61	10.091.51	
		purling	C12x25	68.81832	69.44	4.778.74	
36	8.4	columnas	W40x431	222.9046	26.33	5.869.08	43.833.31
		vigas	W36x393	252.8939	54.12	13.686.62	
		riostras	L808018	141.2573	113.61	16.048.24	
		purling	C12x30	118.5105	69.44	8.229.37	
	9.6	columnas	W40x480	282.5662	26.33	7.439.97	42.104.51
		vigas	W40x268	172.4569	54.12	9.333.37	
		riostras	L808018	143.2872	113.61	16.278.86	
		purling	C15x33	130.3616	69.44	9.052.31	
	10.8	columnas	W40x503	332.0701	26.33	8.743.41	44.413.11
		vigas	W44x290	186.6138	54.12	10.099.54	

	riostras	L808018	145.3909	113.61	16.517.86
	purling	C15x33	130.3616	69.44	9.052.3066

Anexo 9. Costo de la superestructura. Pórtico empotrado.

Pórtico biarticulado

Luces	Alturas	Elementos	Perfiles	peso (t)	costo/tonelada	costo(pesos)	total	
24	8.4	columnas	W40x183	65.85824	26.33	1.734.05	17.516.92	
		vigas	W30x191	81.93849	54.12	4.434.51		
		riostras	L808018	72.84844	113.61	8.276.31		
		purling	C12x25	44.24035	69.44	3.072.05		
	9.6	columnas	W40x192	78.70671	26.33	2.072.35		17.451.69
		vigas	W40x167	71.64255	54.12	3.877.29		
		riostras	L808018	74.20115	113.61	8.429.99		
		purling	C12x25	44.24035	69.44	3.072.05		
	10.8	columnas	W14x730	335.7857	26.33	8.841.24		23.904.83
		vigas	W30x173	74.21653	54.12	4.016.60		
		riostras	L808018	75.60388	113.61	8.589.36		
		purling	C10x20	35.39228	69.44	2.457.64		
30	8.4	columnas	W24x104	45.60718	26.33	1.200.84	14.924.29	
		vigas	W24x103	55.2334	54.12	2.989.23		
		riostras	L808018	86.07049	113.61	9.778.47		
		purling	C4x5	13.76366	69.44	955.75		
	9.6	columnas	W44x262	130.818	26.33	3.444.44		25.848.04
		vigas	W40x298	159.8015	54.12	8.648.46		
		riostras	L808018	87.42321	113.61	9.932.15		
		purling	C12x20	55.05466	69.44	3.823.00		
	10.8	columnas	W44x262	146.7409	26.33	3.863.69		26.194.48
		vigas	W44x290	155.5115	54.12	8.416.28		
		riostras	L808018	88.82593	113.61	10.091.51		
		purling	C12x20	55.05466	69.44	3.823.00		
36	8.4	columnas	W40x431	222.9046	26.33	5.869.08	45.979.64	
		vigas	W40x431	277.3468	54.12	15.010.01		
		riostras	L808018	141.2573	113.61	16.048.24		
		purling	C15x33	130.3616	69.44	9.052.31		

		columnas	W40x480	282.5662	26.33	7.439.97	
		vigas	W40x431	277.3468	54.12	15.010.01	
		riostras	L808018	143.2872	113.61	16.278.86	
	9.6	purling	C12x30	118.5105	69.44	8.229.37	46.958.21
		columnas	W40x503	332.0701	26.33	8.743.41	
		vigas	W36x439	282.4947	54.12	15.288.61	
		riostras	L808018	145.3909	113.61	16.517.86	
	10.8	purling	C12x30	118.5105	69.44	8.229.3696	48.779.25

Anexo 10. Costo de la superestructura. Pórtico biarticulado.

Pórtico empotrado en la base con una articulación en la unión superior

Luces	Alturas	Elementos	Perfiles	peso (Kg)	peso (t)	costo/tonelada	costo(pesos)	total
		columnas	W40x183	65858.24	65.85824	26.33	1.734.05	
		vigas	W40x192	82367.48	82.36748	54.12	4.457.73	
		riostras	L808018	72848.44	72.84844	113.61	8.276.31	
	8.4	purling	C12x20	35392.28	35.39228	69.44	2.457.64	16.925.73
		columnas	W40x192	78706.71	78.70671	26.33	2.072.35	
		vigas	W40x199	85370.47	85.37047	54.12	4.620.25	
		riostras	L808018	74201.15	74.20115	113.61	8.429.99	
	9.6	purling	C15x33	58397.26	58.39726	69.44	4.055.11	19.177.70
		columnas	W14x730	335785.7	335.7857	26.33	8.841.24	
		vigas	W30x173	74216.53	74.21653	54.12	4.016.60	
		riostras	L808018	75603.88	75.60388	113.61	8.589.36	
	10.8	purling	C15x33	58397.26	58.39726	69.44	4.055.11	25.502.30
		columnas	W44x262	114895	114.895	26.33	3.025.19	
		vigas	W40x244	130844.2	130.8442	54.12	7.081.29	
		riostras	L808018	86070.49	86.07049	113.61	9.778.47	
	8.4	purling	C15x33	90840.18	90.84018	69.44	6.307.94	26.192.88
		columnas	W44x262	130818	130.818	26.33	3.444.44	
		vigas	W40x298	159801.5	159.8015	54.12	8.648.46	
		riostras	L808018	87423.21	87.42321	113.61	9.932.15	
	9.6	purling	C15x33	90840.18	90.84018	69.44	6.307.94	28.332.99
		columnas	W44x262	146740.9	146.7409	26.33	3.863.69	
		vigas	W40x244	130844.2	130.8442	54.12	7.081.29	
		riostras	L808018	88825.93	88.82593	113.61	10.091.51	
	10.8	purling	C12x30	82581.98	82.58198	69.44	5.734.49	26.770.98
30		columnas	W40x431	222904.6	222.9046	26.33	5.869.08	
		vigas	W40x431	277346.8	277.3468	54.12	15.010.01	
36	8.4	riostras	L808018	141257.3	141.2573	113.61	16.048.24	45.979.64

		purling	C15x33	130361.6	130.3616	69.44	9.052.31	
		columnas	W40x480	282566.2	282.5662	26.33	7.439.97	
		vigas	W40x431	277346.8	277.3468	54.12	15.010.01	
		riostras	L808018	143287.2	143.2872	113.61	16.278.86	
	9.6	purling	C12x25	98758.76	98.75876	69.44	6.857.81	45.586.65
		columnas	W40x503	332070.1	332.0701	26.33	8.743.41	
		vigas	W36x439	282494.7	282.4947	54.12	15.288.61	
		riostras	L808018	145390.9	145.3909	113.61	16.517.86	
	10.8	purling	C12x20	79007	79.007	69.44	5.486.2464	46.036.13

Anexo 11. Costo de la superestructura. Pórtico empotrado en la base con una unión en la unión superior.

Pórtico triarticulado

Luces	Alturas	Elementos	Perfiles	peso (Kg)	peso (t)	costo/tonelada	costo(pesos)	total
		columnas	W40x183	65858.24	65.85824	26.33	1.734.05	
		vigas	W40x199	85370.47	85.37047	54.12	4.620.25	
		riostras	L808018	72848.44	72.84844	113.61	8.276.31	
	8.4	purling	C9x20	35392.28	35.39228	69.44	2.457.64	17.088.25
		columnas	W40x192	78706.71	78.70671	26.33	2.072.35	
		vigas	W40x221	94808.41	94.80841	54.12	5.131.03	
		riostras	L808018	74201.15	74.20115	113.61	8.429.99	
	9.6	purling	C12x30	53088.42	53.08842	69.44	3.686.46	19.319.83
		columnas	W14x730	335785.7	335.7857	26.33	8.841.24	
		vigas	W40x192	82367.48	82.36748	54.12	4.457.73	
		riostras	L808018	75603.88	75.60388	113.61	8.589.36	
24	10.8	purling	C12x25	44240.35	44.24035	69.44	3.072.05	24.960.37
		columnas	W44x262	114895	114.895	26.33	3.025.19	
		vigas	W40x372	199483.8	199.4838	54.12	10.796.06	
		riostras	L808018	86070.49	86.07049	113.61	9.778.47	
	8.4	purling	C9x20	55054.66	55.05466	69.44	3.823.00	27.422.71
		columnas	W44x262	130818	130.818	26.33	3.444.44	
		vigas	W40x372	199483.8	199.4838	54.12	10.796.06	
		riostras	L808018	87423.21	87.42321	113.61	9.932.15	
	9.6	purling	C10x15	41290.99	41.29099	69.44	2.867.25	27.039.89
		columnas	W44x262	146740.9	146.7409	26.33	3.863.69	
		vigas	W40x372	199483.8	199.4838	54.12	10.796.06	
		riostras	L808018	88825.93	88.82593	113.61	10.091.51	
30	10.8	purling	C9x13	35785.53	35.78553	69.44	2.484.95	27.236.21
36	8.4	columnas	W40x431	222904.6	222.9046	26.33	5.869.08	43.833.31

	vigas	W36x393	252893.9	252.8939	54.12	13.686.62	
	riostras	L808018	141257.3	141.2573	113.61	16.048,24	
	purling	C12x30	118510.5	118.5105	69.44	8.229.37	
9.6	columnas	W40x480	282566.2	282.5662	26.33	7.439.97	49.465,68
	vigas	W40x503	323678.5	323.6785	54.12	17.517.48	
	riostras	L808018	143287.2	143.2872	113.61	16.278.86	
	purling	C12x30	118510.5	118.5105	69.44	8.229.37	
10.8	columnas	W40x503	332070.1	332.0701	26.33	8.743.41	51.843,94
	vigas	W36x527	339122.4	339.1224	54.12	18.353.30	
	riostras	L808018	145390.9	145.3909	113.61	16.517.86	
	purling	C12x30	118510.5	118.5105	69.44	8.229.3696	

Anexo 12. Costo de la superestructura. Pórtico triarticulado.