

DISEÑO DE UN PÓRTICO RÍGIDO RETICULAR A DOS AGUAS PARA LA CUBIERTA DE UN COMPLEJO DE CANCHAS DE TENIS

Carlos Fierro Izurieta¹, Alfredo Torres González²

¹ Ingeniero Mecánico 2000.

² Director de Tesis. B.S. Ingeniería Mecánica – Universidad de Rhode Island, 1968. Postgrado M.S. Mecánica Aplicada – Universidad de Rhode Island, 1970, Diplomado en Mecánica Estructural - Universidad de Miami, 1980. Profesor de ESPOL desde 1970.

RESUMEN

Este trabajo desarrolla el diseño de un pórtico rígido reticular, a dos aguas, simplemente apoyado, y demás elementos complementarios, para lo cual previamente se realiza la elección del diseño de forma del pórtico.

El método de diseño utilizado es el de diseño por el esfuerzo de trabajo. Este método trabaja con las especificaciones de la octava edición del Manual del Instituto Americano para la Construcción en Acero.

Conociendo el diseño de forma y la carga crítica, se realiza el análisis aproximado del pórtico para determinar las fuerzas internas máximas que soportarán sus elementos. Con estos datos se realiza el diseño aproximado de la estructura. Luego se realiza el análisis y diseño exacto del pórtico, ya que se obtienen las reacciones exactas por medio del método del trabajo virtual. Se verifican si las secciones asignadas satisfacen las condiciones de carga, en caso contrario se tiene que repetir el proceso de análisis exacto con los cambios realizados hasta que se satisfagan las condiciones del diseño. Se diseñan los elementos complementarios de la estructura. Finalmente se realiza el análisis del pórtico utilizando un software de análisis de estructuras como el SAP 90, para así poder determinar la eficiencia del diseño realizado.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el diseñar la estructura metálica básica para la construcción de un complejo de canchas de tenis cubiertas, cumpliendo con las especificaciones de diseño dadas por la octava

edición del manual del Instituto Americano para la Construcción en Acero (AISC). Esta estructura está integrada principalmente por el marco o pórtico rígido y los largueros, así como también los demás elementos complementarios que servirán para el soporte y unión de los distintos elementos principales.

Las ventajas de la construcción de estructuras de acero frente a otro tipo de construcciones son entre otras su alta resistencia, elasticidad y ductilidad. Pero puede ser que la principal ventaja de este tipo de construcciones es la rapidez de su montaje, ya que se pueden prefabricar en plantas y luego montar en obra. Entre las desventajas que presentan es que son más vulnerables a la corrosión, son susceptibles al pandeo y al fuego, y su costo es un poco elevado. Pero estas desventajas pueden ser controladas con un buen mantenimiento y un factor de seguridad apropiado en el diseño de la estructura. Además la desventaja en el costo puede ser compensada con la rapidez en su montaje.

La principal característica del pórtico a diseñarse es que se trata de un pórtico reticular o de alma abierta. Este tipo de pórticos es el más comúnmente utilizado en la mayoría de obras en la ciudad de Guayaquil, como edificios comerciales e industriales, coliseos deportivos y demás estructuras similares, ya que resulta mucho más económico que el pórtico de alma llena cuando actúan sobre la estructura cargas moderadas, ya sea carga muerta y cargas ambientales.

El trabajo presenta las pautas y pasos necesarios para efectuar el diseño de este tipo de pórticos. Esto es de mucha importancia y tendrá una gran utilidad, ya que la mayoría de textos tiene información acerca del diseño de pórticos de alma llena, mas no del diseño de pórticos de alma abierta.

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.

1.1. Dimensiones y Distribución del Complejo de Canchas.

El complejo estará compuesto por tres canchas reglamentarias de tenis de campo. La cancha es de forma rectangular de 23.77 metros de largo y 10 metros de ancho. Según las disposiciones reglamentarias para seguridad debe de existir en los fondos de la cancha un espacio libre mínimo de 7 metros por cada lado. La separación o espacio libre mínimo a los lados de una cancha debe ser de 3.5 metros. Con estas condiciones se obtiene que las dimensiones recomendadas para un complejo cubierto de tres canchas de tenis es de 51 metros o 168 pies de largo por 38 metros o 125 pies de ancho.

Para canchas cubiertas se recomienda una altura libre de aproximadamente 12 metros o 39 pies.

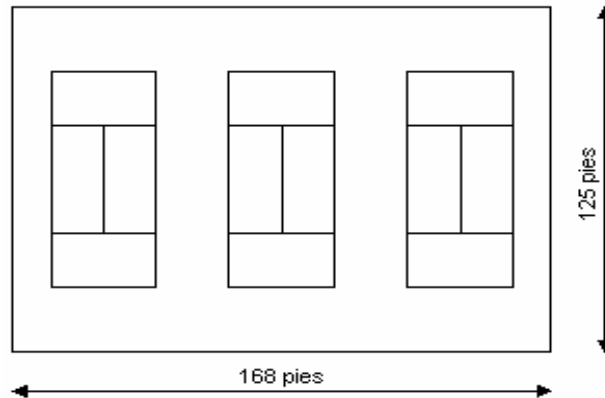


FIGURA 1 DIMENSIONES Y DISTRIBUCIÓN DEL COMPLEJO DE CANCHAS

1.2. Dimensiones del Pórtico Rígido Reticular.

La estructura de acero que mejor se ajusta a estas condiciones por economía y ahorro en altura libre es el pórtico o marco rígido. La mayor parte de los pórticos rígidos tienen apoyos articulados o se dice que son simplemente apoyados, es decir que sus apoyos no tienen restricción al momento. Las dimensiones del complejo de canchas son de 168 por 125 pies. De acuerdo a esto el pórtico a diseñarse tendrá un claro o luz de 125 pies. Para edificios o construcciones de este tipo se recomienda como el espaciamiento más económico entre pórticos, valores entre 22 y 28 pies, cuando estos soportan cargas promedio. Por esto, la estructura estará formada por siete pórticos separados 28 pies entre sí. La altura máxima de cada pórtico será de 39 pies.

De acuerdo a la conformación de la estructura interna de un pórtico, este puede ser de alma llena o reticular o de alma abierta. Cuando no se soportan cargas demasiado elevadas y el claro del pórtico es relativamente grande, por economía se recomienda construir un marco reticular o de alma abierta. Como su nombre lo indica, esta clase de pórticos se caracterizan por no tener el alma o cuerpo de la estructura cubierta o llena en su totalidad, sino que su alma está formada por ángulos dobles o celosías en forma de retículas que sirven como refuerzos de los elementos principales o canales. De acuerdo a las diferentes recomendaciones de los libros de diseño de estructuras, las dimensiones totales que tendrá el pórtico se indican en la figura 2.

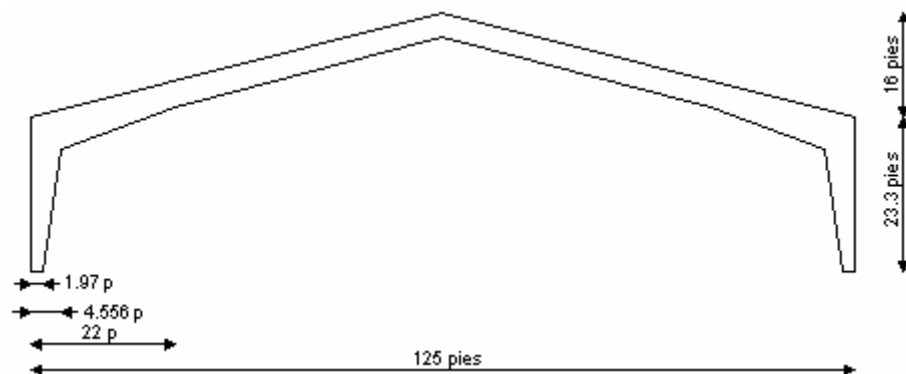


FIGURA 2 DIMENSIONES DEL PÓRTICO RÍGIDO RETICULAR

1.3. Cargas de Diseño.

Las cargas aplicadas en el diseño del pórtico rígido reticular son la carga muerta, las cargas vivas y las cargas ambientales. Como carga muerta se considera la carga debida al peso propio de la estructura y de los largueros, y la carga de la cubierta. Como cargas vivas se consideran las cargas de montaje, las cargas de lluvia, entre otras. Entre las cargas ambientales se consideran las cargas de viento y las cargas de sismo. A continuación se detallan los valores de las cargas de diseño.

- Carga muerta
 - ◆ Peso propio 20 kg/m^2 o 4 lb/pie^2 de proyección horizontal.
 - ◆ Carga de cubierta 10 kg/m^2 o 2 lb/pie^2 de proyección horizontal.
- Carga viva (montaje, lluvia) 50 kg/m^2 o $10,24 \text{ lb/pie}^2$ de proyección horizontal.
- Carga sísmica 10% de la carga muerta o 0.6 lb/pie^2 de superficie vertical.
- Velocidad de viento máxima 80 km/h o 50 millas/h , carga de viento 8.3 lb/pie^2 de superficie vertical.

2. ANÁLISIS Y DISEÑO APROXIMADO DEL PÓRTICO.

El método de análisis que se utilizará, será el del cortante y el momento, mientras que el diseño se realizará por medio del método de esfuerzo permisible o esfuerzo de trabajo. El análisis consiste en determinar las fuerzas internas de los elementos críticos del pórtico, para que con estos valores se pueda realizar el diseño o dimensionar las secciones de los diferentes elementos. En este capítulo se procede a realizar el análisis y diseño aproximado debido a que las fuerzas internas son encontradas con un valor aproximado de la reacción horizontal en el apoyo, utilizando las fórmulas aproximadas de Griffiths.

2.1. Diseño de Largueros y Templadores.

Los largueros tienen como principal función soportar directamente la cubierta o techo, y proporcionar apoyo lateral a las vigas del marco. Como largueros se utilizan principalmente canales o correas. Los largueros se asientan sobre el alma del canal superior de las vigas, proporcionándole apoyo lateral. Se colocarán 13 canales o largueros en la mitad del pórtico, es decir asentados alternadamente de dos en dos sobre cada nudo superior de la viga. Se diseñarán como miembros sujetos a flexión asimétrica. Por lo tanto, después del diseño, se concluye que por cada pórtico se utilizarán como largueros, 26 canales C 6x8.2 de 28 pies de longitud, para soportar la carga viva y la carga de cubierta. Los templadores serán varillas de acero ASTM A36 de 5/8 de pulgadas de diámetro, colocados en los tercios de los largueros para brindarles apoyo en su eje débil.

2.2. Análisis Aproximado del Pórtico.

Utilizando las fórmulas de Griffiths se determina que la combinación de cargas que provocará los mayores valores de fuerzas internas en el pórtico, es decir la carga crítica, es la combinación de carga muerta más carga viva. La reacción horizontal aproximada de esta combinación de cargas es 19.59 kips y la reacción vertical es 27.97 kips. Para la selección de la forma de la columna va a prevalecer el criterio de practicidad en el montaje de la obra antes que el de economía. Por este motivo, se seleccionará el diseño de forma con celosías horizontales y diagonales.

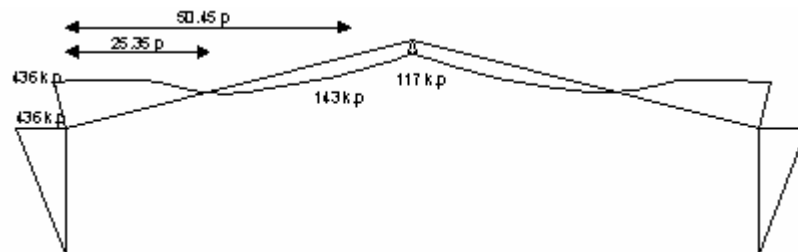


FIGURA 3 DIAGRAMA DE MOMENTOS DEL PÓRTICO

Observando el diagrama de momentos del pórtico, se nota que los mayores momentos se producen en la rodilla, por ende esta será la zona crítica.

Por economía y practicidad en el montaje el mejor diseño de forma para la viga es el que utiliza las celosías principales verticales. Por ende el diseño de forma del pórtico será el que se muestra en la figura 4.

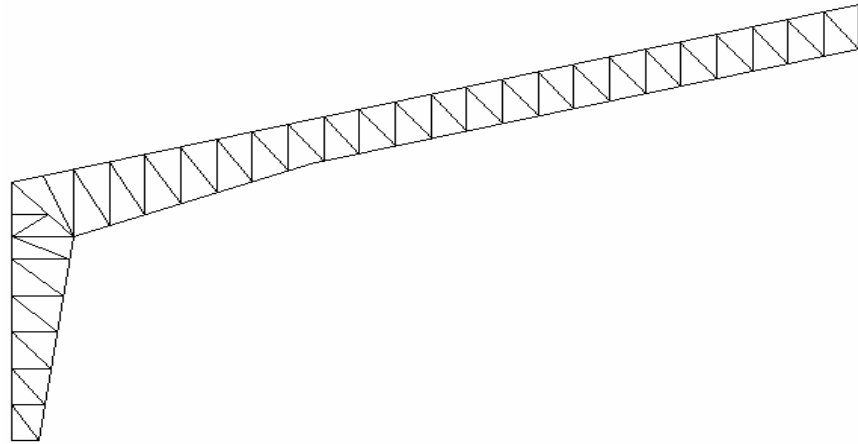


FIGURA 4 DISEÑO DE FORMA DEL PÓRTICO

Para su análisis, se determinan las fuerzas internas máximas de cada uno de los elementos que conforman el pórtico, dividiéndolos por cada una de sus partes, las cuales son columna, rodilla y viga. A continuación se presenta un ejemplo de como se realiza el análisis por el método del cortante y el momento en una determinada sección. Primero se realiza el equilibrio estático de fuerzas en la sección, y estas fuerzas son distribuidas en los diferentes elementos, los cuales son el canal externo, el canal interno y la celosía diagonal o ángulo doble. Para el análisis de la columna se desprecia el momento flector provocado por la reacción vertical, con lo cual se le dá un mayor factor de seguridad al diseño.

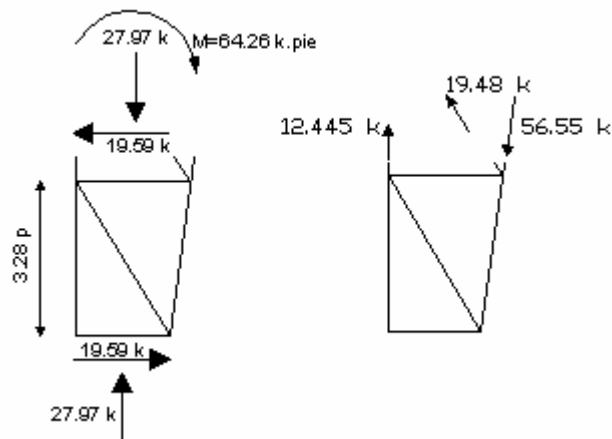


FIGURA 5 ANÁLISIS POR EL MÉTODO DEL CORTANTE Y EL MOMENTO

El análisis de la viga y de la rodilla se realiza de una forma similar, para así determinar las fuerzas internas de los elementos críticos.

2.3. Diseño Aproximado del Pórtico.

Una vez realizado el análisis de cada uno de los elementos críticos del pórtico, se procede a diseñar estos elementos utilizando las fuerzas internas críticas. Cada uno de los elementos trabaja bajo la acción de una carga axial, la cual puede ser de tensión o compresión, por lo que el diseño por el método del esfuerzo de trabajo se realiza solamente para tensión o compresión. Una vez realizado el diseño para los elementos críticos, y acomodando el diseño de acuerdo a la practicidad del montaje, los perfiles AISC que se utilizarán se muestran en la siguiente figura.

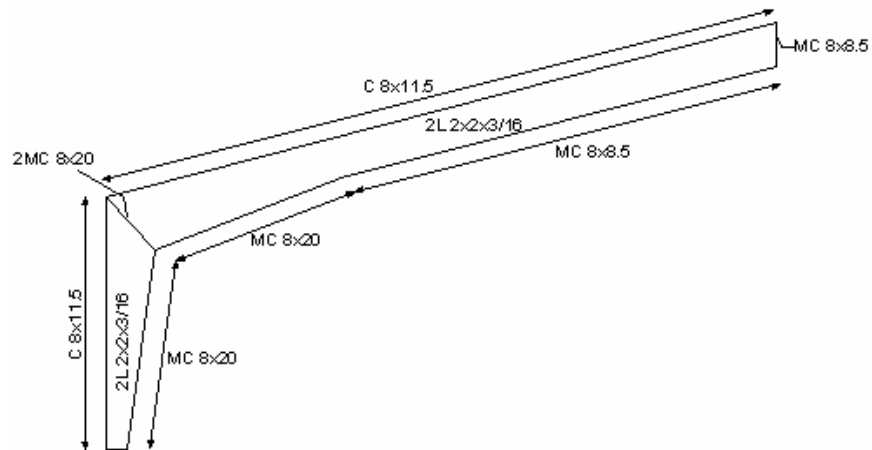


FIGURA 6 DISEÑO APROXIMADO DEL PÓRTICO

El peso propio del diseño aproximado de la mitad del pórtico es de 3662.73 libras o 3.66 kips. Al calcular la carga por unidad de área del peso propio del pórtico se demuestra que el valor de 4 lb/p^2 asumido, es un buen aproximado ya que el valor de carga de peso propio obtenido con el diseño aproximado es de 3.84 lb/p^2 .

3. ANÁLISIS Y DISEÑO EXACTO DEL PÓRTICO.

A continuación se procede a realizar el análisis y diseño exacto del pórtico, debido a que el análisis de las fuerzas internas se lo realiza utilizando la reacción horizontal exacta, la cual se la encuentra por medio del método del trabajo virtual, es decir utilizando las inercias de las secciones transversales del pórtico. Por lo tanto el valor de la reacción horizontal exacta será de 21.87 kips. El análisis se lo realiza de la misma forma que el análisis aproximado, es decir utilizando el método del cortante y el momento, y en las secciones críticas del pórtico.

3.1. Diseño Exacto del Pórtico.

El diseño exacto de los elementos del pórtico se lo realiza por el método del esfuerzo de trabajo, para elementos que trabajan sólo en tensión o compresión y queda de la siguiente manera.

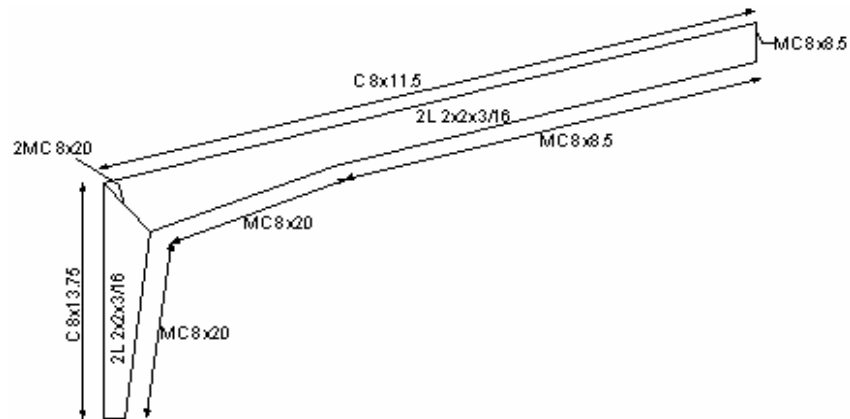


FIGURA 7 DISEÑO EXACTO DEL PÓRTICO

El peso propio exacto de la mitad del pórtico es 3692.51 libras o 3.69 kips. La carga de peso propio real es de 3.85 lb/p^2 , la cual al compararla con la carga asumida en el análisis de la carga crítica que es de 4 lb/p^2 , se concluye que el análisis y diseño realizados se encuentran en un rango aceptable de precisión. Dado que la inercia del diseño exacto del pórtico varía solamente en la columna con respecto a la inercia del diseño aproximado, por el cambio del perfil del canal externo, se puede presumir que al encontrar el valor de la reacción horizontal del nuevo diseño del pórtico utilizando trabajo virtual, variará muy poco a los 21.87 kips obtenidos anteriormente, por esta razón este diseño es el definitivo.

4. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS.

Una vez finalizado el proceso de diseño del marco o pórtico rígido reticular, el que consistió en determinar las secciones de los perfiles que formarán sus elementos, se procede a realizar el diseño de los elementos que no conforman el pórtico en sí, pero que se utilizan en este tipo de estructuras para obtener una mayor eficiencia del diseño. Estos elementos complementarios de la estructura son la placa base para las columnas, los pernos de anclaje de la placa base a la cimentación de concreto y los tirantes para contraventeo o arriostamiento longitudinal.

Además aunque no es un elemento complementario, ya que nos sirve de unión entre los distintos elementos del pórtico, el diseño de la soldadura se la incluye dentro de este capítulo. Las uniones de las columnas con las

vigas en las rodillas, de las dos vigas en el punto medio del pórtico, de la columna con la placa base, de los canales con las celosías, de los largueros con las vigas y de los tirantes con las vigas, son uniones soldadas y por ende se deben determinar el tipo, el espesor y la longitud de la soldadura.

Utilizando los criterios de la octava edición del manual del AISC, se determina que la placa base de la columna tendrá las siguientes dimensiones 30 x 15 x 3/8 pulgadas, y que para fijar la placa base a la cimentación se escogen seis pernos ASTM A325 de diámetro 5/8 de pulgada. Para el contraventeo en los pórticos se utilizarán tirantes de acero ASTM A36 de diámetro igual a 3/4 de pulgada y 35.46 pies de longitud total, alternados en la cuerda superior de la viga del pórtico. Para el diseño de los cordones de soldadura, primeramente se determinan bajo que tipos de esfuerzos trabajan, y utilizando las normas del AISC y del AWS se procede a determinar el espesor de los mismos.

5. COMPARACIÓN ENTRE EL PRESENTE MÉTODO DE ANÁLISIS Y EL EFECTUADO POR EL PROGRAMA SAP 90.

Para determinar la eficiencia del método de análisis utilizado, se procede a comparar los valores de las fuerzas internas críticas obtenidos en este documento, con los valores obtenidos por medio del programa SAP 90. A continuación se detallan estos valores en la tabla 1.

TABLA I COMPARACIÓN DE LAS FUERZAS INTERNAS CRÍTICAS POR LOS DOS MÉTODOS DE ANÁLISIS

		Análisis de la Tesis	Análisis del Programa SAP 90	
Fuerzas Críticas		Fuerza Axial (Kips)	Fuerza Axial (Kips)	% Error
Reacción vertical V		27.97	27.97	0
Reacción horizontal H		21.87	20.39	7.26
Columna				
Canal externo		74.35	61.93	20.05
Canal interno		- 105.23	- 90.71	16
Celosía diagonal		24.81	22.74	9.10
Viga				
Canal externo		53.48	45.97	16.34
Canal interno		- 84	- 74.91	12.13
Celosía diagonal		10.32	10.15	1.67
Rodilla				
Canal externo	Vertical	77.63	64.12	21.07
	Inclinado	60.57	50.78	19.28
Celosía diagonal principal		- 86.15	- 71.13	21.12

Como se observa en la tabla I, los valores de las fuerzas internas críticas obtenidos por el método de análisis utilizado, son mayores a los valores

de las fuerzas internas críticas obtenidos por el programa SAP 90 con una diferencia que varía desde el 1.67% hasta el 21.12%. Por este motivo se determina que los perfiles utilizados en el diseño exacto del pórtico, también satisfacen los requerimientos de las fuerzas internas críticas que nos da el programa SAP 90.

CONCLUSIONES

1. Con el trabajo realizado en este documento, se concluye que se puede diseñar un pórtico rígido reticular rápidamente, si tomamos las recomendaciones de la tesis, y sin necesidad de utilizar la ayuda de un programa o software. Además, la mayoría de los programas existentes se encargan solamente de analizar las estructuras, no de diseñarlas, ya que se deben proporcionar los datos de los perfiles que conforman la estructura, para que el programa realice el análisis y por ende dé los valores de las fuerzas internas que soportan las estructuras. El procedimiento utilizado para el diseño del pórtico es muy práctico y sencillo, aplicando cada uno de los pasos seguidos en este documento.
2. Se determina que las fórmulas de Griffiths utilizadas para calcular el valor aproximado de las reacciones horizontales, y el método del trabajo virtual utilizado para calcular el valor exacto de las reacciones horizontales, tienen una gran precisión. El valor de la reacción horizontal obtenida por las fórmulas de Griffiths es de 19.59 kips, y el obtenido por el método del trabajo virtual es de 21.87 kips. Mientras que el valor obtenido por el programa SAP 90 es de 20.39 kips. Es decir, que utilizando las fórmulas de Griffiths se obtuvo un valor en 3.92 por ciento menor y utilizando el método del trabajo virtual se obtuvo un valor en 7.26 por ciento mayor, con respecto al valor obtenido por el programa SAP 90.
3. En el análisis del marco, se comprueba que los máximos esfuerzos se producen en la unión de la columna con la viga, es decir en la rodilla. Por este motivo la sección transversal en esta parte del pórtico es la más grande, para que se distribuyan mejor las fuerzas internas en los diferentes elementos. Además, también esta es la razón por la cual al utilizar el método del cortante y momento para el análisis del pórtico, sólo se analizan las secciones más cercanas a la rodilla, ya que son las secciones críticas.
4. Se verifica que el método de análisis utilizado para el diseño del pórtico, es decir el método del cortante y momento, es de gran utilidad, sobre todo para el análisis de estructuras de tipo reticular, como los pórticos reticulares o las armaduras. Además es un método de análisis muy

práctico y de una alta eficiencia, ya que al comparar los valores de las fuerzas internas de los elementos del pórtico obtenidos por este método, se comprueba que estos son mayores, variando desde un 2 hasta un 21 por ciento, a los valores obtenidos por medio del programa SAP 90.

REFERENCIAS

1. AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Manual, Octava Edición, Impreso en Estados Unidos de America, 1980.
2. CRAWLEY STANLEY, DILLON ROBERT, Estructuras de Acero Análisis y Diseño, Editorial Limusa, Primera Edición, Impreso en México, 1992.
3. FIERRO CARLOS, Diseño de un Pórtico Rígido Reticular a Dos Aguas para la Cubierta de un Complejo de Canchas de Tenis, (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000).
4. McCORMAC JACK C., Diseño de Estructuras Metálicas, Ediciones Alfaomega, Segunda Edición, Impreso en México, 1991.
5. SCHODEK DANIEL L., Structures, Editorial Prentice – Hall, Primera Edición, Impreso en Estados Unidos de América, 1980.