6.5

**ÁREA: B**
**MÓDULO: B**

# CERCHAS METÁLICAS

**Ponente: Luis Casado Lantarón**
TEDESA
**Día:** 21/03/07
**Hora:**

# SOSTENIMIENTO CON CUADROS Y CERCHAS METÁLICAS

Luis Casado Lantarón

tedesa
técnicas de entibación s.a.

- TIPOS DE SOSTENIMIENTO MÁS EMPLEADOS:

- MADERA

- BULONES

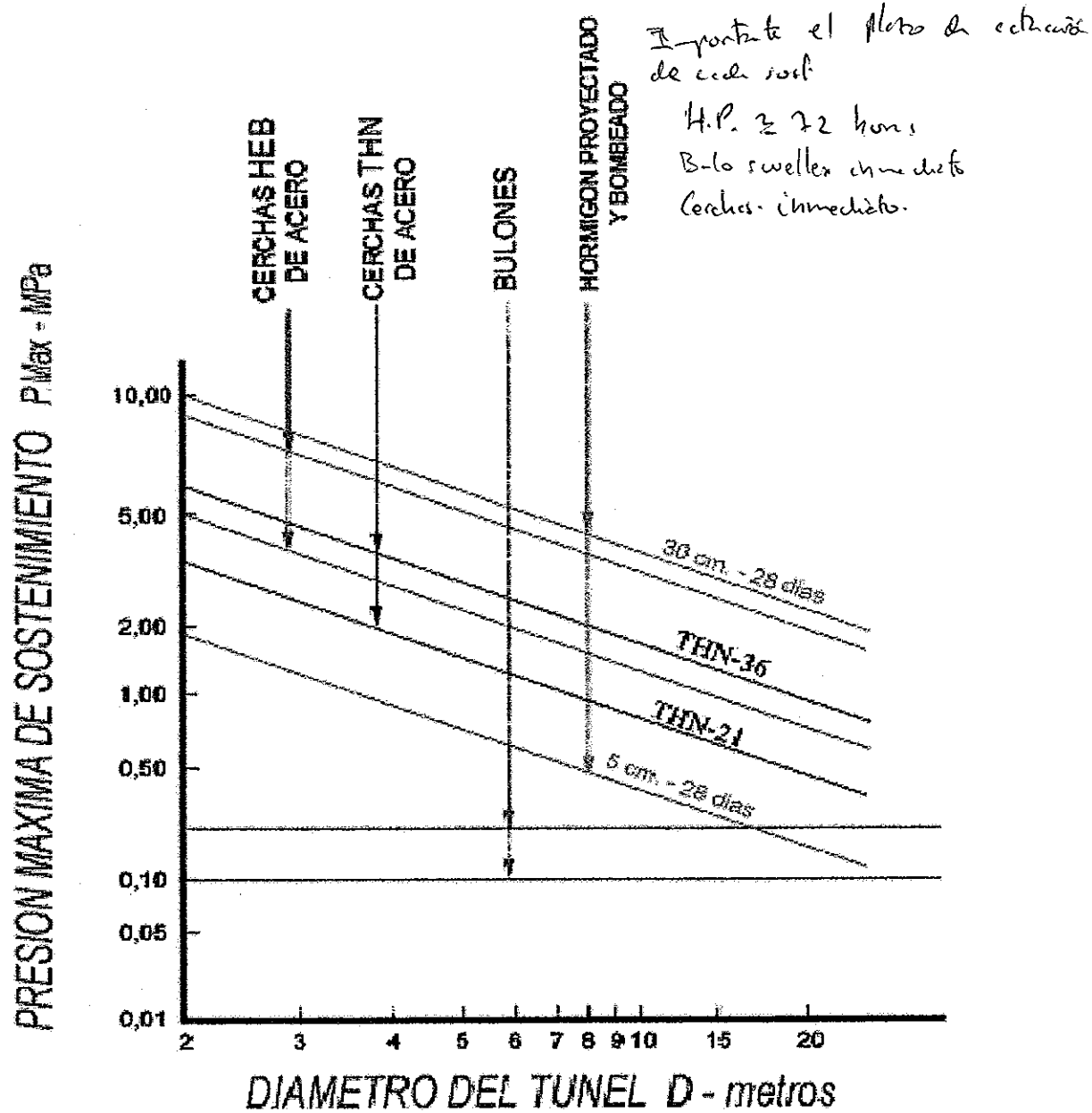
- HORMIGÓN BOMBEADO CON CHAPA TIPO BERNOLD

- HORMIGÓN PROYECTADO

# TIPOS DE SOSTENIMIENTO MÁS UTILIZADOS EN OBRAS SUBTERRÁNEAS Y PRESIONES MÁXIMAS. QUE ALCANZAN EN FUNCIÓN DEL DIAMETRO DE LA GALERÍA

## (para un Túnel de sección circular)

- ***CERCHAS DE ACERO (cada metro)***
- ***BULONES***
- ***HORMIGÓN PROYECTADO (Gunita)***




Según las ecuaciones de Hoek y Brown 1980 y Brady / Brown (1995)

# LAS CERCHAS METÁLICAS

- **¿CUANDO SE COLOCAN?**

- **Como sostenimiento principal, en la minería del carbón.**
- **Como sostenimiento temporal en terrenos de mala calidad.**
- **En la excavación en zonas de falla o de rocas muy fracturadas, para evitar desprendimientos**

- **ALGUNAS VENTAJAS:**

- **Resisten muy bien los esfuerzos de compresión y los de tracción y mantienen su resistencia una vez deformadas**
- **Están fabricadas con materiales homogéneos, de fácil control**
- **Se pueden adaptar a cualquier sección del túnel**
- **Existe un amplio rango de perfiles y de tipos para poder escoger el más adecuado en cada caso.**

- **TIPOS DE METALES EMPLEADOS:**

**ACERO : Se usa un rango medio 0,3-0,7% de C**

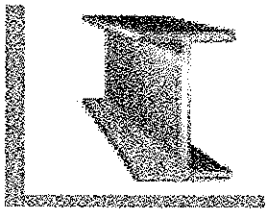
**Para el HEB / IPN : S-275 – JR S / UNE36-080-90**

Los perfiles comunes para la construcción

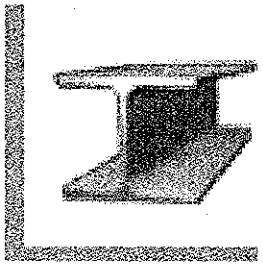
**Para perfil THN: Acero al Manganeso : 31 Mn 4 S/ Din 21544 / UNE 36530: 1999**

## *TIPOS DE PERFILES MAS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE CERCHAS :*

### *I.- Perfiles Comerciales (No específicos) :*

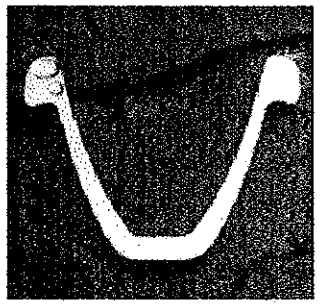


*PERFIL IPN / UPN*

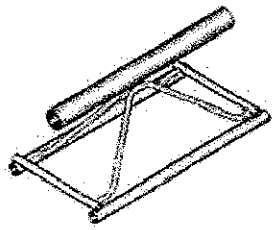


*PERFIL HEB*

### *II.- Perfiles diseñados específicamente :*



*PERFIL Ω (THN)*



*CERCHAS RETICULADAS*

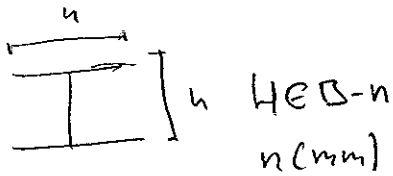
# PERFILES IPN / IPE

- Los perfiles laminados con secciones **IPN / IPE** se basan en una colocación de las masas alejadas del eje neutro, para aumentar su resistencia a los esfuerzos de flexión, pero tienen una resistencia mucho más elevada en el plano de la cercha (**Wxx**) que en el plano normal a ésta (**Wyy**) Por ello se utiliza menos

- Más indicados para esfuerzos de componente únicamente vertical (Módulo resistente **Wxx** más elevado)

- Necesitan más codales (Tresillones) entre cerchas para evitar deformaciones laterales

# PERFILES HEB



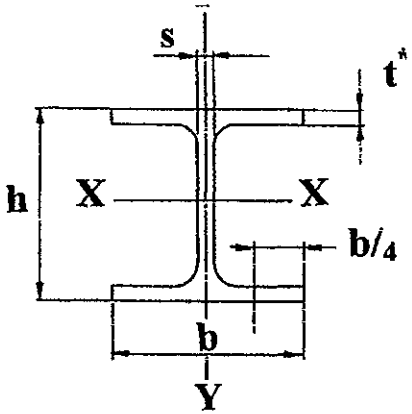

◆Muy adecuados para esfuerzos de componente mayoritariamente vertical, no soportan bien los esfuerzos transversales al plano de la cercha ya que al igual que las IPN su resistencia es mucho mayor para las cargas verticales

◆Tienen una menor resistencia en las juntas (placas de unión), por eso estas deben colocarse en zonas de la cercha sometidas a menores esfuerzos, esta menor resistencia es especialmente importante en el caso de haber deformaciones en la cercha

◆Las medidas más habituales suelen ser HEB-120 / 140 / 160 / 180 y 200

◆Se colocan habitualmente en las boquillas de los túneles, para construir los falsos túneles y en las zonas en las que se esperan grandes presiones (zonas de falla) sobre el sostenimiento, en estos casos se suele recurrir a perfiles del tipo HEB-160 / 180.

# Perfiles HE - Medidas, masas y datos de la sección




| Designación | Medidas en mm | | | | | A | m | Momento de inercia | | Módulo resistente | | Radio de giro | | m²/m | m²/t |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | h | b | s | t | r | cm² | kg/m | $I_x$ | $I_y$ | $W_x$ | $W_y$ | $i_x$ | $i_y$ | | |
| HEA 120* | 114 | 120 | 5 | 8 | 12 | 25,3 | 19,9 | 606 | 231 | 106 | 38 | 4,89 | 3,02 | | |
| **HEB 120*** | 120 | 120 | 6,5 | 11 | 12 | 34,0 | **26,7** | 864 | 318 | **144** | **53** | 5,04 | 3,06 | 0.677 | 34.06 |
| HEM 120 | 140 | 126 | 12,5 | 21 | 12 | 66,4 | 52,1 | 2 018 | 703 | 288 | 112 | 5,51 | 3,25 | 0.738 | 14.16 |
| HEA 140* | 133 | 140 | 5,5 | 8,5 | 12 | 31,4 | 24,7 | 1 033 | 389 | 155 | 56 | 5,73 | 3,52 | | |
| **HEB 140*** | 140 | 140 | 7 | 12 | 12 | 43,0 | **33,7** | 1 509 | 550 | **216** | **79** | 5,93 | 3,58 | 0.794 | 12.21 |
| HEM 140 | 160 | 146 | 13 | 22 | 12 | 80,6 | 63,2 | 3 291 | 1 144 | 411 | 157 | 6,39 | 3,77 | 0.805 | 12.88 |
| | | | | | | | | | | | | | | 0.857 | 13.56 |
| HEA 160* | 152 | 160 | 6 | 9 | 15 | 38,8 | 30,4 | 1 673 | 616 | 220 | 77 | 6,57 | 3,98 | | |
| **HEB 160*** | 160 | 160 | 8 | 13 | 15 | 54,3 | **42,6** | 2 492 | 889 | **311** | **111** | 6,78 | 4,05 | 0.906 | 29.78 |
| HEM 160 | 180 | 166 | 14 | 23 | 15 | 97,1 | 76,2 | 5 098 | 1 759 | 566 | 212 | 7,25 | 4,26 | 0.918 | 21.56 |
| | | | | | | | | | | | | | | 0.97 | 12.74 |
| HEA 180* | 171 | 180 | 6 | 9,5 | 15 | 45,3 | 35,5 | 2 510 | 925 | 294 | 103 | 7,45 | 4,52 | | |
| **HEB 180*** | 180 | 180 | 8,5 | 14 | 15 | 65,3 | **51,2** | 3 831 | 1 363 | **426** | **151** | 7,66 | 4,57 | 1.02 | 28.83 |
| HEM 180 | 200 | 186 | 14,5 | 24 | 15 | 113,3 | 88,9 | 7 483 | 2 580 | 748 | 277 | 8,18 | 4,77 | 1.04 | 20.25 |
| | | | | | | | | | | | | | | 1.03 | 12.25 |
| HEA 200* | 190 | 200 | 6,5 | 10 | 18 | 53,8 | 42,3 | 3 692 | 1 336 | 389 | 134 | 8,28 | 4,98 | | |
| **HEB 200*** | 200 | 200 | 9 | 15 | 18 | 78,1 | **61,3** | 5 696 | 2 003 | **570** | **200** | 8,54 | 5,07 | 1.14 | 26.89 |
| HEM 200 | 220 | 206 | 15 | 25 | 18 | 131,1 | 103 | 10 642 | 3 651 | 967 | 354 | 9,00 | 5,27 | 1.15 | 18.78 |
| | | | | | | | | | | | | | | 1.20 | 11.67 |
| HEA 220* | 210 | 220 | 7 | 11 | 18 | 64,3 | 50,5 | 5 410 | 1 955 | 515 | 178 | 9,17 | 5,51 | | |
| **HEB 220*** | 220 | 220 | 9,5 | 16 | 18 | 91,0 | **71,5** | 8 091 | 2 843 | **736** | **258** | 9,43 | 5,59 | 1.26 | 24.85 |
| HEM 220 | 240 | 226 | 15,5 | 26 | 18 | 149,4 | 117 | 14 605 | 5 012 | 1 220 | 444 | 9,89 | 5,79 | 1.27 | 17.77 |
| | | | | | | | | | | | | | | 1.32 | 11.27 |

# CERCHAS EN PERFIL THN (Ω)

- Desarrollado en 1932 por Toussaint–Heintzmann. De aquí su denominación TH

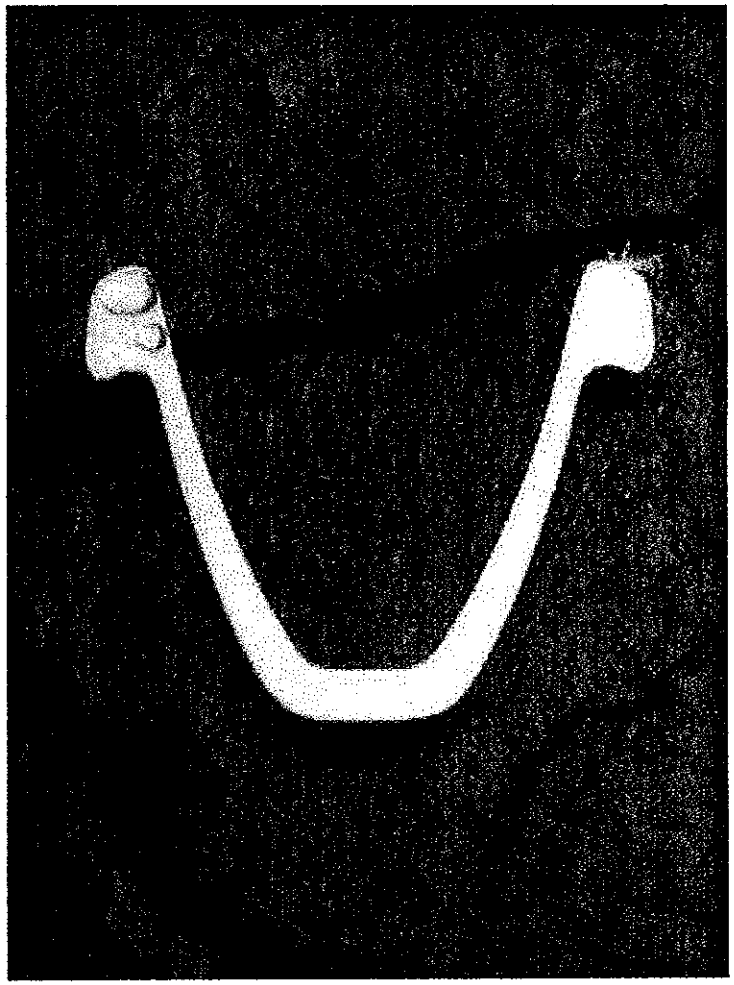
- Las cerchas se compones de varios segmentos que se solapan, se sujetan con uniones llamadas GRAPAS y deslizan entre si.

- Debido a su diseño, este tipo de perfiles tiene una igual resistencia a los esfuerzos en todas direcciones, al ser la relación Wxx / Wyy = 1

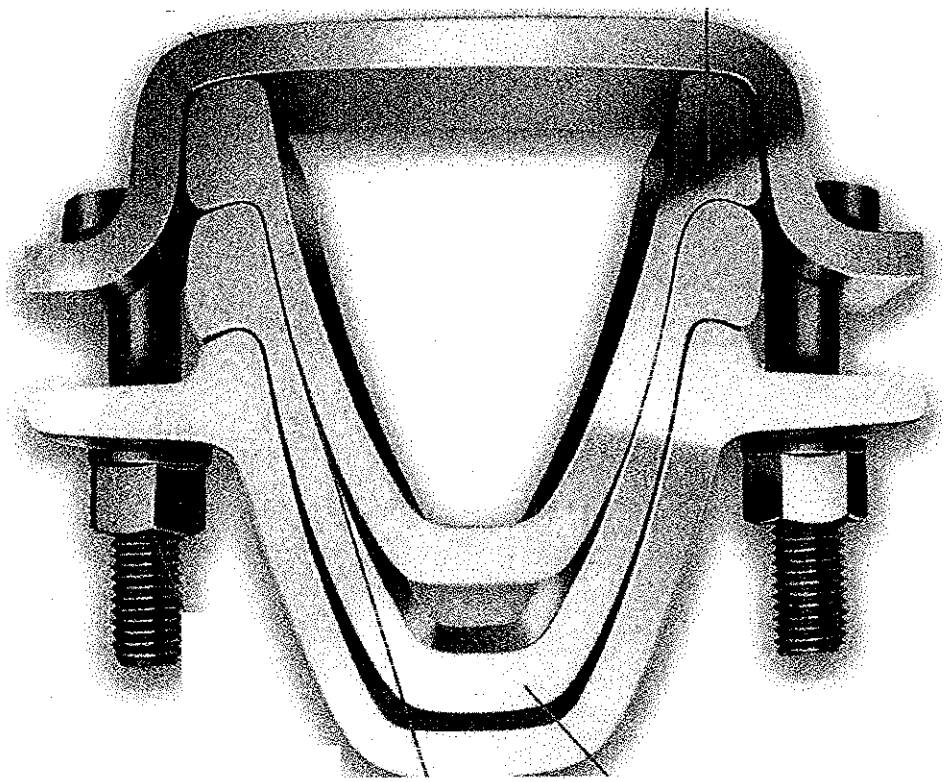
- Mayor calidad del acero 31Mn4 al tener este un límite elástico más alto que los perfiles tipo HEB / IPN

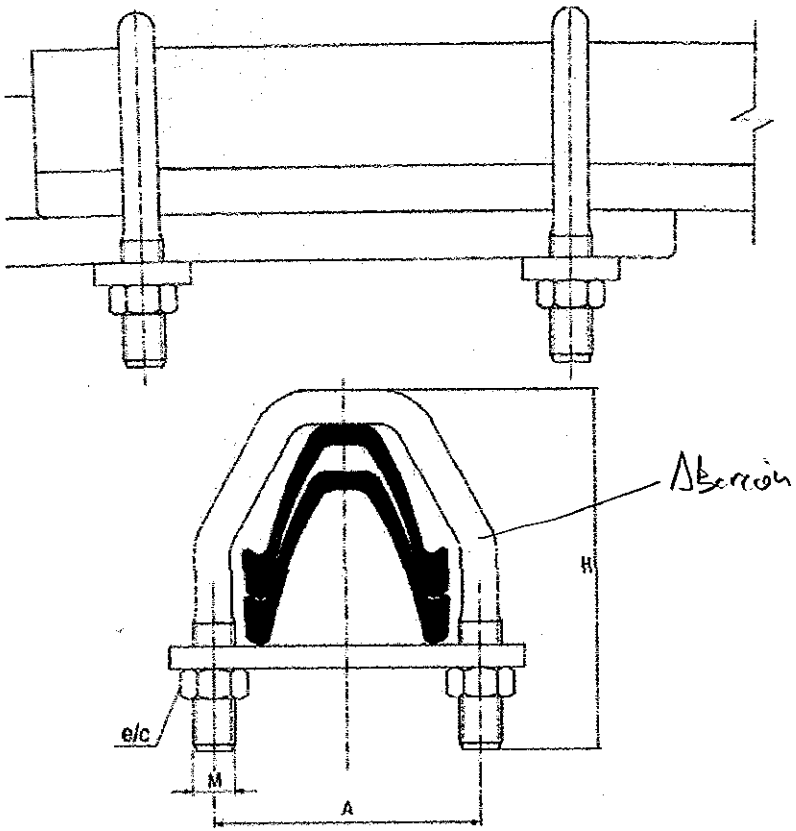
- Los perfiles de acero THN y sus elementos de unión, grapas GTHN, se utilizan habitualmente para la entibación de galerías, minas y cualquier otro tipo de obra en la que se utilicen técnicas mineras.

  - Solape mínimo 40 cm



# Los elementos de unión entre barras : LAS GRAPAS





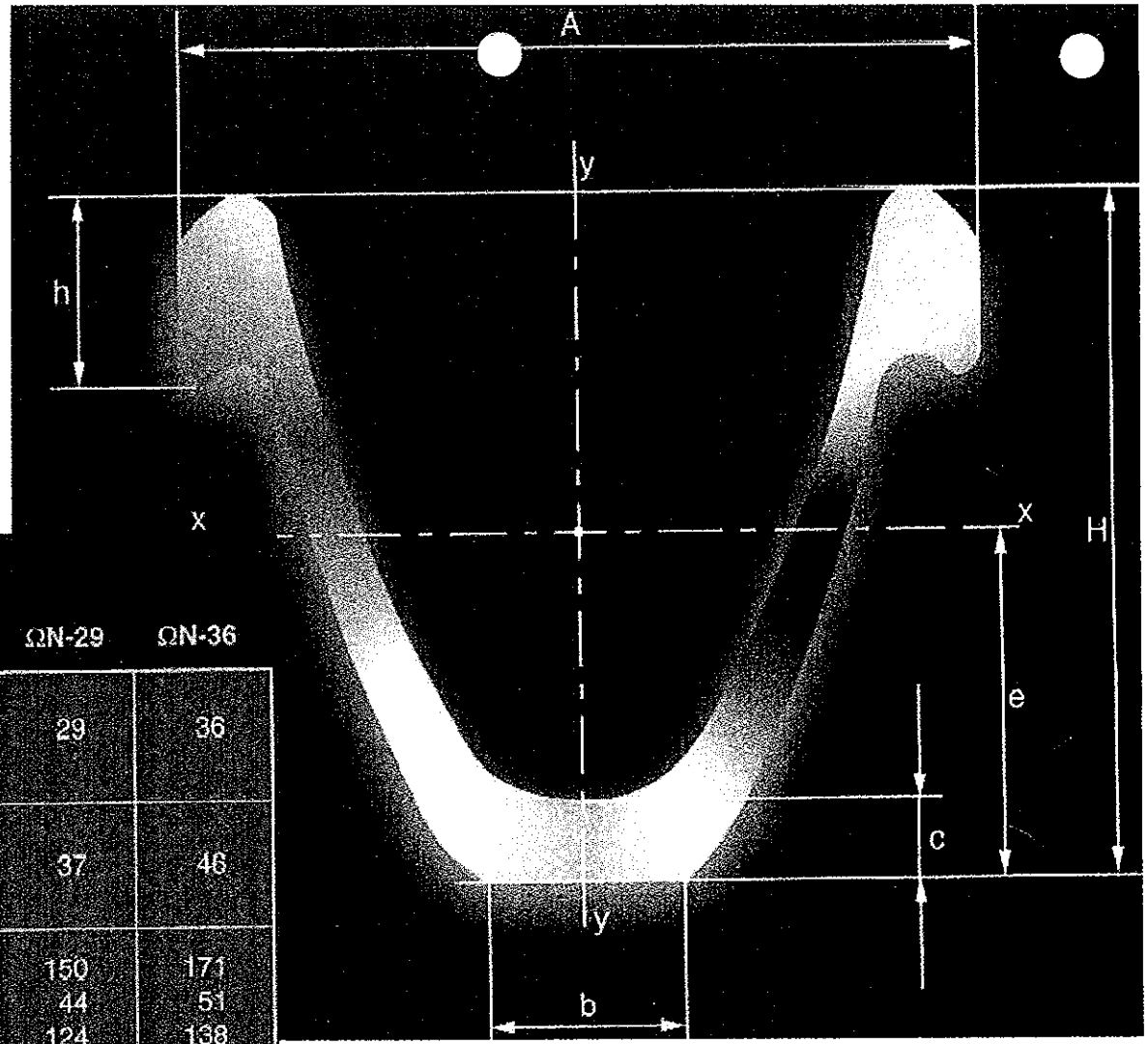

**Grapa tipo G, para perfil**
**"curvado normal "**

Las uniones si equivalen lo mismo que el perfil, esto no ocurre con los cerchos HEB

| | | ΩN-16,5 | ΩN-21 | ΩN-29 |
|---|---|---|---|---|
| Peso de la grapa<br>*Weight*<br>Poids | (Kg.) | 2,60 | 4 | 6 |
| Dimensiones<br>*Dimensions*<br>Dimensions | H(mm) | 200 | 225 | 260 |
| | A(mm.) | 144 | 165 | 187 |
| | e/c (mm.) | 36 | 36 | 41 |
| | M(mm.) | 24 | 24 | 27 |

**Grapa AUXI, para perfil TH**
**" curvado invertido "**

# Tipos de perfiles THN usados actualmente




| Datos Técnicos<br>*Technical Data*<br>Donées Techniques | | ΩN-16,5 | ΩN-21 | ΩN-29 | ΩN-36 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso<br>*Weight*<br>Poids | P (Kg/m) | 16,5 | 21 | 29 | 36 |
| Sección<br>*Area*<br>Section | S (cm²) | 21 | 27 | 37 | 46 |
| Dimensiones<br>*Dimensions*<br>Dimensions | A (mm) | 106 | 127 | 150 | 171 |
| | b (mm) | 31 | 35 | 44 | 51 |
| | H (mm) | 90 | 108 | 124 | 138 |
| | h (mm) | 26 | 30 | 31 | 35,5 |
| | e (mm) | 44 | 54 | 58 | 67 |
| | c (mm) | 13 | 12 | 16 | 17 |
| Características<br>*Properties*<br>Caractéristiques | Ixx (cm⁴) | 186 | 341 | 616 | 969 |
| | Wxx (cm³) | 40 | 61 | 94 | 136 |
| | Iyy (cm⁴) | 223 | 398 | 775 | 1265 |
| | Wyy (cm³) | 42 | 64 | 103 | 148 |
| Radio mínimo de curvado<br>*Minimum blanding radius*<br>Rayon minimum de la courbe | R (m) | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,6 |

# Montaje correcto de las cerchas TH

Perpendicularidad con el eje de la galería.

Solape adecuado en uniones (45 cm.) y paralelismo de los perfiles superpuestos, en el caso de las TH.

Apriete adecuado en las uniones (Placas o grapas de unión)

Acodalamiento (tresillonado) de todos los tramos

Uso de placas base en los postes

Buen empiquetado (relleno de los huecos detrás de la cercha), para una eficaz puesta en carga de las cerchas

# CERCHAS RETICULADAS

- Desarrolladas debido a la creciente demanda de un tipo específico de cercha para combinar con el hormigón proyectado están formadas por una estructura reticular fabricada con redondo corrugado de diversos diámetros

- Su uso combinado con el hormigón proyectado (gunita) en el sostenimiento de las obras subterráneas proporciona una mayor economía en el sostenimiento colocado debido a la ausencia de rechazos y sombras en la proyección y a poder aplicarse un menor espesor de hormigón proyectado puesto que suele calcularse este como armado.

- Debido a la gran cantidad de combinaciones posibles entre tamaño de la retícula y el diámetro del corrugado empleado, pueden fabricarse cerchas reticuladas ajustadas a las capacidades necesarias en cada caso

Mayor calidad del acero aprox el doble.

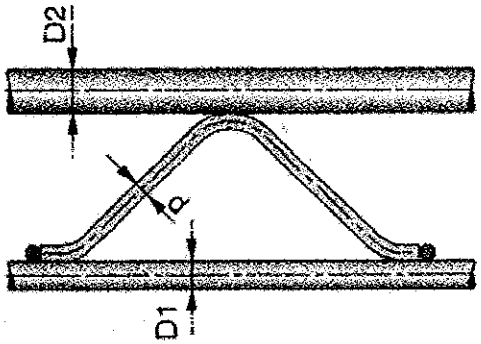
Según los estudios y ensayos realizados con este tipo de cerchas se ha determinado que:

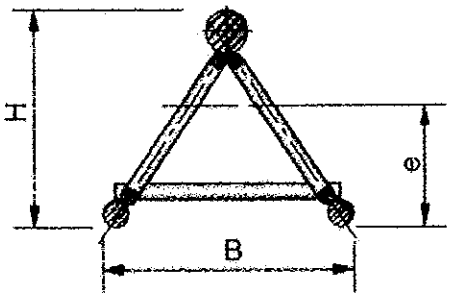
- Las cerchas se encuentran en perfecta cohesión con el hormigón proyectado

- Para espesores de hormigón proyectado entre 10 y 20 cm, el aumento de capacidad debido a la colocación de cerchas de este tipo, con una distancia de posteo de 1 m entre ellas, es del orden de un 50 % en las primeras 24 horas posteriores a la proyección, para estabilizarse en un 20-30% a los 28 días.

- De esta manera se comprueba que la cercha reticulada, en las primeras veinticuatro horas a partir de su colocación y combinación con el hormigón proyectado es una parte fundamental en el sostenimiento del túnel y a partir de estas primeras 24 horas colabora de manera importante con el hormigón en el sostenimiento.

# Características de las cerchas




| TIPO | D1 mm | D2 mm | d mm | B mm | H mm | A $cm^2$ | G Kg/m | e cm | Ix $cm^4$ | Wx $cm^3$ | Iy $cm^4$ | Wy $cm^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TE-50 | 20 | 25 | 10 | 100 | 95 | 11,19 | 10,10 | 5,32 | 148 | 28 | 104 | 21 |
| | 20 | 32 | 10 | 100 | 102 | 14,32 | 12,60 | 5,27 | 210 | 40 | 107 | 22 |
| TE-70 | 20 | 25 | 10 | 142 | 115 | 11,19 | 10,30 | 6,44 | 239 | 37 | 237 | 33 |
| | 20 | 32 | 10 | 142 | 122 | 14,32 | 12,80 | 6,39 | 332 | 52 | 240 | 34 |
| TE-95 | 20 | 25 | 10 | 180 | 140 | 11,19 | 10,60 | 7,84 | 384 | 49 | 405 | 45 |
| | 20 | 32 | 12 | 180 | 147 | 14,32 | 14,00 | 7,80 | 523 | 67 | 409 | 45 |
| TE-115 | 20 | 25 | 12 | 200 | 160 | 11,19 | 11,86 | 8,97 | 527 | 59 | 512 | 51 |
| | 20 | 32 | 12 | 200 | 167 | 14,32 | 14,32 | 8,90 | 708 | 79 | 515 | 52 |
| TE-130 | 20 | 25 | 12 | 220 | 175 | 11,19 | 12,06 | 9,80 | 644 | 66 | 631 | 57 |
| | 20 | 32 | 12 | 220 | 182 | 14,32 | 14,52 | 9,70 | 865 | 89 | 635 | 58 |

# LAS VENTAJAS MÁS IMPORTANTES DEL USO DE ESTE TIPO DE CERCHAS SON :

- **Optimización** en el uso del hormigón proyectado por no producirse rechazos y no existir sombras ni espacios vacíos en la proyección.

- **Completa encapsulación** de la cercha en el hormigón proyectado formando con el una estructura homogénea, pudiendo considerarse el hormigón como armado en los cálculos.

- **Disminución** en el gasto de hormigón, dado que al poder calcular este como armado.

- **Prevención** de la entrada de agua en el túnel debido a filtraciones al no existir huecos en el hormigón proyectado.

- **Mayor facilidad** de colocación en obra debido a su reducido peso, y una cierta flexibilidad inicial de la cercha, necesaria por otro lado para permitir la deformación inicial y controlada del terreno característica del N.A.T.M.

- Una relación **capacidad de carga / peso de la cercha** inmejorable, con lo que se colocan menos toneladas de acero en el túnel para obtener la misma capacidad del sostenimiento.

# EL SISTEMA BERNOLD

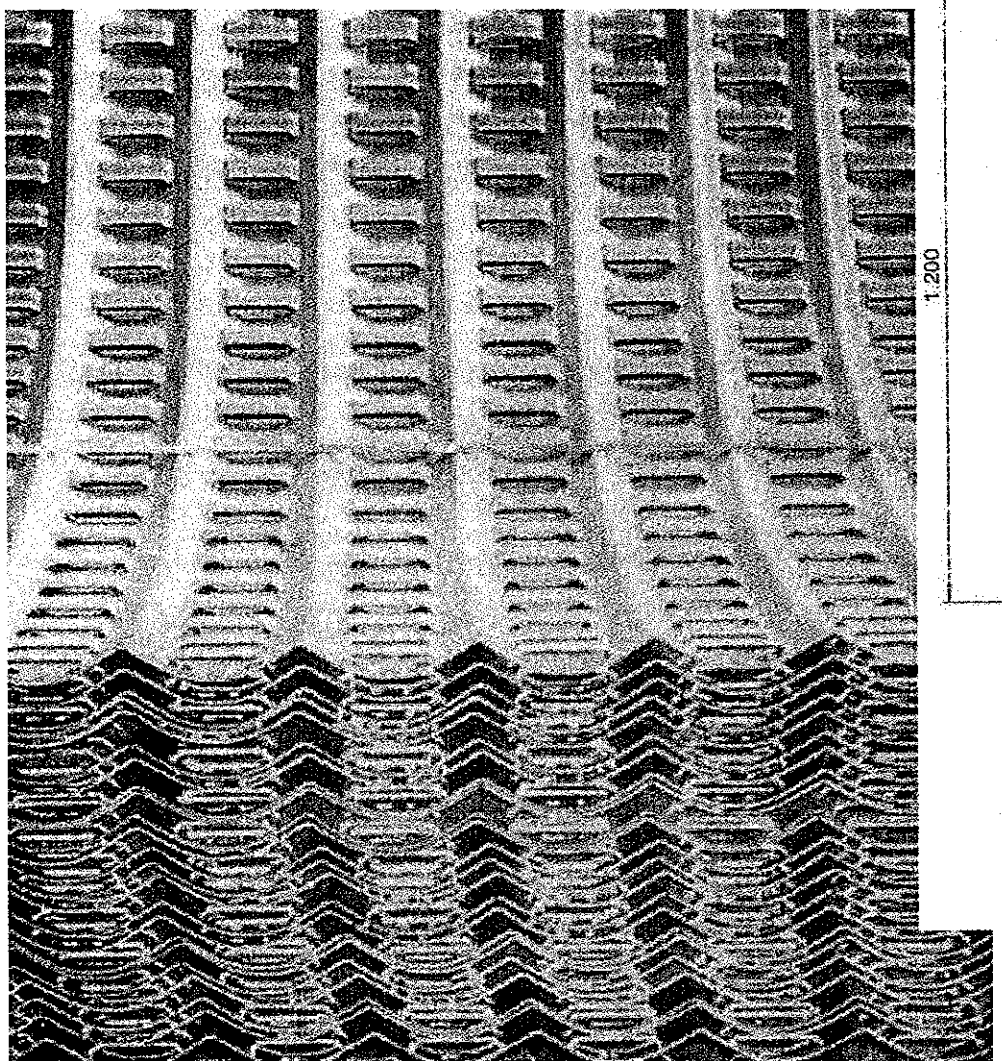
Es un sistema mixto cerchas-chapa para el sostenimiento de túneles con terrenos complicados, que permite colocar una bóveda de hormigón armado con la chapa en el frente de trabajo.

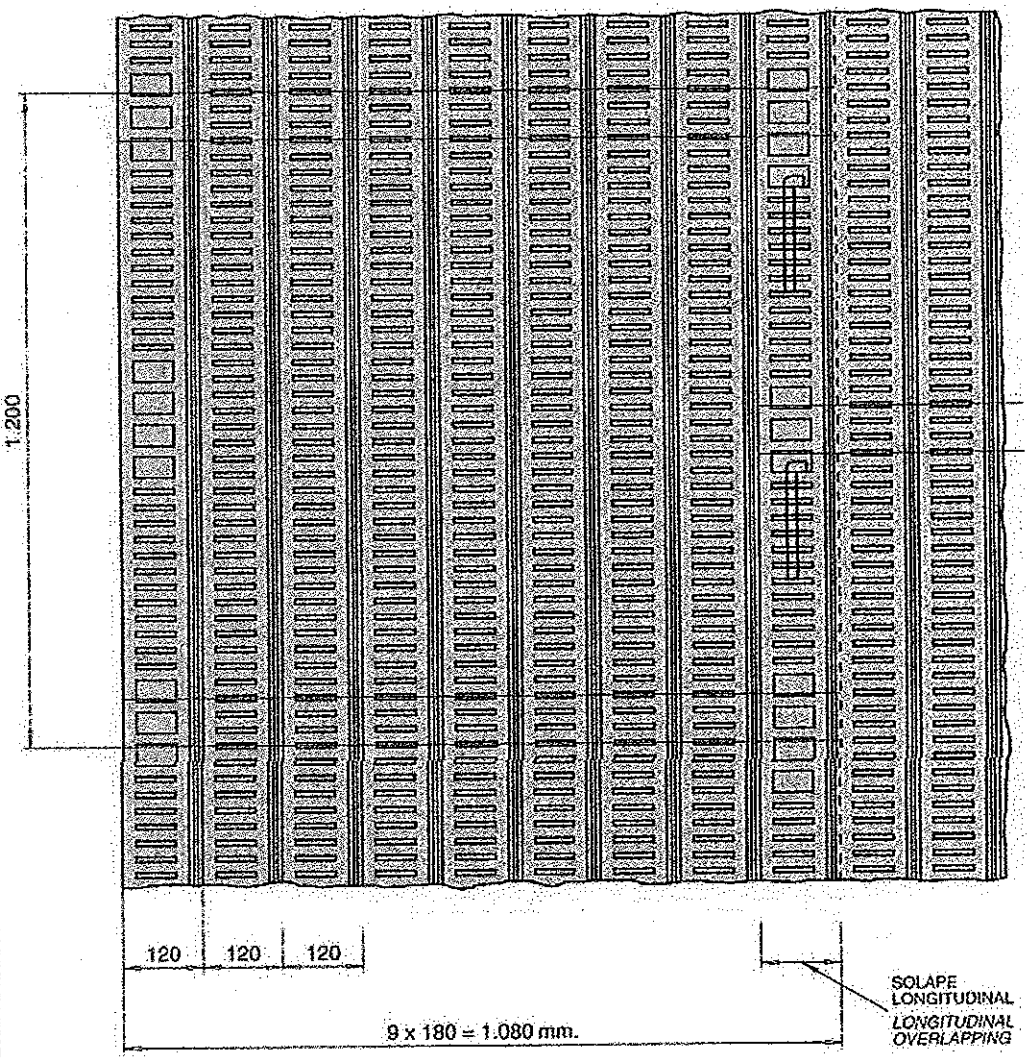
Es por tanto un sistema de sostenimiento **rígido, pesado y continuo, con el frente de trabajo protegido**

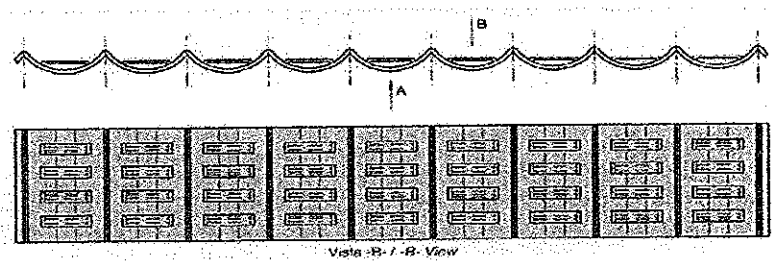
El sistema se compone de cerchas de montaje, un conjunto de 8/10 cerchas de HEB-180, articuladas y curvadas a la medida del radio interior del hormigón. Están calculadas para soportar los empujes del hormigón en el bombeo del trasdós.

La chapa tipo Bernold es una chapa troquelada, ondulada y curvada a la medida del radio necesario, se fabrican en medidas de 1200*1080*2 mm y realiza **primero la función de encofrado** del hormigón y posteriormente, debido a su forma característic y a sus nervaduras **sirven de armadura** a este mismo hormigón, se montan sobre las cerchas y se solapan entre si, una vez montadas, la superficie útil por chapa es de 1 m²

# DETALLES DE LA CHAPA TIPO BERNOLD



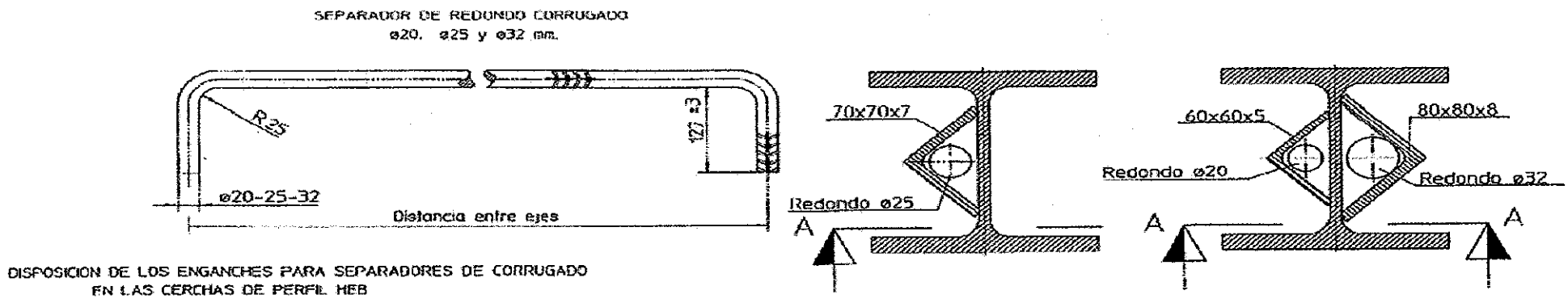


# ALGUNOS ASPECTOS PRACTICOS

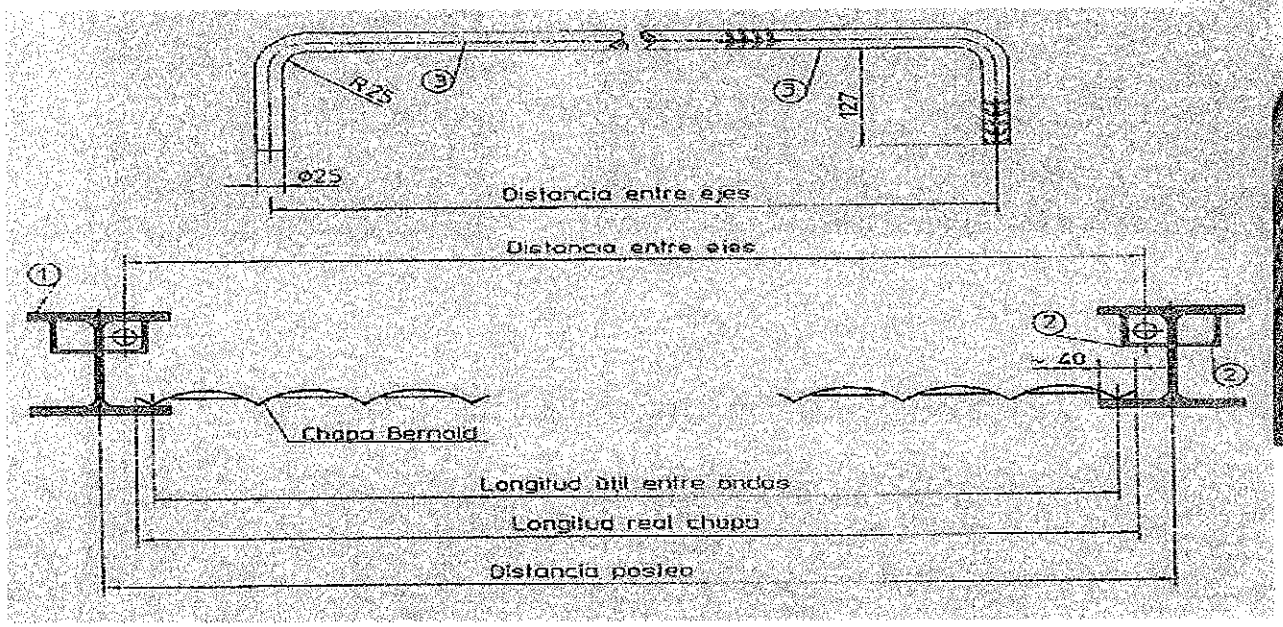
# <u>ARRIOSTRAMIENTO entre las cerchas</u> :

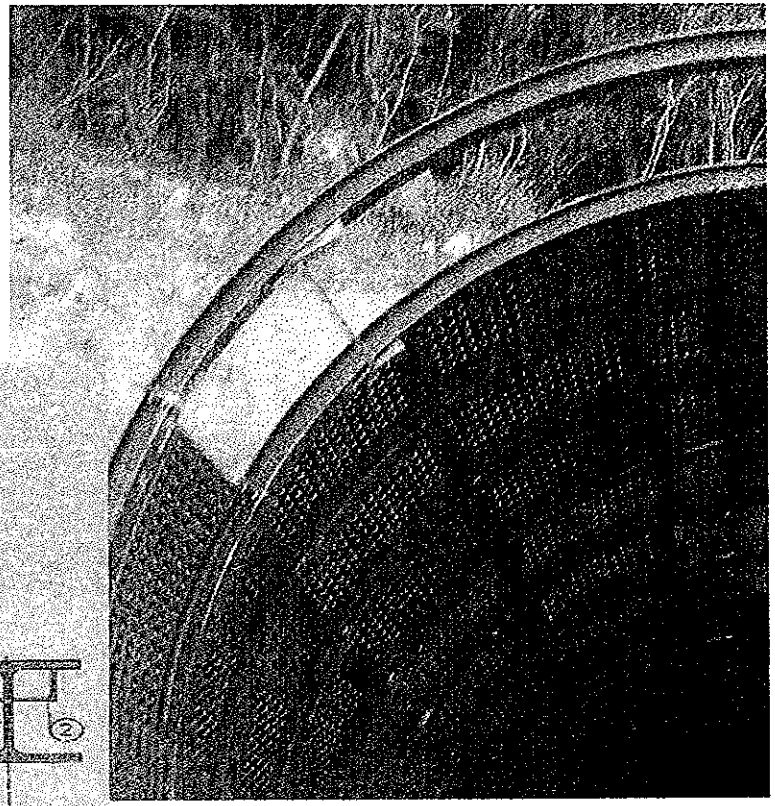
Algo muy necesario para formar un conjunto sólido con ellas y para el adecuado reparto de posibles empujes sobre las cerchas adyacentes



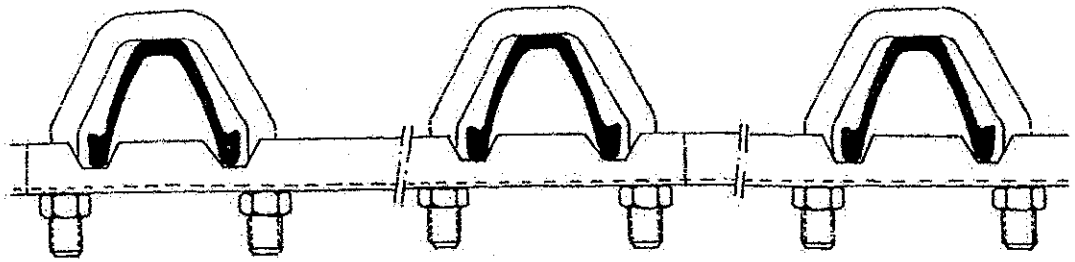

**Acodalamiento de las cerchas HEB, con redondo corrugado de diferentes diámetros**

# Separadores (tresillones) combinados con chapa tipo Bernold



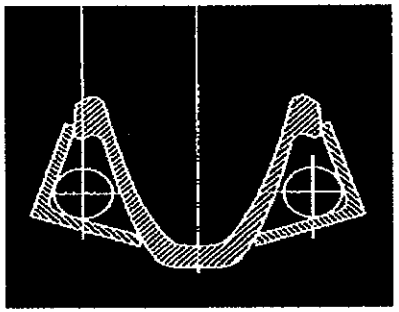



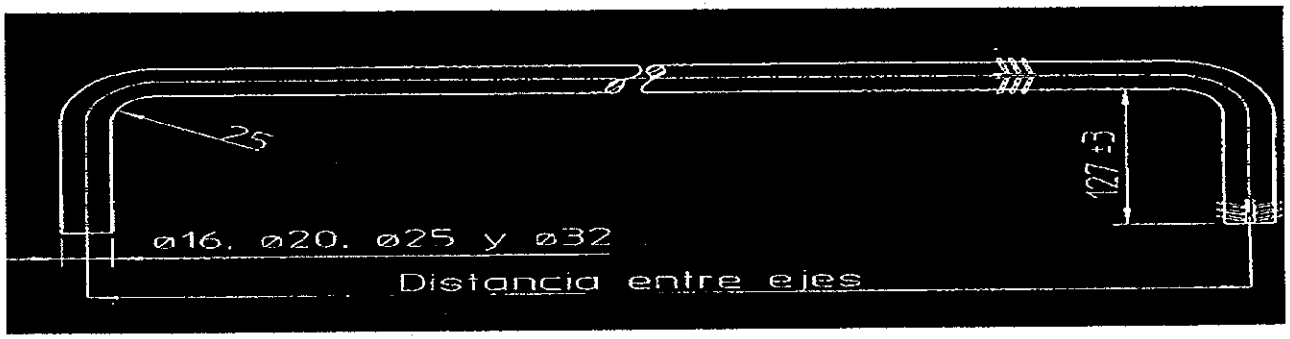
# Arriostramiento de los cuadros THN



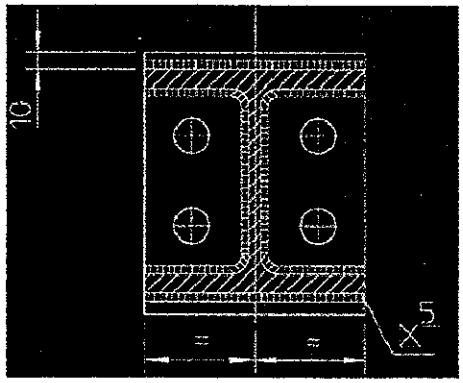
Con tresillones de UPN 80/100 :

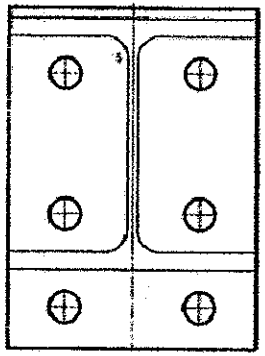
Con tresillones de redondo corrugado :



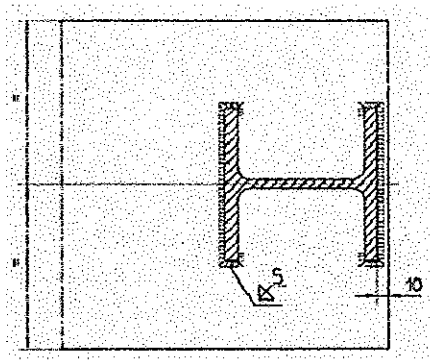


# Algunos detalles constructivos de una cercha HEB



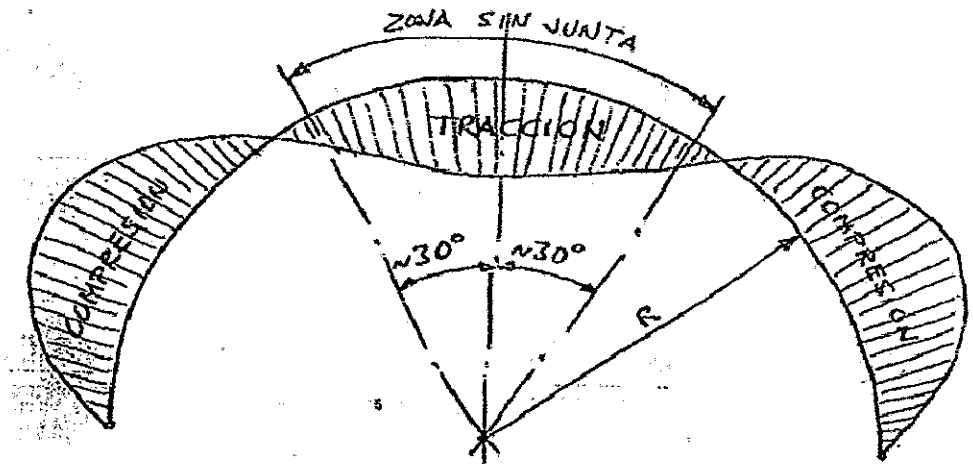



DOS TIPOS DE PLACAS DE UNIÓN




PLACA BASE

## COLOCACIÓN DE LAS PLACAS DE UNIÓN




**Si se supone una carga sobre la cecha vertical y uniformemente repartida, y los elementos de unión se colocan a unos 30º de la vertical de la clave, pueden colocarse las placas más pequeñas, ya que en esta zona los esfuerzos son menores.**

- **METODO SIMPLIFICADO PARA EL DIMENSIONADO DEL SOSTENIMIENTO**

- Para realizar el cálculo de un sostenimiento, podemos fijar alguna de las variables: distancia de posteo / Módulo resistente (**Wxx**) necesario. Generalmente, se fija la distancia de entre cerchas por necesidades de los avances en cada turno, accesibilidad del tajo... etc. y se calcula el perfil más adecuado en función del módulo **Wxx** necesario obtenido.

- En este caso, fijaremos la distancia entre las cerchas (distancia de posteo) en 1 m, por ser la más frecuentemente utilizada

- Partiremos de la hipótesis de que la tensión admitida por el material es solamente la del límite elástico $\delta e$ (límite elástico).

- Se considera el arco como de medio punto, biarticulado en el que actúa una sobrecarga vertical y uniforme Q (el peso de un bloque de la misma anchura que la galería y una altura de 3/4 de dicho ancho) y no se tienen en cuenta las acciones pasivas de los hastíales.

- Por tanto la sobrecarga será $\mathbf{Q = 2R * 3/4 * \gamma}$ (peso especifico del macizo), $\mathbf{Q = 1{,}5*R*\gamma}$

- El momento máximo de un perfil es $\mathbf{M}max. = \delta e*\mathbf{Wxx}$

- Por otro lado sabemos que el momento flector máx. para este tipo de arco es : $\mathbf{M\ max. = 0{,}09 * Q * R^2}$

- Igualando ambas expresiones tenemos que : $\delta e*\mathbf{Wxx=0{,}09*Q*R^2}$

- Y despejando Wxx obtenemos : $\mathbf{Wxx} = \dfrac{\mathbf{0{,}09\ Q * R^2}}{\delta e}$

## Comparación entre las capacidades de varios tipos de cerchas TH / HEB:

- Podemos ver, con un ejemplo, una manera simple de establecer una comparación entre cerchas con la misma geometría, pero fabricadas a partir de distintos tipos de perfiles

- Nos interesa en este caso conocer él módulo resistente del perfil $W_{xx}$ y su límite elástico $\sigma_{e.}$

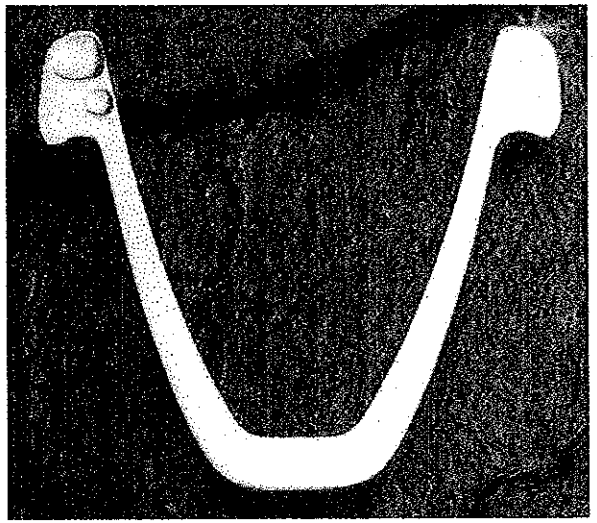
- Podemos comparar, por ejemplo <u>una cercha de HEB120 y otra similar en THN-29:</u>

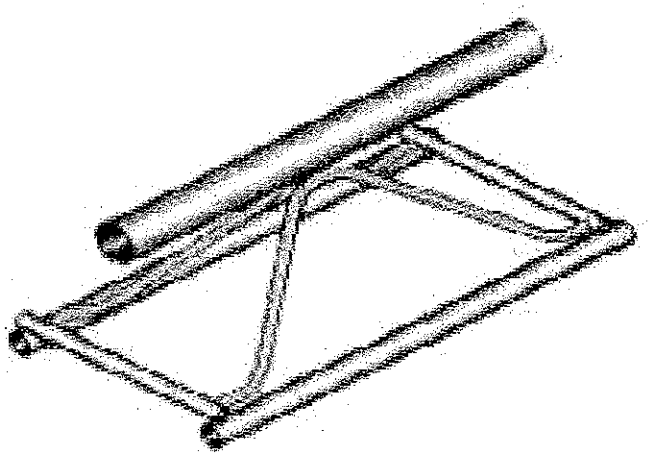
- La cercha en HEB-120 Tiene Wxx=144 $Cm^3$ y un límite elástico ($\sigma_e$) de 2750 $Kg/cm^2$
  Por tanto su Momento flector max. será de : Wxx * $\sigma_{e.}$ = 216 * 2750 Kg * cm = 3.960 Kg*m

- Una cercha de las misma geometría , pero fabricada en perfil THN-29, tiene un módulo resistente Wxx = 94$cm^3$ y un límite elástico de 3400 $Kg./cm^2$ , con lo que su Momento flector máximo sería: $Mf_{max}$=Wxx * $\sigma_e$= 94*3400 Kg *cm = 3.196 Kg*m

- Vemos pues que la capacidad de carga vertical de una cercha HEB-120 es aproxim. un 20 % superior. Si realizamos en cambio, los mismos cálculos con el Modulo Wy, obtendremos para los esfuerzos horizontales un Mmax de 3502 Kg./m para el THN-29 y de solamente1458 Kg./m para el HEB-140

## Capacidades de una cercha TN-29 comparada con otra similar reticulada TE-95-32-20: :





- Para el THN-29, como ya vimos tenemos M.fmax = Wxx * σe = 94 * 3400 Kg. cm = 3.196 Kg*m

- En el caso de una cercha tipo TE-95-32-~~2~~20, (con un peso de 14 Kg/m) el módulo resistente respecto al eje horizontal Wxx es de 67 cm3 , pero el límite elástico del corrugado BST-500-S, con el que se fabrican estas cechas es de 5000 Kg/cm2, con lo que el momento flector max. que soportaría este tipo de cercha sería en este caso de: M.fmax. = Wxx * σe = 67 * 5000 Kg*cm = 3.350 Kg*m

- Es decir que tenemos mayor capacidad de carga en una cercha reticulada que es a su vez mucho más ligera. (Las cerchas en perfil THN-29 con grapas y solapes vienen a pesar unos 31/32 Kg/m, mientras que el modelo TE-95-32-20 pesa 14 Kg/m )

# CONCLUSIÓN

- El sostenimiento con cerchas metálicas **siempre se realiza combinado con otros sistemas**, como el hormigón proyectado, los bulones , etc....

- Un sostenimiento demasiado rígido puede llegar a colapsar al no soportar las presiones del terreno, en cambio otro más flexible puede adaptarse a la deformación inicial y conservar suficiente resistencia.

- Existen diferentes tipos de cerchas metálicas, con las que se puede realizar el sostenimiento primario de un túnel, todas ellas peden ser válidas si están bien dimensionadas y la elección de un tipo u otro depende en la mayoría de los casos de otros factores ajenos como la economía, la facilidad de colocación.

- De todos los tipos de cerchas descritos, las más utilizadas habitualmente en las obras en nuestro país, son las **THN** (21 / 29 Kg.) y las **HEB** (140/160/180)

- Las Calidades de los aceros usados en cada caso son:

  THN : **31 Mn 4** S/ Din 21544 / UNE 36530: 1999

  HEB : **S-275 – JR** S / UNE36-080-90