

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN.

En base a los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en el ámbito de la Ingeniería Rural, he creído oportuno llevar a cabo un estudio en el que poder aplicar y ampliar dichos conocimientos. Con este trabajo ha sido posible el aprendizaje del manejo de programas informáticos como el conocido software de arquitectura de CYPE Ingenieros, ya que hoy en día el diseño de estructuras sería imposible concebir sin dichas herramientas y también aplicaciones informáticas imprescindibles para mi futuro profesional.

Los edificios industriales se caracterizan por la necesidad de cubrir grandes luces, siendo el valor de las cargas de origen gravitatorio de un valor pequeño. Esto origina en el diseño de los diferentes elementos que la forman unas particularidades que sólo se dan en estas construcciones y que se pueden asociar a la importancia que en estas estructuras tienen las cargas horizontales (viento, puentes grúa) y a los fenómenos de inestabilidad como consecuencia de la gran esbeltez de los elementos.

Los elementos fundamentales de la estructura son:

- Las placas de cubierta, que forma el cerramiento superior y aíslan la construcción de los elementos naturales.
- Las correas o elementos secundarios, que reciben las cargas de la cubierta y la transmiten a los elementos principales.
- Los pórticos o elementos principales. Se pueden organizar con perfiles de alma llena (pórticos de nudos rígidos) o formando triangulaciones (celosías).
- Los entramados frontales (pórticos primero y último). Reciben cargas en su plano (de la cubierta a través de las correas) y en el perpendicular (debido al viento).
- Los arriostramientos laterales. Junto con los de cubierta, son los encargados de asegurar la estabilidad de la estructura frente a las acciones horizontales en el sentido longitudinal.



Figura 1: Nave con pórticos poligonales

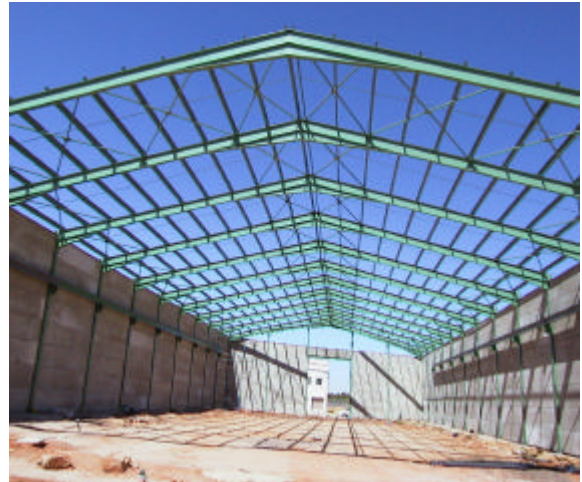


Figura 2: Nave con pórticos a dos aguas

Nuestro estudio se va a centrar en el cálculo de pórticos o elementos principales, considerando éstos biarticulados en la base. Compararemos pórticos de cubierta poligonal (con quiebros), con pórticos a dos aguas.

En todo diseño de estructuras lo que se busca es la optimización del coste económico, lo cual justifica la utilización de pórticos de cubierta poligonal en vez de cubiertas a dos aguas a la hora de salvar grandes luces.

Por poner un ejemplo para un pórtico a dos aguas de 40 metros de luz, 5 metros de altura de pilar, 20% de pendiente, el gasto en acero para su realización sería de 10010 kilos, sin tener en cuenta el acero de las zapatas y las placas de anclaje. Mientras que si dicho pórtico se realizase colocando un quiebro en el dintel (acotaciones más adelante), esta estructura pesaría 6974 kilos, es decir 3036 kilos menos de acero, lo que supondría un ahorro de algo más de un 30% en acero en cada pórtico.

En euros, el acero para el pórtico a dos aguas costaría 5005 € mientras que con la cubierta poligonal (con un quiebro) su valor sería de 3487 €, lo que supone ya un ahorro bastante considerable por pórtico, cuanto más si realizamos una nave de varios pórticos.

II ANTECEDENTES



II. ANTECEDENTES

En la actualidad, existe un estudio relacionado con el tema, diferenciándose en la vinculación de la estructura con la cimentación. En nuestro caso se trata de pilares articulados en su base, mientras que en el estudio al que hacemos mención los pilares son empotrados en su base.

En el citado estudio, sólo se tuvo en cuenta la envolvente máxima de los momentos en los nudos, mientras que en el presente tendremos en cuenta tanto la envolvente máxima de los momentos, como la de los axiles y cortantes, no sólo en los nudos sino también en las barras en las que coincida un esfuerzo máximo.

Al final del trabajo, cuando obtengamos el cuadro de quiebros óptimos, compararemos con el cuadro de quiebros obtenidos para pilares biempotrados, y sacaremos conclusiones entre los intervalos de quiebros óptimos de un estudio y otro.

III. BASES DEL TRABAJO

III. BASES DEL TRABAJO

Este trabajo esta basado en el estudio comparativo de pórticos a dos aguas frente a pórticos de cubierta poligonal (con un quiebro), teniendo en cuenta 3 variables:

- 1.- Luz del pórtico.
- 2.- Altura de los pilares.
- 3.- Pendiente de la cubierta.

Teniendo en cuenta esto, haremos el estudio con pórticos de luces de 20, 25, 30, 35 y 40 metros, alturas de 5, 6 y 7 m. y con 10% y 20% de pendiente.

Para la realización de la cubierta poligonal, se realizará un quiebro entre la clave y los estribos.

Para situar el punto de quiebro se recurre al arco parabólico de igual luz y flecha.

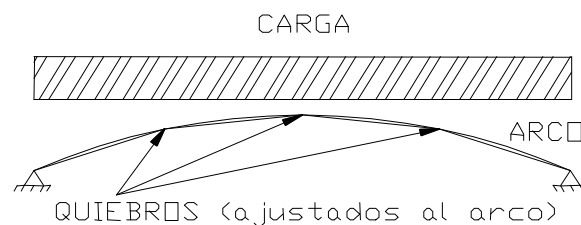


Figura 3: Visión del ajuste de los quiebro al arco

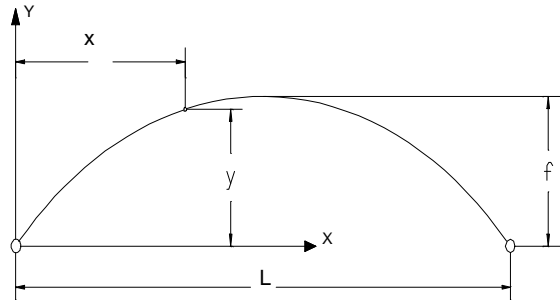
Los distintos quiebro se van a encontrar en la directriz de dicho arco.

La directriz a adoptar para que el arco sea funicular de las cargas es la ecuación deducida de anular los momentos flectores:

$$M(x) = 0 = \frac{p \cdot x \cdot (L - x)}{2} - \frac{p \cdot L^2}{8 \cdot f} \cdot y$$

o sea, la parábola de ecuación

$$y = \frac{4 \cdot x (L - x)}{L^2}$$



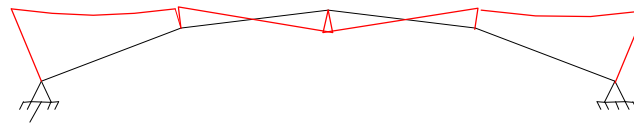
Donde:

f	Flecha del elemento curvo (pendiente en el quiebro); cota Y desde la horizontal que une los apoyos hasta la clave.
L	Luz del elemento curvo.
x e y	Coordenadas del eje con origen en el extremo izquierdo del mismo.
p	Carga sobre el elemento curvo.
M (x)	Momento.

La forma más conveniente de la directriz de los arcos es aquella que corresponde al funicular de las cargas; o dicho con otras palabras, la forma que adoptaría un cable sometido a esas mismas cargas girado 180° respecto al eje horizontal.

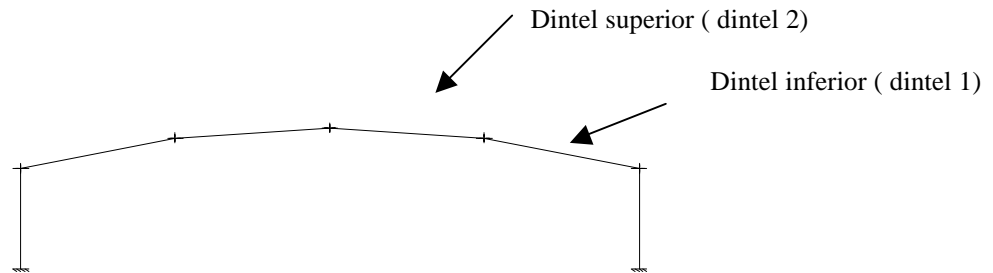
En un arco las fuerzas de sección que predominan son las de compresión en lugar de las de flexión, lo que hace que su resistencia sea muy superior si se les compara a las vigas de igual luz y carga, por lo que lo que se intenta al colocar los quiebros en la directriz del arco es minimizar los esfuerzos de flexión y potenciar los de compresión.

El comportamiento de un arco es tanto más eficaz cuanto más se acerca su línea de presiones -funicular de cargas- a la directriz, ya que los momentos flectores se reducen sensiblemente.

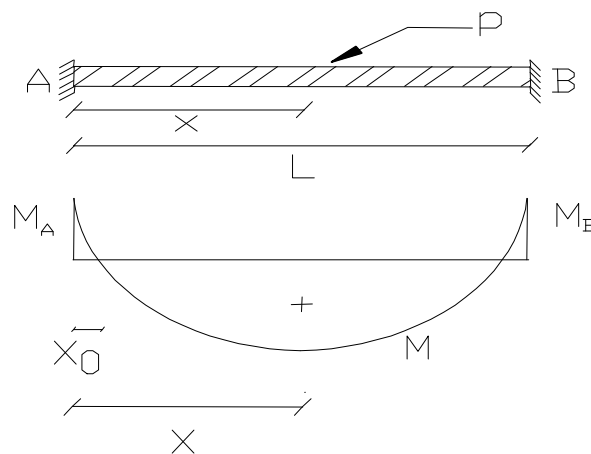


REPRESENTACIÓN DE MOMENTOS

Con esto, se consigue que en el dintel superior se reduzca sustancialmente el perfil con respecto al pórtico a dos aguas, como posteriormente se comprobará.

**Figura 4:** Situación dinteles superior e inferior.

Para fijar las distintas separaciones del quiebro respecto al soporte extremo, o en otras palabras, las distintas abscisas del quiebro, recurrimos a la viga biempotrada con carga uniformemente repartida, en la que el momento nulo se sitúa a $1/5$ de la semiluz (L). A partir de este valor, desplazaremos el punto de quiebro hasta la abscisa extrema de $3/5$ de L , estudiando las solicitaciones y dimensionando las barras en todos los casos, siempre con la referencia del pórtico a dos aguas de iguales variables (luz, pendiente y altura).

**Figura 5:** Esquema de momentos para una viga biempotrada.

$M = 0$ cuando $x_0 = 0.2113L$ lo que es aproximadamente $1/5L$ ($0.2L$)

Dado que la semiluz del pórtico es L , los cortes a efectuar en el eje X para realizar los diferentes quiebros, quedarían hechos a la distancia $1/5$ de L de forma que en la semiluz tendríamos tres cortes principales, más otro corte que haríamos justo a la mitad de la semiluz. Dentro del intervalo $1/5$ a $2/5$ de L , realizaremos otros dos cortes, el primero de ellos correspondiente a $1/5 + 1/15$ de L y el segundo a $1/5 + 2/15$ de L , como se muestra en la figura. De igual modo se procederá en el segmento comprendido entre $2/5$ y $3/5$, con lo que en total se harán ocho cortes en la semiluz.

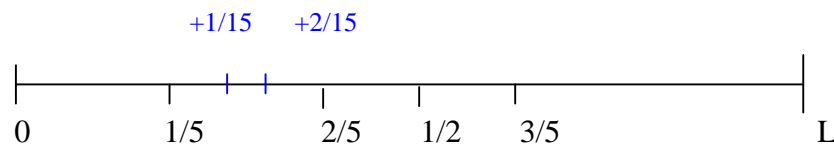


Figura 6: Cortes en el eje X

De este modo al estudiar pórticos de 35 m de luz, 10 % de pendiente y 7 m de altura tendríamos la siguiente estructura con las siguientes nomenclaturas:

NA351007 = nave a dos aguas.

NP351007-1 = nave poligonal con el quiebro a $1/5L$.

NP351007-1+1.15 = nave poligonal con el quiebro a $(1/5 + 1/15)L$.

NP351007-1+2.15 = nave poligonal con el quiebro a $(1/5 + 2/15)L$.

NP351007-2 = nave poligonal con el quiebro a $2/5 L$.

NP351007-2+1.15 = nave poligonal con el quiebro a $(2/5 + 1/15) L$.

NP351007-1/2 = nave poligonal con el quiebro a $1/2 L$.

NP 351007-2+2.15 = nave poligonal con el quiebro a $(2/5 + 2/15) L$.

NP351007-3 = nave poligonal con el quiebro a $3/5 L$.

Donde las dos primeras letras definen si se trata de una nave a dos aguas (NA) o de una nave de cubierta poligonal (NP), los dos primeros dígitos representan la luz del pórtico,

los dos siguientes la pendiente de la cumbrera de la nave y los dos últimos la altura de los pilares, colocando detrás del guión la situación del quiebro.

Por tanto para la elaboración del estudio ha sido necesaria la realización de 270 pórticos, de los cuales 30 de ellos son de cubierta a dos aguas y los 240 restantes son de cubierta poligonal.

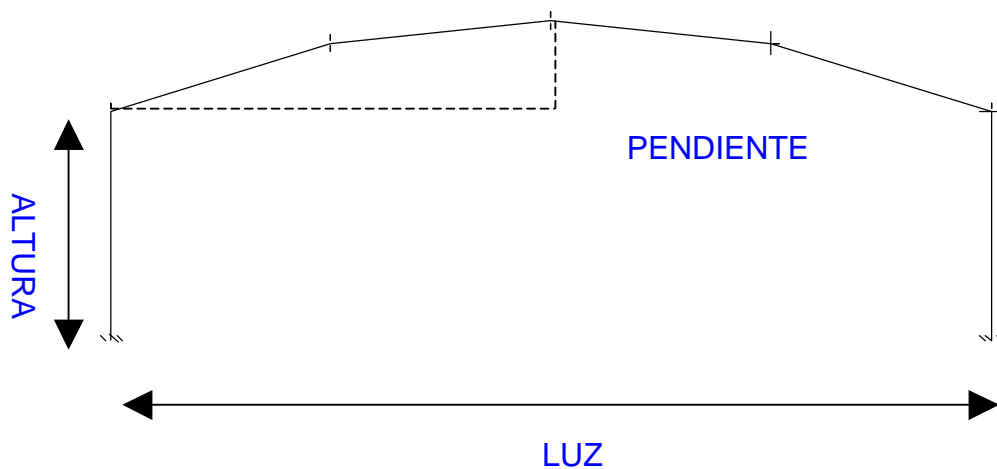


Figura 7: Representación de la luz, altura de pilar y pendiente de la nave.

A la hora de describir los pórticos a dos aguas, no vamos a tener problema, pues quedan definidos perfectamente por la luz, pendiente de su dintel, y la altura de la nave.

En el caso de los pórticos poligonales, la luz y la altura de pilares quedan también perfectamente definidos mientras que la pendiente representa la línea imaginaria que une la cabeza de pilar con la clave, de modo que ninguno de sus dinteles presenta la pendiente que define al pórtico.

Para definir correctamente estos pórticos, hay que fijar el punto de quiebro del dintel, que deberá realizarse en base a las tensiones resistentes y criterios económicos.

Vamos a representar las cotas de dos pórticos.

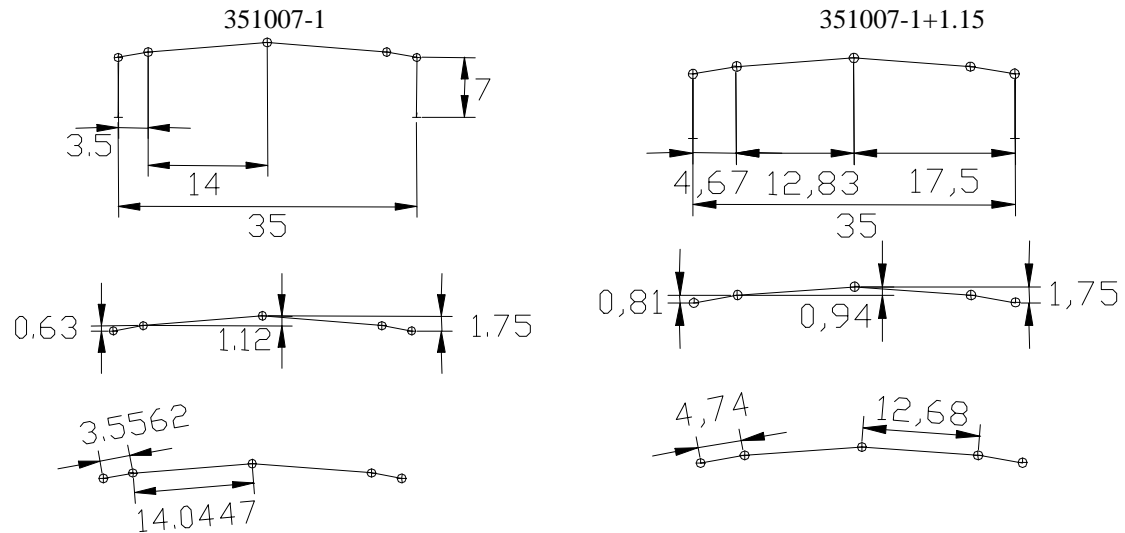
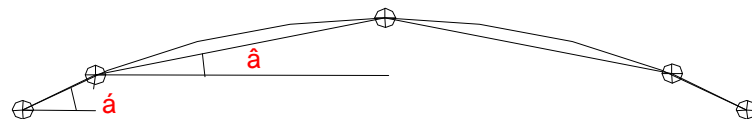


Figura 8: Análisis de las cotas en dos pórticos



â y **â** son ángulos que forman los dos dinteles con la horizontal

Figura 9: Análisis de los ángulos de la cubierta

A medida que el quiebro se desplaza hacia la derecha del pilar, los ángulos que forman cada uno de los dinteles va siendo más pequeño.

Con la finalidad de optimizar el coste económico del material empleado en la estructura metálica, y ayudados del software de ingeniería de CYPE, trataremos de hallar la situación del punto óptimo del quiebro de los pórticos poligonales, para el cual el pórtico es menos costoso en cuanto a kilos de acero se refiere, comparando estas estructuras con los tradicionales pórticos a dos aguas.