



ET.S. de Ingeniería de
Caminos, Canales y Puertos y
de Ingeniería de Minas
Universidad Politécnica
de Cartagena



SISTEMATIZACIÓN DEL DISEÑO Y CÁLCULO LONGITUDINAL DEL TABLERO DE PUENTE DE HORMIGÓN POSTESADO DE TRES VANOS. Programa en Excel.

Trabajo Fin de Estudios del Grado de INGENIERÍA CIVIL
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Victoria Lucía Inglés Torres
Director del proyecto: Alfonso Martínez Martínez



RESUMEN

Esta sistematización del cálculo y del diseño de un puente de hormigón postesado en tres vanos muestra el diseño longitudinal y transversal del tablero de puente partiendo de una serie de variables que serán elección del usuario, pudiendo crear múltiples modelos de estudio.

El programa calcula el Dimensionamiento óptimo del Pretensado, basándose en los diagramas de Magnel partiendo de una ley de flectores máxima y mínima. En la memoria se recoge el paso a paso del cálculo realizado hasta la obtención de los resultados, así como la programación del mismo.

ABSTRACT

This systematization of the calculation and the design of a Prestressed concrete bridge in three spans with variable cross section shows the longitudinal design of the bridge's deck starting from some variables that they will be chose by the user, being able to create different models to study.

The program calculates the optimum Prestressed Area, based on Magnel diagrams starting from a law of maximum and minimum bending. In the memory it is collected step by step the calculation until the results and the algorithmics for programming are obtained.



1 CONTENIDO

.....	1
2 INTRODUCCIÓN.....	5
3 SOFTWAREs UTILIZADOS.....	5
3.1 Microsoft Excel (2013).....	5
3.2 Funciones más utilizadas en el proyecto.....	6
3.2.1 La función lógica SI.....	6
3.2.2 La función lógica Y.....	6
3.2.3 La función Concatenar.....	6
3.2.4 La función REDONDEAR.MAS.....	7
3.2.5 Función SI.ERROR.....	7
3.2.6 La función BUSCAR.V.....	8
3.2.7 Resaltar con reglas condicionales.....	9
4 PRINCIPIOS GENERALES.....	11
4.1 Definición de la vida útil.....	11
4.2 Sistema de coordenadas.....	11
4.3 Unidades. Criterios de signos.....	11
5 GEOMETRÍA LONGITUDINAL.....	12
5.1 Macro “Ajustar Parábolas”.....	12
6 GEOMETRÍA TRANSVERSAL.....	17
7 ESTIMACIÓN DE LOS MOMENTOS.....	24
8 DIMENSIONAMIENTO DEL PRETENSADO.....	27
8.1 Cálculo de las pendientes de las rectas de magnel.....	27
8.2 Limitaciones geométricas en Magnel.....	28
8.3 Intervalo de la variación de pretensado. K.....	29
8.4 Comprobación de la sección mínima.....	30
8.5 Dimensionado de la armadura mínima.....	30
8.5.1 Caso A: $m_2 > 0; m_3 > 0$	30
8.5.2 Caso B: $m_2 < 0; m_3 < 0$	31
8.5.3 Caso C: $m_2 < 0; m_3 > 0$	32
8.5.4 Caso D: SECCIÓN SUPRACRÍTICA.....	33



9	SISTEMATIZACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL PRETENSADO.....	34
9.1	Características geométricas de la sección.	34
9.2	Momentos máximos y mínimos.	36
9.3	Limitaciones tensionales de magnel.	37
9.4	Pendientes de Magnel.	37
9.5	Variación de la fuerza del pretensado.	37
9.6	Comprobación de sección mínima.....	38
9.7	Ordenadas en el origen.....	41
9.8	Dimensionado de la armadura mínima.....	41
9.8.1	Caso A.....	42
9.8.2	Caso B.	43
9.8.3	Caso C.	44
9.8.4	Caso D: SECCIÓN SUPRACRÍTICA.	45
9.9	Valores definitivos.	47
10	GRAFICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE MAGNEL.....	49
10.1	Datos para la graficación.	49
10.2	Graficar en Excel.	59
10.3	Macro para graficar los Diagramas de Magnel.	60
10.4	Gráficos.....	78
11	TRAZADO DEL ARMADO	86
12	ELECCIÓN DEL CABLE.....	89
13	PÉRDIDAS DEL PRETENSADO.....	90
13.1	Limitación de la fuerza del pretensado.....	90
13.2	Pérdidas de la fuerza de pretensado.	90
13.2.1	Pérdidas instantáneas.....	91
13.2.2	Pérdidas diferidas.....	92
14	CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	93
15	ENLACES WEB UTILIZADOS.....	94
16	BIBLIOGRAFÍA.	94

2 INTRODUCCIÓN

Nos enfrentamos al diseño y cálculo de un tablero de puente en tres vanos de hormigón postesado, donde deberemos estudiar sección a sección su diseño, longitudinal y transversal, sus cargas y su cálculo resistente.

Ayudándonos de las normas vigentes en Estructuras de Hormigón, en Puentes de carretera, y siguiendo los pasos de lo aprendido en la asignatura de Estructuras de Hormigón Pretensado de la Universidad Politécnica de Cartagena diseñaremos una sistematización en Excel.

Dicho programa podrá ser utilizado para la creación de diversos modelos, y no para un único problema, ya que la interacción entre programa y usuario es posible, el usuario definirá a su antojo ciertos parámetros de diseño.

3 SOFTWARES UTILIZADOS

3.1 MICROSOFT EXCEL (2013).



Ilustración 1. Logotipo Microsoft Excel 2013. (Fuente: Google Search)

Excel es un programa de hojas de cálculo de Microsoft Office System. Permite crear y aplicar formato a libros (un conjunto de hojas de cálculo) para analizar datos y tomar decisiones fundadas sobre aspectos de su negocio. Concretamente, se puede usar para hacer un seguimiento de datos, crear modelos para analizar datos, escribir fórmulas para realizar cálculos con dichos datos, dinamizar los datos de diversas maneras y presentarlos en una variedad de gráficos con aspecto profesional.

La extensión de archivo por defecto del formato Excel puede ser .xls en versiones anteriores o iguales a Excel 2003, .xlsx para libros de Excel regulares en versiones posteriores o iguales a Excel 2007, .xlsm para libros de Excel preparados para macros en versiones posteriores o iguales a Excel 2007 o .xlsb para libros de Excel binarios en versiones posteriores o iguales a Excel 2007.

Excel ofrece una interfaz de usuario ajustada a las principales características de las hojas de cálculo, en esencia manteniendo ciertas premisas que pueden encontrarse en la hoja de cálculo original: el programa muestra las celdas organizadas en filas y columnas,



y cada celda contiene datos o fórmulas, con referencias relativas, absolutas o mixtas a otras celdas. También introduce la recomputación inteligente de celdas, donde celdas dependientes de otra celda que han sido modificadas, se actualizan al instante. Excel tiene una amplia capacidad gráfica, y permite a los usuarios realizar, entre otras muchas aplicaciones, listados usados en combinación de correspondencia.

Desde 1993, Excel ha incluido Visual Basic para Aplicaciones (VBA), un lenguaje de programación basado en Visual Basic, que añade la capacidad para automatizar tareas en Excel y para proporcionar funciones definidas por el usuario para su uso en las hojas de trabajo. VBA es una poderosa anexión a la aplicación que cuenta con su propio editor. La grabación de macros puede producir código (VBA) para repetir las acciones del usuario, lo que permite la automatización de simples tareas.

3.2 FUNCIONES MÁS UTILIZADAS EN EL PROYECTO.

3.2.1 LA FUNCIÓN LÓGICA SI.

La función SI sirve para cuando queremos evaluar una condición y dependiendo de si se cumple o no obtener uno u otro resultado, es decir, si se cumple la condición tendríamos un resultado y si no se cumple el resultado sería otro.

Esta función requiere de tres (3) argumentos:

Prueba_Lógica: En la expresión que queremos evaluar.

Valor_si_verdadero: Como su nombre lo indica, es el resultado si la prueba lógica resulta verdadera

Valor_si_falso: Indica es el resultado si la prueba lógica resulta falsa.

3.2.2 LA FUNCIÓN LÓGICA Y.

La función Y es una herramienta que nos permite poder verificar si todas las expresiones lógicas escritas en el Excel cumplen con las condiciones propuestas por el usuario. Se puede agregar esta función al escribir los caracteres:



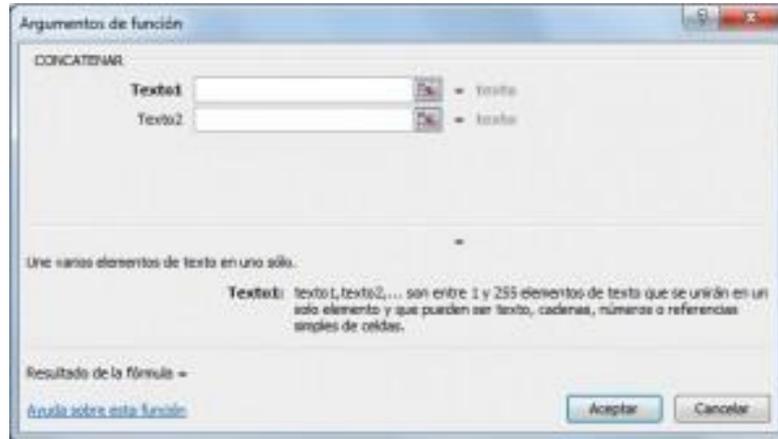
3.2.3 LA FUNCIÓN CONCATENAR.

La función CONCATENAR en Excel nos permite unir dos o más cadenas de texto en una misma celda permitiendo manipular bases de datos según lo que requiera el usuario.

Sintaxis de la función CONCATENAR: La función tiene una sintaxis muy sencilla donde cada argumento será un texto que se irá uniendo al resultado final. El máximo de



argumentos que podemos especificar en la función es de 255, siendo el único obligatorio el primero.



Texto 1 (obligatorio): El primer texto que se unirá a la cadena de texto final.

Texto 2 (opcional): El segundo texto a unir al resultado final. Todos los argumentos son opcionales a partir del segundo argumento.

3.2.4 LA FUNCIÓN REDONDEAR.MAS.

La función REDONDEAR.MAS redondea un número hacia arriba, siempre en dirección lejana al número cero.

La sintaxis es la siguiente:

=REDONDEAR.MAS (número; núm_decimales)

Donde:

número: Es el número de la celda que se desea redondear.

núm_decimales: Indica el número de dígitos que se desea redondear.

3.2.5 FUNCIÓN SI.ERROR.

Esta función nos devuelve un valor “VERDADERO” o “FALSO” según el criterio que determinemos. Básicamente si en la celda analizada, no se da la regla o criterio programado, esta función automáticamente nos arrojará el resultado como “FALSO”.





3.2.5.1 TIPOS DE ERROR EN EXCEL.

Error #¡REF!

Cuando una celda intenta hacer referencia a otra celda que no puede ser localizada porque tal vez fue borrada, entonces obtendremos un error del tipo #¡REF!.

Si obtienes este tipo de error debes revisar que la función no esté haciendo referencia a alguna celda que fue eliminada. Este tipo de error es muy común cuando eliminamos filas o columnas que contienen datos que estaban relacionados a una fórmula y al desaparecer se ocasiona que dichas fórmulas muestren el error #¡REF!

Error #¡DIV/0!

Cuando Excel detecta que se ha hecho una división entre cero muestra el error #¡DIV/0!

Error #¡NUM!

El error #¡NUM! es el resultado de una operación en Excel que ha sobrepasado sus límites y por lo tanto no puede ser desplegado. Por ejemplo, la fórmula =POTENCIA(1000, 1000) resulta en un número tan grande que Excel muestra el error #¡NUM!

Error #N/A

Este tipo de error indica que el valor que estamos intentando encontrar no existe. Por esta razón el error #N/A es muy común cuando utilizamos funciones de búsqueda como BUSCARV o BUSCARH. Cuando la función BUSCARV no encuentra el valor que estamos buscando, regresa el error de tipo #N/A

3.2.6 LA FUNCIÓN BUSCAR.V.

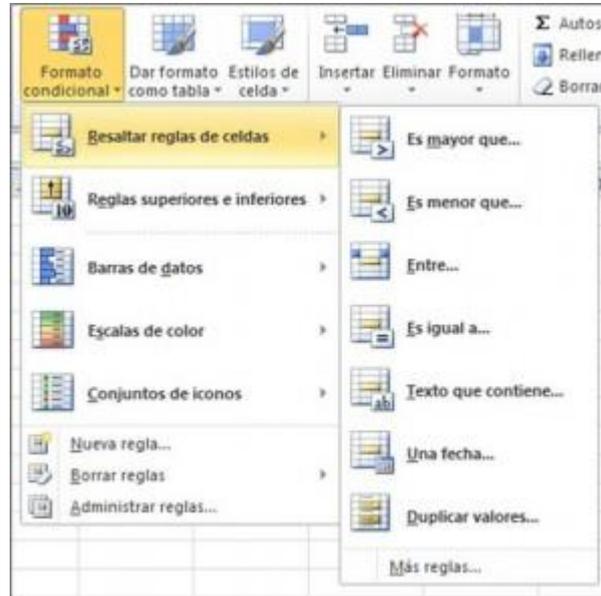
Esta función permite buscar un valor en una primera columna de una matriz, una vez localizado muestra dentro de la misma fila el valor que contiene la columna que deseamos obtener.

Dicha función es muy útil cuando se desea buscar cierto dato dentro de una tabla bajo cierta condición.

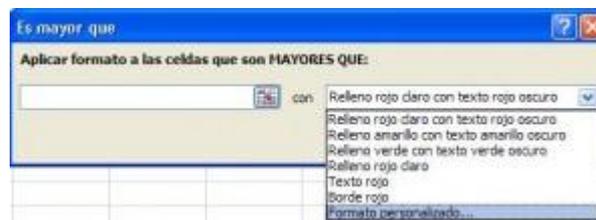
SINTAXIS: =BUSCARV (Valor que se desea buscar dentro de la matriz; Matriz de datos donde se realiza la búsqueda de datos; Columna en la que se encuentra el dato dentro de la matriz; Ordenado) los primeros tres argumentos son obligatorios y el cuarto es opcional.

3.2.7 RESALTAR CON REGLAS CONDICIONALES.

Esta función nos permitirá elegir la condición o condiciones que deberá tener la celda que se quiere destacar.



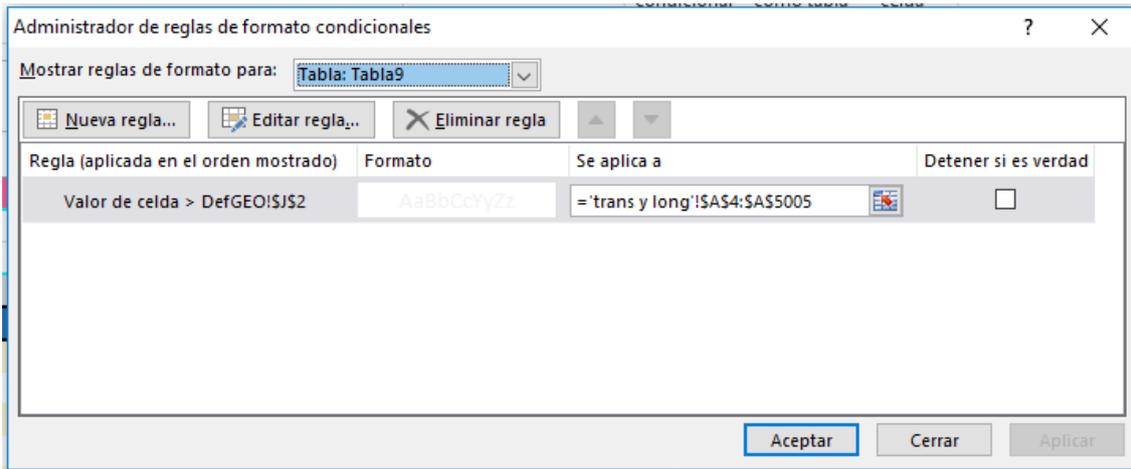
Al seleccionar alguna nos aparecerá el siguiente cuadro de diálogo.



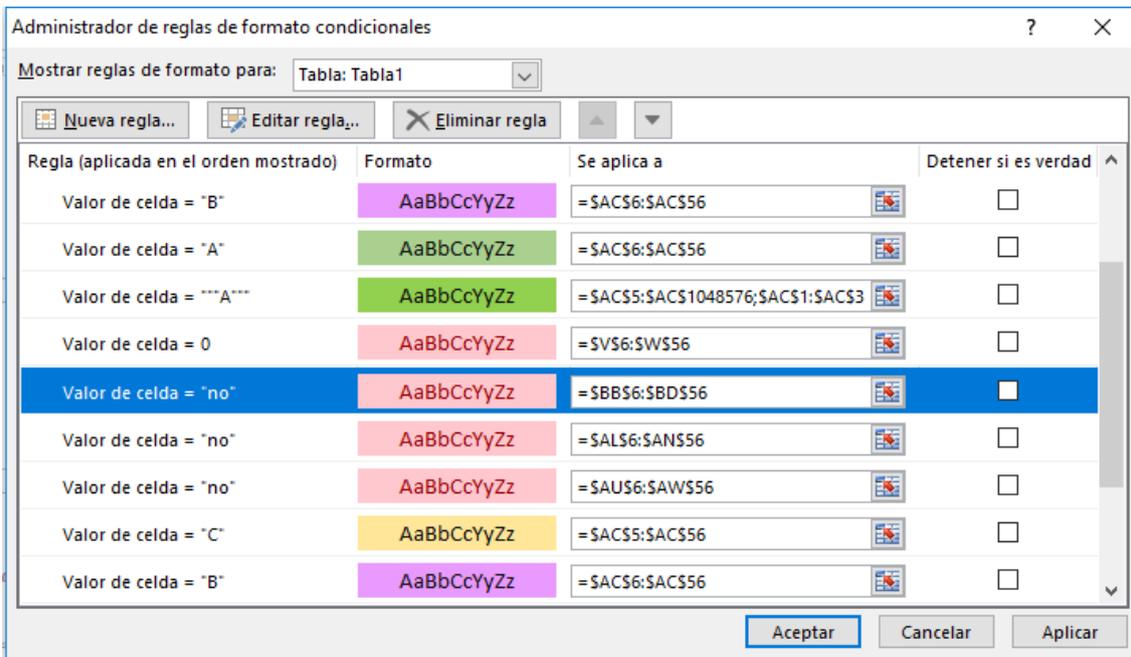
Dentro del cuadro que se presenta en blanco se procederá a colocar el valor para el cual las celdas queden marcadas y al costado de ellas se encuentra el formato con el que se presentarán.

3.2.7.1 REGLAS CONDICIONALES USADAS.

Hoja de Definición Geométrica: Sirve para ocultar los valores que sean igual cero o celdas vacías.



Hoja de Calculos de Magnel: Sirve para resaltar errores y visualizar fácilmente los distintos casos de estudio.



4 PRINCIPIOS GENERALES

4.1 DEFINICIÓN DE LA VIDA ÚTIL.

Se entiende por vida útil de una estructura el periodo de tiempo, a partir de la fecha en que finaliza su ejecución, durante el cual debe cumplir la función para la que fue construida, contando siempre con la conservación adecuada pero sin requerir operaciones significativas de rehabilitación.

Para los puentes de carretera se establece una vida útil de proyecto de cien años.

4.2 SISTEMA DE COORDENADAS.

Las coordenadas serán tridimensionales (X, Y, Z) por tratarse el modelo de una estructura espacial. Se considera el eje Y como el que contiene el eje longitudinal del puente. El eje X será el perpendicular al Y y donde se encuentra incluido el ancho de la puente. El eje Z será el eje perpendicular al plano XY.

El origen de éste se situará en el estribo del margen izquierdo (0, 0, 0).

Se considerará como cota 0 el arranque del puente.

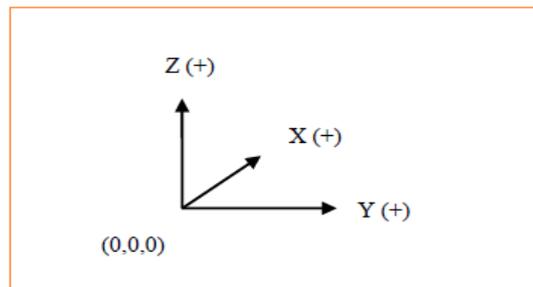


Ilustración 2. Sistema de Coordenadas usado y criterio de signos. (Fuente: Victoria Inglés)

4.3 UNIDADES. CRITERIOS DE SIGNOS.

Se irán indicando las unidades utilizadas en cada formula desarrollada en este proyecto, aunque de forma general como unidades de medida se usarán, salvo que se diga lo contrario:

- Para longitudes el sistema métrico (mm).
- Para las fuerzas, los Newtons (N)
- Para los momentos, milímetros por Newton (mmN). Positivo: sentido horario.
- Grados centígrados para la temperatura ($^{\circ}C$).

5 GEOMETRÍA LONGITUDINAL

El puente de estudio se trata de un puente en tres vanos con un perfil longitudinal parabólico y simétrico. Dos parábolas de iguales características en los vanos de los extremos y otra parábola para el vano central.

Una parábola tiene los siguientes elementos: foco (punto fijo F), directriz (recta fija d), vértice (punto de intersección de la parábola con su eje), parámetro (distancia del foco a la directriz, p), eje (recta perpendicular a la directriz que pasa por el foco) y radio vector (segmento que une un punto cualquiera de la parábola con el foco). La parábola es el lugar geométrico de los puntos de un plano que equidistan de una recta dada, la directriz, y de un punto exterior a ella, llamado foco.

La ecuación de la parábola queda así, siendo el vértice V(h,k):

$$(x - h)^2 = 4 \cdot p \cdot (y + k)$$

Los elementos de las parábolas del puente quedan definidas una vez seleccionada las variables de las longitudes del mismo.

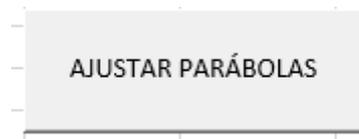
En la sistematización en Excel se introducirán los valores Longitud del vano del extremo, la Longitud del vano central –ambas medidas desde el centro del eje de los apoyos- y la Longitud de los mismos.

Ancho	4	(m)
Long extremos	4	(m)
Long entre pilas	30	(m)
Apoyo	0,5	(m)

Ilustración 3. Captura de la primera hoja del programa. (Fuente: Autora del proyecto)

Quedando definidos éstos valores, la hoja de cálculo se encarga de calcular las alturas del perfil longitudinal basándose en unas proporciones que concuerden con el tamaño del puente.

Con el Botón “Ajustar parábolas” interactuaremos con el programa para corregir las parábolas de nuestro perfil longitudinal.



5.1 MACRO “AJUSTAR PARÁBOLAS”.

Sub BuscarParametroa()

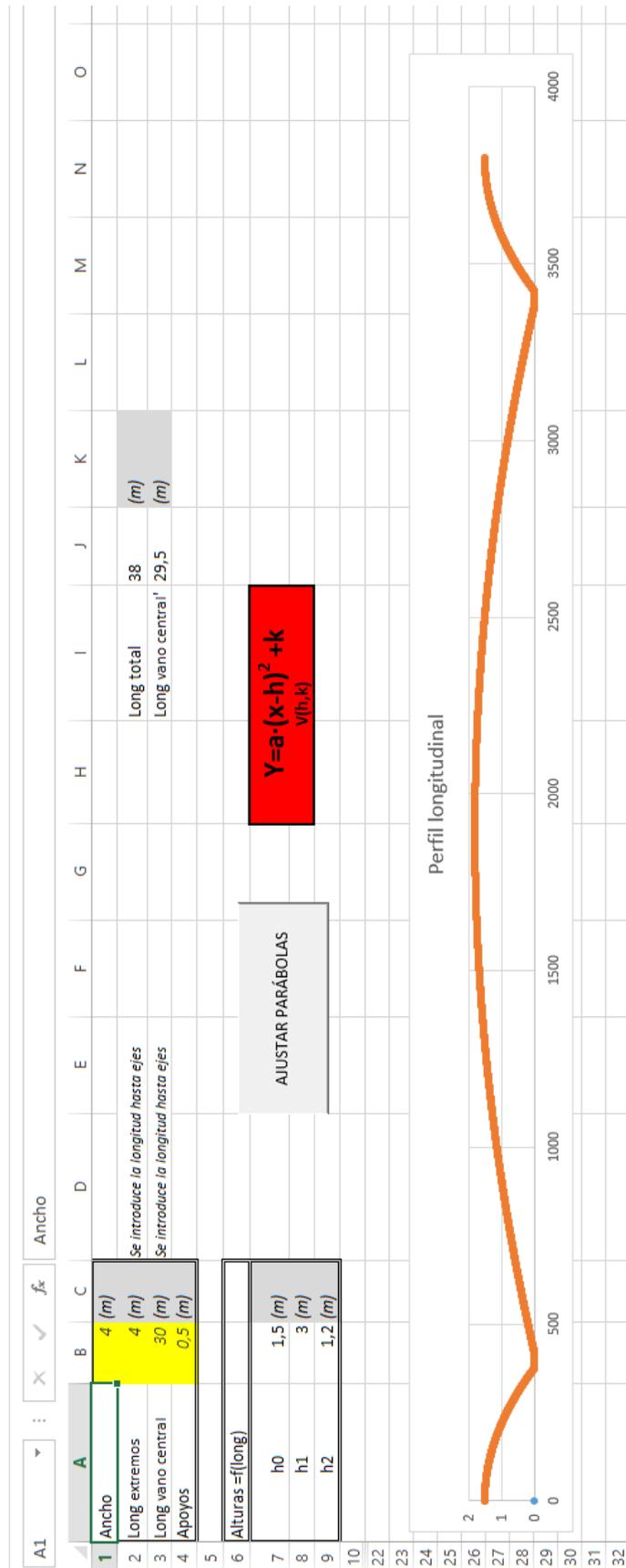


```

'
' BuscarParametroa Macro
' Busca el parámetro a de la función de la parábola vertical  $y=a(x-h)^2+k$ 
'
' Acceso directo: CTRL+a
'
    Range("G11").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("G13")
    Range("G15").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("G17")
    Range("G19").GoalSeek Goal:=0, ChangingCell:=Range("G21")

End Sub
  
```

Captura del entorno de trabajo de la Hoja 'DefGEO' de la sistematización.





Ésta primera hoja del programa, resuelve con sencillos métodos matemáticos una tabla donde se relaciona cada punto longitudinal x (en metros) con una altura y (en metros). Además grafica el resultado de nuestra elección.

Cálculos realizados por la hoja:

Se calculan datos auxiliares tales como la longitud total, siendo la suma de las longitudes de los tres vanos, y la luz del vano central denominada prima, que resta las medidas de los apoyos.

Long total 50 (m)
Luz vano central' 29,5 (m)

El cálculo de las parábolas en la definición de la geometría longitudinal se hace basándose en dos puntos conocidos de la parábola, que son el vértice y otro punto. En nuestro caso se trata de los puntos más altos del perfil con $y=f(h_0, h_1, h_2)$.

$$Y = a \cdot (x-h)^2 + k$$

v(h,k)

Parábola 1	x	y
Vértice (h,k)	0	1,5
Punto 1	9,75	0
Parábola 2	x	y
Vértice (h,k)	14,75	1,8
Punto 2	0	0
Parábola 3	x	y
Vértice (h,k)	9,75	1,5
Punto 3	0	0

Una vez variados los datos de entrada, se deben ajustar la parábola, para que el programa ajuste el parámetro llamado 'a' para cada caso. Una vez pulsado el botón, los datos de la tabla se actualizan y serán válidos:

X (m): representa los valores globales del eje x hasta la limitación de 50 metros, con un incremento de centímetro en centímetro.

X' (m): representa los valores locales del eje x, siendo el X=0 cada comienzo de un vano.

```
=SI(A35>SUMA($B$2*2+$B$3);""; SI(A35> (($B$2-($B$4/2))+
$B$4+($B$3-$B$4)+$B$4); A35-($B$2+$B$3+($B$4/2)); SI(A35> ((
$B$2-($B$4/2))+$B$4+($B$3-$B$4); $B$2; SI(A35> (($B$2-(
$B$4/2))+$B$4); A35-($B$2+($B$4/2)); SI(A35> ($B$2-($B$4/2));
$B$2; SI(A35>= 0; A35; "ERROR DIST NEG"))))
```

Ilustración 4. Condicional que muestra el valor de x' en función del vano. (Fuente: Autora del proyecto).



Xtot (m): representa los valores globales del eje x hasta la longitud total de nuestro puente.

```
=SI(D35="";"";A35)
```

Condición simple para que muestro los valores del eje X hasta el límite de la longitud que hayamos establecido.

Y perfil long (m): representa la imagen de x referenciado al punto más bajo del tablero.

```
=SI(A35>$O$6;"";SI(A35>$O$5;$G$21*(B35-$B$20)^2+$C$20;SI(A35>=$O$4;0;SI(A35>$O$3;$G$17*(B35-$B$16)^2+$C$16;SI(A35>=$O$2;0;SI(A35>=0;$G$13*(B35-$B$12)^2+$C$12;""))))))
```

Ilustración 5. Condicional que muestra el valor de y. (Fuente: Autora del proyecto).

La única limitación del programa es la longitud máxima del puente, que no puede ser mayor a 50 metros. Esto se ha decidido para que la programación del mismo en el entorno Excel no llegue a la capacidad máxima del software, ya que en cálculos posteriores, una longitud mayor provocaría el colapso de Excel. Pero esta limitación no supone un problema conceptual del programa.

En la hoja de cálculo aparecen varias celdas usadas como referencia:

	I	J	K	L	M	N	O
						Ptos	Longitud
Long total		50	(m)			1	9,75
Long vano central'		29,5	(m)			2	10,25
						3	39,75
						4	40,25
						5	50

La longitud total se corresponde con la suma de la longitud del vano del extremo, dos veces, y la longitud del vano central. Y los cinco puntos donde la graficación del perfil longitudinal hace la variación: Punto 1 donde empieza el primer apoyo, el punto 2 donde acaba el primer apoyo, punto 3 donde comienza el segundo apoyo, punto 4 donde acaba y el punto 5 el punto final del puente de estudio.

6 GEOMETRÍA TRANSVERSAL

La sección transversal de estudio es variable a lo largo del perfil longitudinal. La sección escogida es de tipo cajón donde la base denominada 1, el rectángulo superior, es la que sostendrá la losa, dos almas de base 2 y un trapecio en la parte inferior, que definiremos gracias a un ángulo denominado alfa.

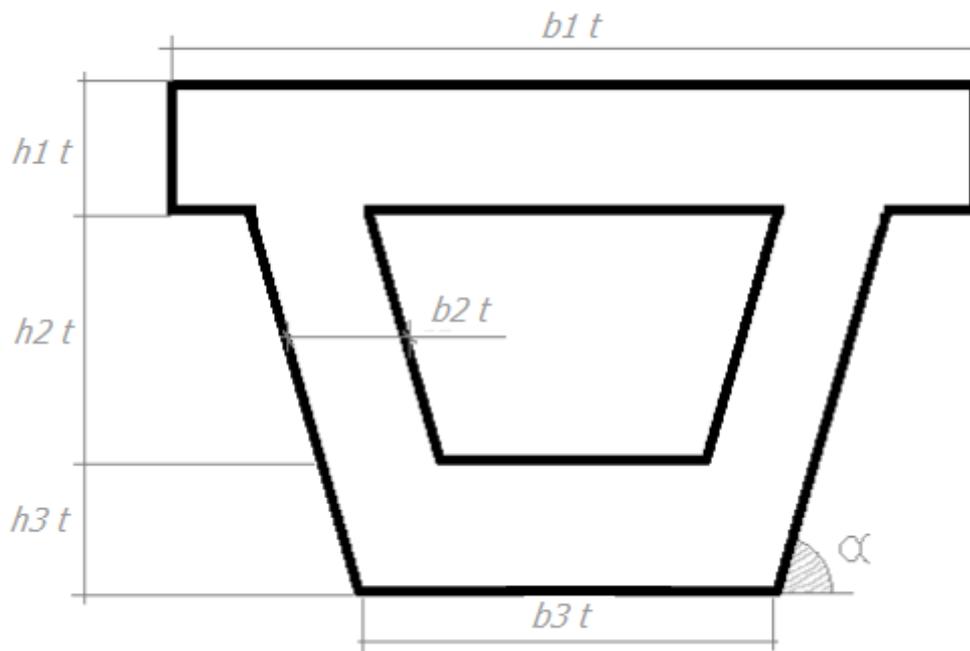


Ilustración 6. Sección cajón de estudio. (Fuente: Autora del proyecto)

En la hoja ‘Trans y Long’ quedan definidas las hipótesis de variabilidad de la sección en función de la longitud. Se ha decidido limitarlas a una altura máxima ($h1 t + h2 t + h3 t$ máxima denominada $A_{t \text{ max}}$) que corresponde con la altura longitudinal máxima (en el apoyo).

$$A_{t \text{ tot máx}} = h1 \text{ long}$$

La base superior corresponde con el ancho que le imponemos al puente:

$$\text{Ancho} = b1 t$$

Y las demás bases dependen de la primera en las siguientes proporciones:

$$b2 t = 0,25 \cdot b1 t \text{ (siendo la suma de ambas)}$$

$$b3 t = 0,6 \cdot b1 t$$

Definiendo los criterios de variación como los siguientes:

- En el punto extremo del puente, $h_0 l$, se corresponda con la altura máxima de la subsección del cajón 1,

$$h1 t \text{ máx} = h_0 l$$



- A partir de éste punto aparece y va aumentando primero la sub sección inferior hasta un valor máximo definido y una vez completado ir apareciendo las dos almas hasta llegar al máximo total.

Y la variación espacial es la siguiente:

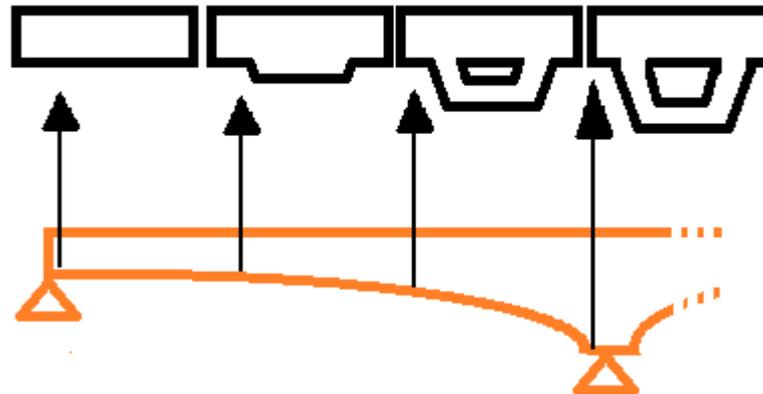


Ilustración 7. Variación de la sección longitudinalmente. (Fuente: Autora del proyecto)

Una vez definida la variación, procedemos a calcular las características de la sección transversal para cada punto longitudinal de estudio:

- Áreas parciales de las subsecciones y área bruta total.
- Centros de gravedad brutos parciales y total.
- Inercias parciales e inercia bruta total.
- En esta hoja se puede interactuar con el programa cambiando el tipo de hormigón de nuestro puente (*Ejemplo: HP 35*).
- Las casillas donde se definen la variabilidad de la sección transversal podrían cambiarse desde esta hoja si resultase que en cálculos posteriores la sección no fuese suficiente y debamos aumentarla.

Captura del entorno de trabajo de la Hoja ‘Trans y long’ de la sistematización.

D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
b1 T	b2 T	b3 T	α RAD	h0 long	h1 long	h2 long	MAX h1 T	MAX h2T	MAX h3T	hT tot MAX	HP
5	1,25	3	1,0471976	1,5	3	1,2	1,5	0,75	0,75	3	35



Cálculos realizados por la hoja:

X L (m) : con un incremento de 0,01 (m).

Y Long (m): correspondiente imagen de la altura del perfil longitudinal referenciado al punto más bajo del apoyo.

```
fx =DefGEO!D35
```

Referenciado a la primera hoja de cálculo con los valores del perfil longitudinal directamente.

Y Long' (m) arriba: imagen de la altura del perfil longitudinal referenciado al punto más alto de la sección. (Desde arriba de la sección).

```
fx =SI.ERROR($N$2-[@[Y Long(m)]];"")
```

Devuelve la diferencia de la altura máxima del tablero con la celda de **Y Long (m)**.

b1 T (mm): base transversal de la subsección 1. (Rectángulo superior).

```
fx =DefGEO!$B$1
```

Devuelve el valor del ancho en metros introducido en la primera hoja de cálculo.

b2 T (mm): base transversal de la subsección 2. (La suma de las dos almas).

```
fx =D2/3
```

Devuelve el valor de un tercio de la base 1 transversal en metros.

b3 T (mm): base transversal de la subsección 3. (Trapezio inferior).

```
fx =D2*0,5
```

Devuelve el valor de la mitad de la base 1 transversal en metros.

canto total (mm): suma de las tres alturas de las subsecciones.

	h1 T mm	h2 T mm	h3 T mm	canto total mm
6	1500	0	0	=SI.ERROR([@[h1 T mm
6	1500	0	0,001577909	1500,001578
6	1500	0	0,006311637	1500,006312

x (mm): base de uno de los dos triángulos formados de restar el rectángulo de base b3 T y altura A3 T de la subsección 3.

$$f_x = \frac{=[@[h3 T mm]]}{\text{TAN}([@[α RAD]])}$$

A1 (mm²): área de la subsección 1. (Rectángulo superior).

$$f_x = \frac{=[@[b1 T mm]] * [@[h1 T mm]]}{}$$

A2 (mm²): área de la subsección 2.

$$f_x = \frac{=[@[b2 T mm]] * [@[h2 T mm]]}{}$$

A3 (mm²): área de la subsección 3.

$$f_x = \frac{=([@[h3 T mm]] * [@[b3 T mm]]) + (2 * (([@[x mm]] * [@[h3 T mm]]) / 2))}{}$$

d1 (mm): distancia del centro de gravedad de la subseccion 1 referenciada a abajo de la sección.

$$f_x = \frac{=([@[h1 T mm]] / 2) + [@[h2 T mm]] + [@[h3 T mm]]}{}$$

d2 (mm): distancia del centro de gravedad de la subseccion 2 referenciada a abajo de la sección.

$$f_x = \frac{=([@[h2 T mm]] / 2) + [@[h3 T mm]]}{}$$

d3rect (mm): distancia del centro de gravedad de la subseccion 3-rectángulo referenciada a abajo de la sección.

$$f_x = \frac{=([@[h3 T mm]] / 2)}{}$$

d3trian (mm): distancia del centro de gravedad de la subseccion 3-triángulos referenciada a abajo de la sección.

$$f_x = \frac{=2 * [@[h3 T mm]] / 3}{}$$

I1 (mm⁴): inercia de la subsección 1.

$$f_x = \frac{=[@[b1 T mm]] * ([@[h1 T mm]]^3) / 12}{}$$

I2 (mm⁴): inercia de la subsección 2.

$$f_x = \frac{=[@[b2 T mm]] * ([@[h2 T mm]]^3) / 12}{}$$

I_{3rect} (mm⁴): inercia de la subsección 3-rectángulo.

$$f_x = \frac{[b_3 T mm]^3 [h_3 T mm]}{12}$$

I_{3trian} (mm⁴): inercia de la subsección 3-triángulos.

$$f_x = \frac{2[x mm]^3 [h_3 T mm]}{36}$$

Ac (mm²): área bruta total de la sección.

$$f_x = SI.ERROR([A_3] + [A_2] + [A_1 mm^2]; 0)$$

Y (mm): centro de gravedad bruto de la sección referenciado a arriba.

$$f_x = \frac{[A_1 mm^2] * [d_1] + [A_2] * [d_2] + ([b_3 T mm] * [h_3 T mm] * [d_{3rect}] + 2 * ([h_3 T mm] * [x mm] / 2 * [d_{3trian}]])}{[Ac]}$$

I_{bruta} (mm⁴): inercia bruta total de la sección.

$$f_x = ([I_1] + [A_1 mm^2] * ([y] - [d_1])^2) + ([I_2] + [A_2] * ([y] - [d_2])^2) + ([I_{3rect}] + ([h_3 T mm] * [b_3 T mm] * ([y] - [d_{3rect}])^2) + 2 * ([I_{3trian}] + ([x mm] * [h_3 T mm] / 2 * ([y] - [d_{3trian}])^2))$$

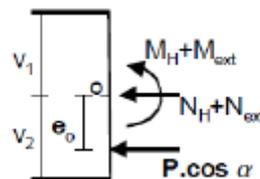


Ilustración 8. Distancias de cálculo para el dimensionamiento del pretensado. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

v₁ (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite físico superior.

$$f_x = [Canto estudio] - [y estudio]$$

v₂ (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite físico inferior.

$$f_x = -[y estudio]$$

eoM (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite geométrico superior.



fx = [=[@[v1 (mm)]]-\$AL\$2]

	AJ	AK	AL	AM	AN
			Cmin	diam vaina	
			63	63	

estudi	Canto estu	v1 (mm)	v2 (mm)	eoM (mm)	e
75E+12	1500	750	-750	1]]-\$AL\$2	

eom (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite geométrico inferior.

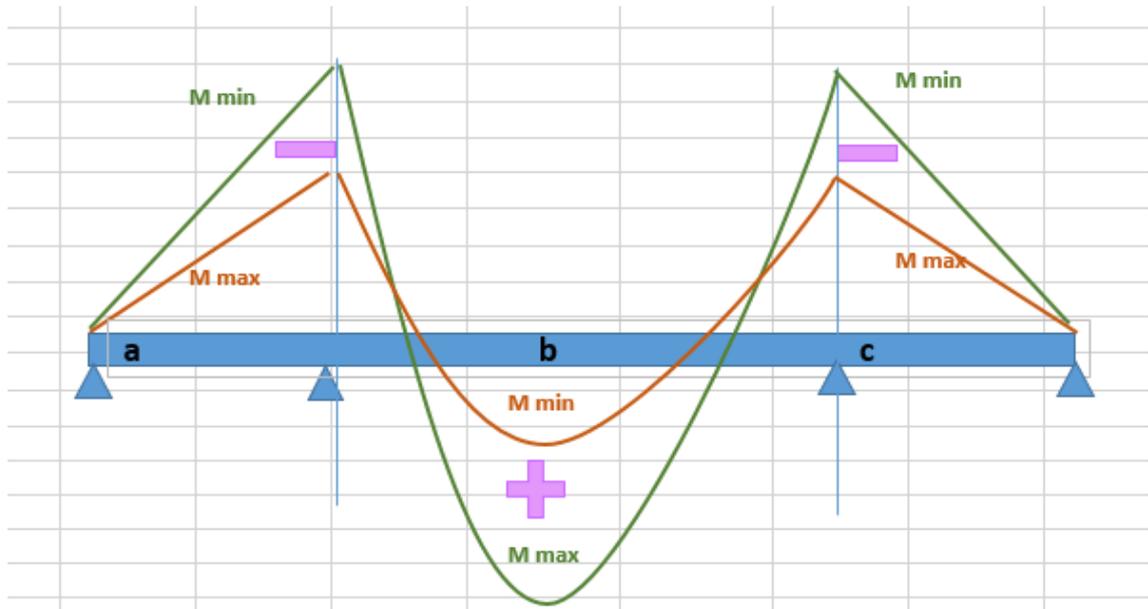
fx = [=[@[v2 (mm)]]+\$AL\$2]

	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
			Cmin	diam vaina		
			63	63		

estudi	Canto estu	v1 (mm)	v2 (mm)	eoM (mm)	eom (mm)
375E+12	1500	750	-750	687	=[@[v2 (mm)
146F+12	1515 7791	753 97735	-761 80174	690 97735	-698 80174



7 ESTIMACIÓN DE LOS MOMENTOS



En la sistematización trabajamos con una envolvente de momentos simplificada, a raíz de la obtención de momentos generados por el grupo de cargas que define la Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera de 2011 (de ahora en adelante la llamaremos IAP-11). El objeto de dicha Instrucción es la definición de las acciones y sus combinaciones, así como el establecimiento de los coeficientes de ponderación, a considerar en el proyecto de puentes de la red de carreteras del Estado Español, para permitir la verificación de tales elementos de la infraestructura viaria desde el punto de vista de la funcionalidad y de la seguridad estructural.

La obtención de las cargas, y su pequeña variación de respuesta respecto a la posible variación en función de la longitud, hace que adopte este método más conceptual, pues permite interactuar de forma más directa con el programa y obtener resultados más aclaradores para el estudio de la sección.

El entorno de trabajo de la hoja 'Estimación de Momentos' permite la entrada de valores máximos, la denominación de cada momento viene representada por la Ilustración anterior.

M min A	-3000 (mKn)
M max A	-500 (mKn)
M min B	500 (mKn)
M max B	800 (mKn)
M min C	-3000 (mKn)
M max C	-500 (mKn)

Ilustración 9. Captura de la entrada de datos de la hoja 'Estimación de momentos'. (Fuente: Autora del proyecto).

La hoja actual de cálculo determina los valores de corte de las parábolas en el vano central, para devolver de forma ordenada los valores máximo y mínimo respecto a cada sección. Esto se ha programado así para que la obtención de los momentos pueda ser



captada de una combinación real de cargas en estado límite de servicio frecuente. Siendo la combinación más desfavorable *los Momentos Verdes* y la combinación más favorable *los Momentos Naranjas* y ya se encarga la propia hoja de decidir cual son nuestros máximos y mínimos para cada x de estudio.

Cálculos realizados por la hoja:

X (m): representa el valor del eje x para cada sección de estudio. (Intervalo de metro en metro).

Caso: divide en función del valor de x el caso de estudio en un primer tramo denominado 'a' donde la variación de momentos es lineal ascendente, un segundo tramo parabólico 'b' y un tercer caso 'c' simétrico al primero.

Momento verde A (mkN); Momento verde B (mkN); Momento verde C (mkN): devuelve para cada valor de x la imagen correspondiente del momento más desfavorable en función del trazado en cada caso.

Formula: $=((\$P\$3-\$P\$2)*(\$B21-\$O\$2))/(\$O\$3-\$O\$2))+\$P\$2$

	B	C	D	E	F	G
x		Caso	verde A	verde B	verde C	naran A
0		a	2))+\\$P\$2	-9755,55556	-14800	-50
1		a	-345	-8928	-14505	-95

	N	O	P
a min	x	y	
1		0	-50
2		10	-3000

Momento naranja A (mkN); Momento naranja B (mkN); Momento naranja C (mkN): devuelve para cada valor de x la imagen correspondiente del momento más favorable en función del trazado en cada caso.

Formula: $=((\$T\$3-\$T\$2)*(\$B21-\$S\$2))/(\$S\$3-\$S\$2))+\$T\$2$

	B	C	D	E	F	G
x		Caso	verde A	verde B	verde C	naran A
0		a	-50	-9755,55556	-14800	2))+\\$T\$2
1		a	-345	-8928	-14505	-95

	R	S	T
a max	x	y	
1		0	-50
2		10	-500

M max (mkN): Devuelve el valor denominado como Momento máximo en función del caso en el que se encuentre el valor de x.

Formula: $=SI(C21="a";[@naran A]);SI([@Caso]="c";[@naran C]);SI([@x]<=K$11;[@naran B]);SI([@x]>=K$12;[@naran B]);[@verde B])$

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
x		Caso	verde A	verde B	verde C	naran A	naran B	naran C	M max
0		a	-50	-9755,55556	-14800	-50	-2277,778	-2300	verde B])
1		a	-345	-8928	-14505	-95	-2060	-2255	-95



M min (mkN): Devuelve el valor denominado como Momento mínimo en función del caso en el que se encuentre el valor de x.

UMA : f_x

=SI(C21="a";[@[verde A]];SI([@Caso]="c";[@[verde C]];SI([@x]<=K\$11;[@[verde B]];SI([@x]>=K\$12;[@[verde B]];[@[naran B]])))))

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
x	Caso	verde A	verde B	verde C	naran A	naran B	naran C	M max	M min
0	a	-50	-9755,55556	-14800	-50	-2277,778	-2300	-50	an B]])))))

Puntos necesarios para el cálculo de cada tramo:

N	O	P	Q	R	S	T
a min	x	y		a max	x	y
1		0		1	0	-50
2		10		2	10	-500
c min	x	y		c max	x	y
1		40		1	40	-500
2		50		2	50	-50
b min	x	y		b max	x	y
1		25		1	25	500
2		10		2	10	-500
p		-0,014802632		p		-0,05625

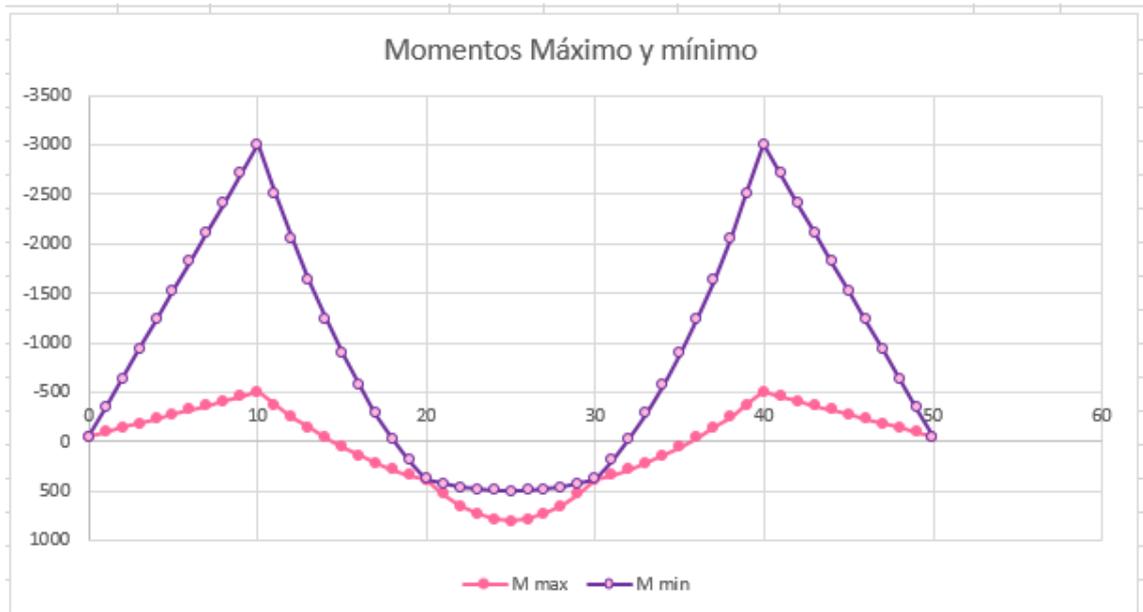


Ilustración 10. Graficación de los Momentos Máximos y mínimos para cada sección en la hoja 'Estimación de momentos'. (Fuente: Autora del proyecto).



8 DIMENSIONAMIENTO DEL PRETENSADO

El pretensado es una técnica consistente en la introducción en la estructura de fuerzas que producen tensiones, en general de signo contrario a las producidas por las demás acciones aplicadas, con la intención de mejorar su capacidad resistente o su comportamiento.

De acuerdo con el tiempo de tesado respecto al hormigonado, trabajamos con una armadura postesa, ya que el hormigonado se realiza antes del tesado y del anclaje de la armadura activa, una vez que el hormigón ha adquirido la suficiente resistencia.

El objetivo del pretensado es limitar las tracciones en el hormigón, evitando así las fisuras.

La sección no deberá sobrepasar los límites tensionales debido a la combinación frecuente y a la combinación más desfavorable. En nuestro caso, trabajamos con la combinación frecuente únicamente, así que sus Momentos máximos serán M_{max} y M_{min}^F y sus M_{min} y M_{min}^F .

El dimensionamiento del pretensado se hará según el diagrama de Magnel. Limitaciones tensionales de Magnel:

$$\begin{array}{l}
 \text{I} \quad e_o \leq \frac{1}{P} \cdot \left[\frac{I}{v_1} \cdot \bar{\sigma}_{c1,s} - (M_H - M_{max}) \right] - \frac{I}{A \cdot v_1} \\
 \text{II} \quad e_o \leq \frac{1}{P} \cdot \left[\frac{I}{v_2} \cdot \bar{\sigma}_{c2,i} - (M_H - M_{max}^F) \right] - \frac{I}{A \cdot v_2} \\
 \text{III} \quad e_o \geq \frac{1}{P} \cdot \left[\frac{I}{v_1} \cdot \bar{\sigma}_{c1,i} - (M_H + M_{min}^F) \right] - \frac{I}{A \cdot v_1} \\
 \text{IV} \quad e_o \geq \frac{1}{P} \cdot \left[\frac{I}{v_2} \cdot \bar{\sigma}_{c2,s} - (M_H + M_{min}) \right] - \frac{I}{A \cdot v_2}
 \end{array}$$

Ilustración 11. Limitación de tensiones. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

Debido a que desconocemos a priori una posible excentricidad e y no sabemos el fuerza de pretensado (P). Los pasos a seguir son los siguientes:

8.1 CÁLCULO DE LAS PENDIENTES DE LAS RECTAS DE MAGNEL.

Para cada sección, las cuatro rectas de Magnel crean un área que representa la posibilidad de un pretensado correspondiente a una excentricidad. Siendo el lado izquierdo el máximo pretensado que resiste la sección y la parte más a la derecha el resultado más óptimo.

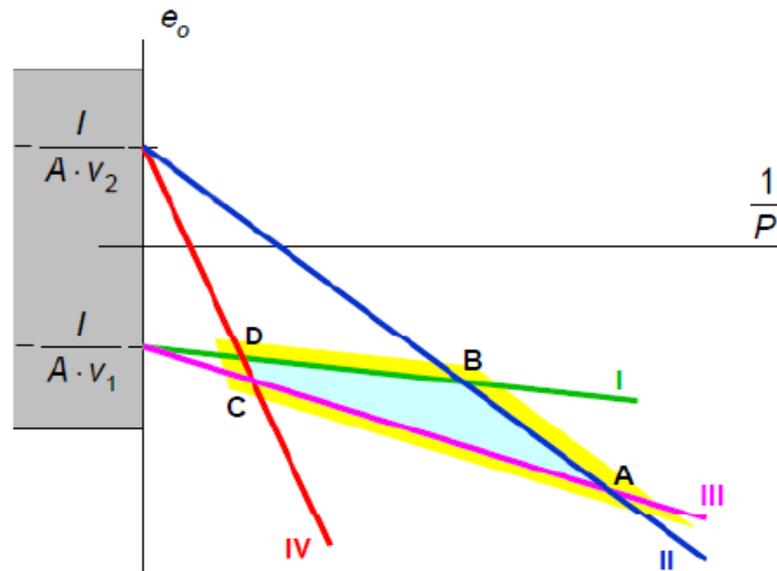


Ilustración 12. Diagrama de Magnel. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

Las pendientes de las rectas se pueden calcular atendiendo a las siguientes fórmulas:

$$m1 = \frac{I}{v1} \cdot \sigma_{c1,s} - (M_H + M_{m\acute{a}x})$$

$$m2 = \frac{I}{v2} \cdot \sigma_{c2,i} - (M_H + M_{m\acute{a}x}^F)$$

$$m3 = \frac{I}{v1} \cdot \sigma_{c1,i} - (M_H + M_{m\acute{i}n}^F)$$

$$m4 = \frac{I}{v2} \cdot \sigma_{c2,s} - (M_H + M_{m\acute{a}x})$$

8.2 LIMITACIONES GEOMÉTRICAS EN MAGNEL.

Debemos tener en cuenta que existe una limitación geométrica superior y otra inferior impuestas por recubrimientos mismo de los cables de pretensado.

Recubrimiento de armaduras activas pasivas (*37.2.4.2 EHE-08). *En el caso de armaduras activas postesas, los recubrimientos mínimos en las direcciones horizontal y vertical serán por lo menos igual al mayor de los límites siguientes y no podrán ser nunca superiores a 80 (mm).*

-40 (mm).

-El mayor de: la menor dimensión o la mitad de la mayor dimensión de la vaina o grupo de vainas en contacto.

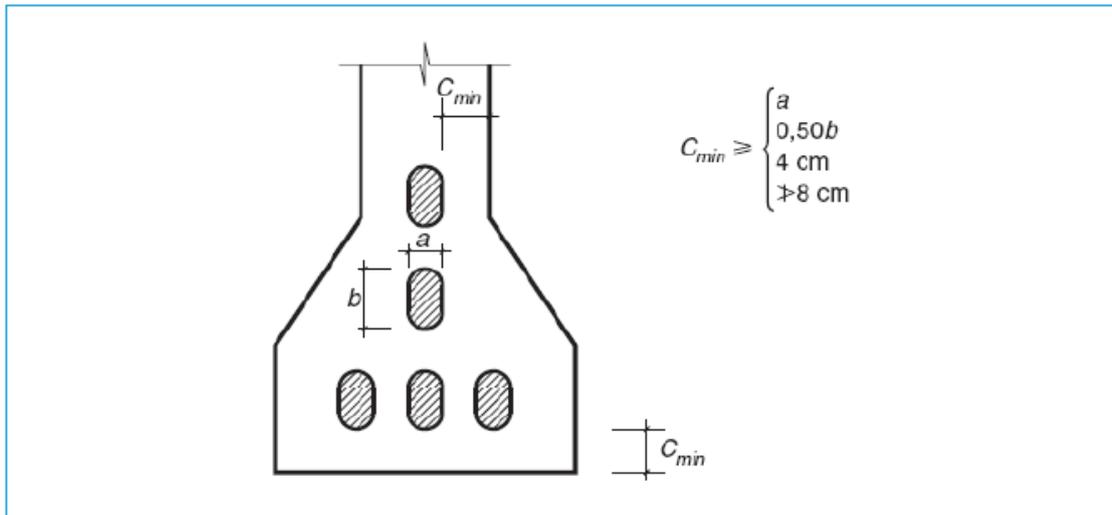


Ilustración 13. Recubrimientos mínimos. (Fuente: 37.2.4.2 EHE-08)

Llamamos e_{oM} a limitación geométrica superior y e_{om} a la limitación geométrica inferior:

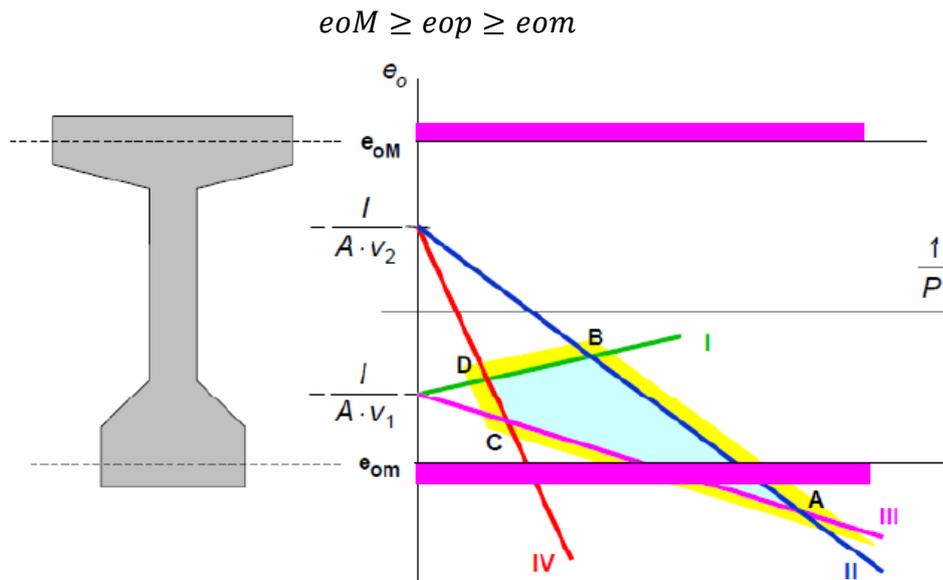


Ilustración 14. Limitaciones geométricas. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

En función de que limitación sea más restrictiva se deberá estudiar si la sección es subcrítica (la limitación tensional es más restrictiva) o supracrítica (la limitación geométrica es más restrictiva).

8.3 INTERVALO DE LA VARIACIÓN DE PRETENSADO. K.

En una primera instancia, donde desconocemos las pérdidas reales de pretensado, la K será estimada para cada sección. Otra condición que se debe tener en cuenta la carrera del pretensado:

$$P_{m\acute{a}x} > k \cdot P_{m\acute{i}n}$$



8.4 COMPROBACIÓN DE LA SECCIÓN MÍNIMA.

Según la pendiente de las rectas, el caso de estudio variará el proceso resolutivo. Tenemos ocho posibles casos de estudio, (a, b, c, d, e, f, g y h) en función de las pendientes.

La sección será suficiente si se cumplen las condiciones expresadas en la siguiente tabla:

	$m_1 > 0$	$m_1 < 0$		$m_2 > 0$	$m_2 < 0$
$m_3 > 0$	$m_1 > km_3$	INSUFICIENTE	$m_4 > 0$	$m_2 > km_4$	INSUFICIENTE
$m_3 < 0$	SUFICIENTE	$m_3 < km_1$	$m_4 < 0$	SUFICIENTE	$m_4 < km_2$

Tabla 1. Comprobación de sección mínima. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

8.5 DIMENSIONADO DE LA ARMADURA MÍNIMA.

Lo interesante del trabajo del ingeniero, no es sólo encontrar la solución, si no de proporcionar la solución más óptima. En este caso, buscamos la solución más económica, que se traduce en el pretensado mínimo necesario para la sección.

$$\rho = -\frac{I}{A} \cdot \left(\frac{1}{v_1 \cdot v_2} \right)$$

$$h = v_1 - v_2$$

8.5.1 CASO A: $m_2 > 0; m_3 > 0$

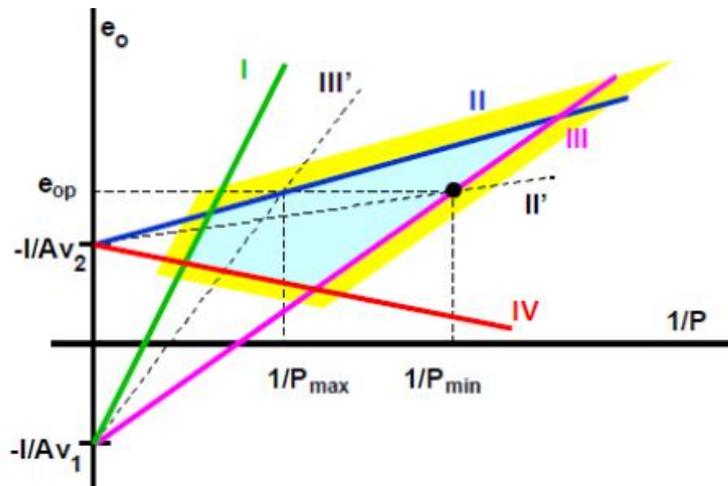


Ilustración 15. Dimensionamiento en Caso A. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).



$$e_{opB} = \frac{m_2}{P_{\min B}} + \rho \cdot v_1$$

Debemos comprobar que $e_{om} < e_{opB} < e_{oM}$. Si cumple debemos continuar con la comprobación tensional. Si no cumple, debemos proceder al caso Supracrítico.

8.5.3 CASO C: $m_2 < 0; m_3 > 0$

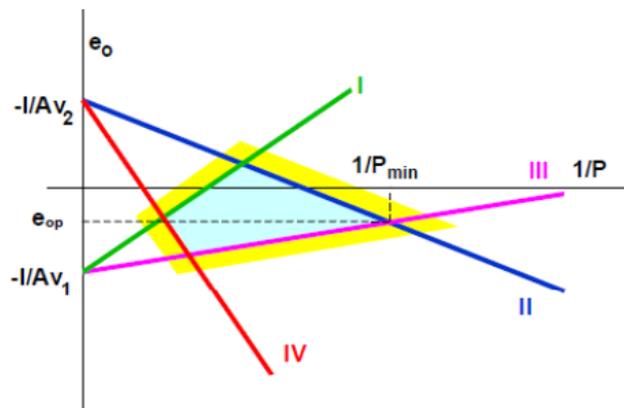


Ilustración 17. Dimensionamiento en Caso C. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

En este caso, para hallar el pretensado mínimo y su excentricidad correspondiente atendiendo a:

$$P_{\min C} = \frac{m_3 - m_2}{\rho \cdot h}$$

$$e_{opC} = \frac{m_2}{P_{\min C}} + \rho \cdot v_1$$

Debemos comprobar que $e_{om} < e_{opB} < e_{oM}$. Si cumple debemos continuar con la comprobación tensional. Si no cumple, debemos proceder al caso Supracrítico.

8.5.4 CASO D: SECCIÓN SUPRACRÍTICA.

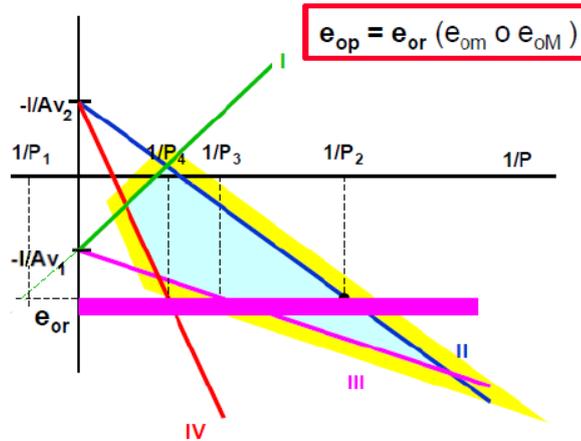


Ilustración 18. Dimensionamiento en Caso D. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

La excentricidad en este caso está condicionada por las limitaciones geométricas de la sección.

El cálculo del pretensado mínimo dependerá del signo de las pendientes atendiendo a la siguiente tabla:

m_1	m_2	m_3	m_4	P_{min}	P_{max}
> 0	> 0	> 0	> 0	$\max(P_3, P_4)$	$\min(P_1, P_2)$
> 0	> 0	> 0	< 0	P_3	$\min(P_1, P_2, P_4)$
> 0	< 0	> 0	< 0	$\max(P_2, P_3)$	$\min(P_1, P_4)$
> 0	< 0	< 0	< 0	P_2	$\min(P_1, P_3, P_4)$
< 0	< 0	< 0	< 0	$\max(P_1, P_2)$	$\min(P_3, P_4)$

Tabla 2. Sección SUPRACRÍTICA. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

Siendo:

$$P_1 = \frac{m_1}{e_{or} + \frac{I}{A \cdot v_1}}$$

$$P_2 = \frac{m_2}{e_{or} + \frac{I}{A \cdot v_2}}$$

$$P_3 = \frac{m_3}{e_{or} + \frac{I}{A \cdot v_1}}$$

$$P_4 = \frac{m_4}{e_{or} + \frac{I}{A \cdot v_2}}$$

9 SISTEMATIZACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DEL PRETENSADO

En la hoja de cálculo ‘Calc Magnel’ aparece una gran tabla con tantas filas como secciones estemos estudiando y las siguientes columnas:

9.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN.

En las primeras columnas se visualizan las características anteriormente calculadas para cada sección propuesta

x estudio (m).

Ac estudio (mm²).

SUMA : =SI.ERROR(BUSCAR('calc MAGNEL'!A6;'trans y long'!A5:A5005;'trans y long'!Y5:Y5005);0)

m	mm ²	mm	mm ⁴	mm	Mpa	mm	mm	mm
x estudi	Ac estudio	y estudi	I b estudi	Canto estudi	Fctm,f	v1	v2	eoM
0	=SI.ERROR(BUSCAR('calc MAGNEL'!A6;'trans y long'!Y5:Y5005);0)	750	1,6875E+12	1500	3,20996244	750	-750	
1	9047481.027	761.801743	1.71463E+12	1515.77909	3.20996244	753.97735	-761.80174	690.977

y estudio (mm).

SUMA : =SI.ERROR(BUSCAR('calc MAGNEL'!A6;'trans y long'!A5:A5005;'trans y long'!Z5:Z5005);0)

m	mm ²	mm	mm ⁴	mm	Mpa	mm	mm	mm
x estudi	Ac estudio	y estudi	I b estudi	Canto estudi	Fctm,f	v1	v2	eoM
0	9000000	=SI.ERROR(BUSCAR('calc MAGNEL'!A6;'trans y long'!Z5:Z5005);0)	1,6875E+12	1500	3,20996244	750	-750	
1	9047481.027	761.801743	1.71463E+12	1515.77909	3.20996244	753.97735	-761.80174	690.977

I b estudio (mm⁴).

=SI.ERROR(BUSCAR('calc MAGNEL'!A6;'trans y long'!A5:A5005;'trans y long'!AA5:AA5005);0)

Canto estudio (mm).

```
f_x =SI.ERROR(BUSCAR('calc MAGNEL'!A6;'trans y long'!A5:A5005;'trans y long'!K5:K5005);0)
```

v1 (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite físico superior.

```
f_x =[@[Canto estudio]]-[@[y estudio]]
```

v2 (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite físico inferior.

```
f_x =-[@[y estudio]]
```

eoM (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite geométrico superior.

```
f_x =[@[v1 (mm)]]-$AL$2
```

	AK	AL	AM	AN
		Cmin	diam vaina	
		63	63	

estudi	Canto estu	v1 (mm)	v2 (mm)	eoM (mm)
75E+12	1500	750	-750	0

eom (mm): distancia del centro de gravedad de la sección hasta el límite geométrico inferior.

```
f_x =[@[v2 (mm)]]+$AL$2
```

AJ	AK	AL	AM	AN	AO
		Cmin	diam vaina		
		63	63		

estudi	Canto estu	v1 (mm)	v2 (mm)	eoM (mm)	eom (mm)
375E+12	1500	750	-750	687	0
146F+12	1515 7791	753 97735	-761 80174	690 97735	-698 80174

Fctm,fl (MPa): La resistencia media a flexotracción es función del canto total del elemento en (mm), de la resistencia media a tracción –fct,m (Mpa) y de la resistencia característica de proyecto –fck (MPa) . Definida en el apartado 39.1 de la EHE-08.



$$f_{ct,m,fl} = \max \left\{ \left(1,6 - \frac{\text{canto útil}(mm)}{1000} \right) \cdot f_{ct,m} ; f_{ct,m} \right\}$$

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ (MPa)}$$

$$f_{ct,m} = 0,58 \cdot f_{ck}^{1/2} \quad \text{para } f_{ck} > 50 \text{ (MPa)}$$

f_x =MAX((1,6-((H5+I5+J5)/1000))*\$AP\$2;(\$AP\$2))

AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
min	diam vaina	fck	fctm,fl	fct,m	fct,k	
63	63	35	3,20996244	3,209962442	2,246973709	

(mm)	v2 (mm)	eoM (mm)	eom (mm)	M max (Nmm)	M min (Nmm)	fctm,fl
750	-750	687	-687	8,02E+04	1,12E+03	\$AP\$2;(\$AP\$2)

9.2 MOMENTOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS.

Devuelve los valores anteriormente calculado correspondiente a cada sección.

M max (mmN).

f_x = 'Estimar Momentos'!J21*10^6

G	H	I	J	K	L
mm	mm	mm	mm	mmN	mmN
v1	v2	eoM	eom	M max	M min
750	-750	687	-687	= 'Estimar M	-5,00E+07

M min (mmN).

f_x = 'Estimar Momentos'!K21*10^6

G	H	I	J	K	L
mm	mm	mm	mm	mmN	mmN
v1	v2	eoM	eom	M max	M min
750	-750	687	-687	-5,00E+07	= 'Estimar M



9.3 LIMITIACIONES TENSIONALES DE MAGNEL.

LIM I (MPa): Devuelve el valor de $\sigma_{c1,s} = 0,6 \cdot f_{ck}$.

LIM II (MPa): Devuelve el valor de $\sigma_{c2,i} = 0$.

LIM III (MPa): Devuelve el valor de $\sigma_{c1,i} = 0$.

LIM IV (MPa): Devuelve el valor de $\sigma_{c2,s} = 0,6 \cdot f_{ck}$.

M	N	O	P
MPa	MPa	MPa	MPa
menor que	menor que	mayor que	mayor que
LIM I	LIM II	LIM III	LIM IV

9.4 PENDIENTES DE MAGNEL.

En todas éstas fórmulas deberán introducirse las unidades en (mm) y (N). El valor del Momento Hiperestático será despreciado en esta etapa. Los momentos van con su signo según el criterio utilizado. (Positivo: sentido horario.)

$$m1 = \frac{I}{v1} \cdot \sigma_{c1,s} - (M_{m\acute{a}x})$$

$$m2 = \frac{I}{v2} \cdot \sigma_{c2,i} - (M_{m\acute{a}x})$$

$$m3 = \frac{I}{v1} \cdot \sigma_{c1,i} - (M_{min})$$

$$m4 = \frac{I}{v2} \cdot \sigma_{c2,s} - (M_{min})$$

Q	R	S	T
mmN	mmN	mmN	mmN
I	II	III	IV
m1	m2	m3	m4

9.5 VARIACIÓN DE LA FUERZA DEL PRETENSADO.

$$K = \frac{P_{m\acute{a}x}}{P_{min}} = \frac{\gamma_{p,des} \cdot P_{ki}}{\gamma_{p,fav} \cdot P_{ki} - \gamma_{p,fav} \cdot \Delta P_{dif}}$$

En esta primera etapa se definirán unos valores de pérdidas de pretensado aproximadas, que se irán corrigiendo en iteraciones venideras.



Valores para la primera iteración:
 $P_{ki} \approx 10\%$
 $P_{tot} \approx 20\%$

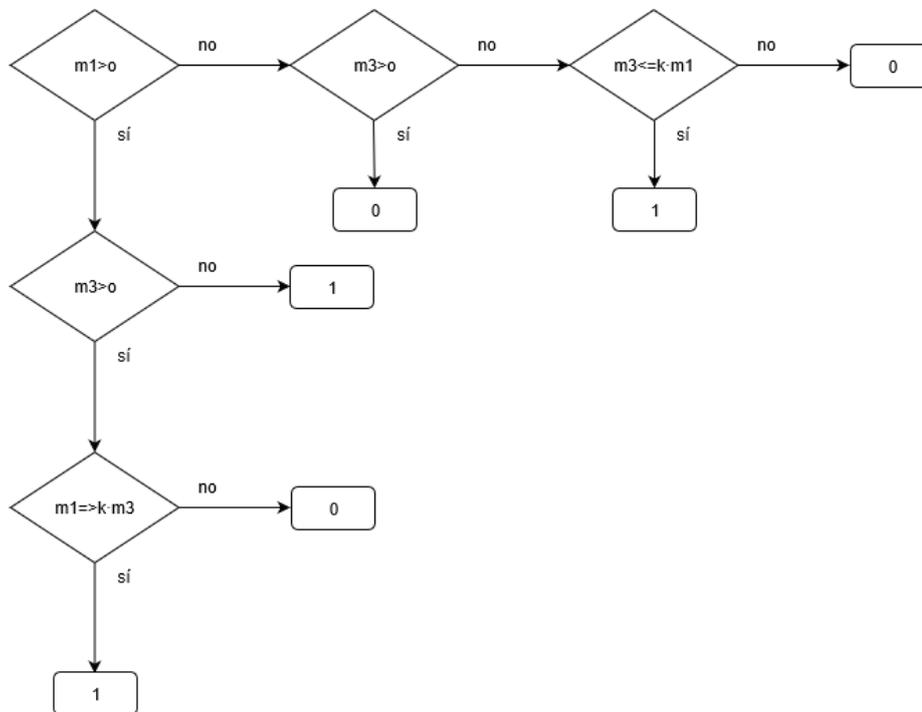
S	T	U	V	W
	P_{ki} 10	$\Delta p_{dif} (\%)$ 20		
mmN		$k = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{\gamma_{p,des} \cdot P_{ki}}{\gamma_{p,fav} \cdot (P_{ki} - \Delta P_{dif})}$		
	III	IV		
	m3	m4	K	Primera Segunda
50000000	-4720000000	= (1,1*(1-0,20))	1	1
345000000	-46920886581	1,375	1	1
640000000	-46855087011	1,375	1	1

9.6 COMPROBACIÓN DE SECCIÓN MÍNIMA.

Primera: Comprobaciones entre las pendientes m1 y m3. La sistematización en Excel de la anterior tabla se ha conseguido con un simple flujograma, donde se emite un 1 si la sección es suficiente o un 0 indicando que no lo es.

```

fx =SI([@m1]>0;SI([@m3]>0;SI([@m1]>=[@K]*[@m3];1;0);1);SI([@m3]>0;0;SI([@m3]<=[@K]*[@m1];1;0)))
    
```

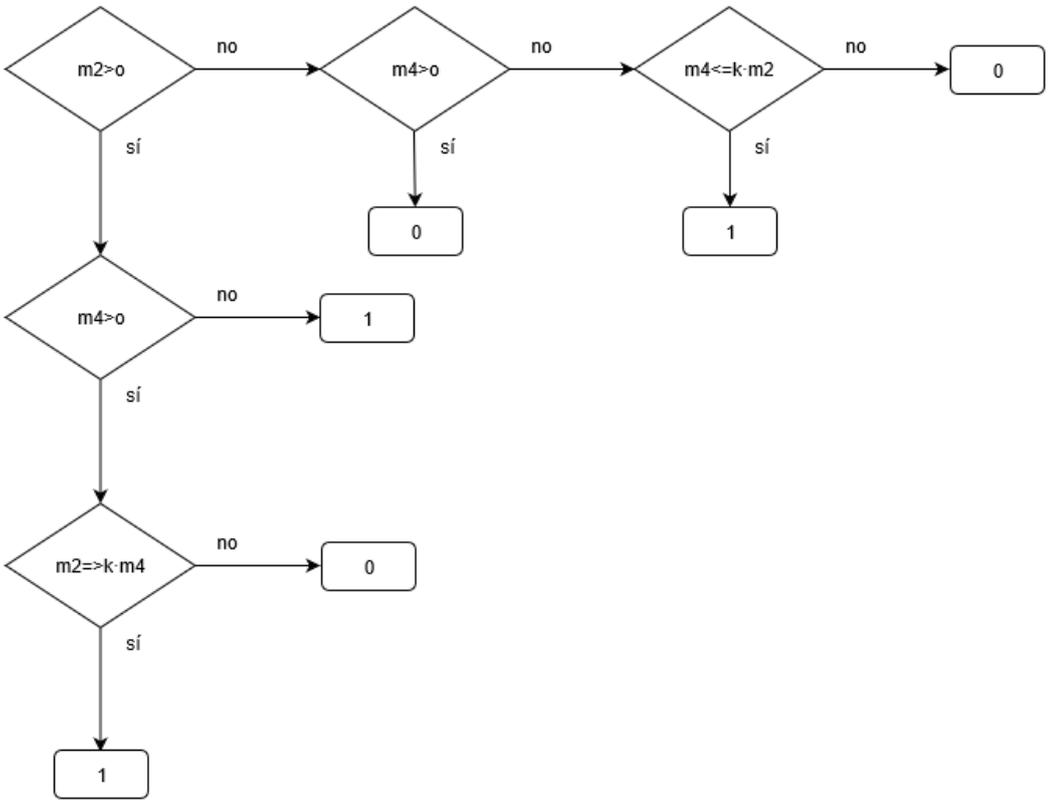


Segunda: Comprobaciones entre las pendientes m2 y m4. La sistematización en Excel de la anterior tabla se ha conseguido con un simple flujograma, donde se emite un 1 si la sección es suficiente o un 0 indicando que no lo es.



```

fx =SI([@m2]>0;SI([@m4]>0;SI([@m2]>=[@K]*[@m4];1;0);1);SI([@m4]>0;0;SI([@m4]<=[@K]*[@m2];1;0)))
    
```



Caso m1m3: Verifica las posiciones en función de los signos de las pendientes y sus posibles limitaciones.

- Caso a. Limitación $m3 \leq k \cdot m1$
- Caso b. Limitación $m3 \leq m1/k$
- Caso c. No hay limitación.
- Caso d. Sección insuficiente.

```

fx =SI([@m1]<0;SI([@m3]<0;"A";"D");SI([@m3]>0;"B";"C"))
    
```

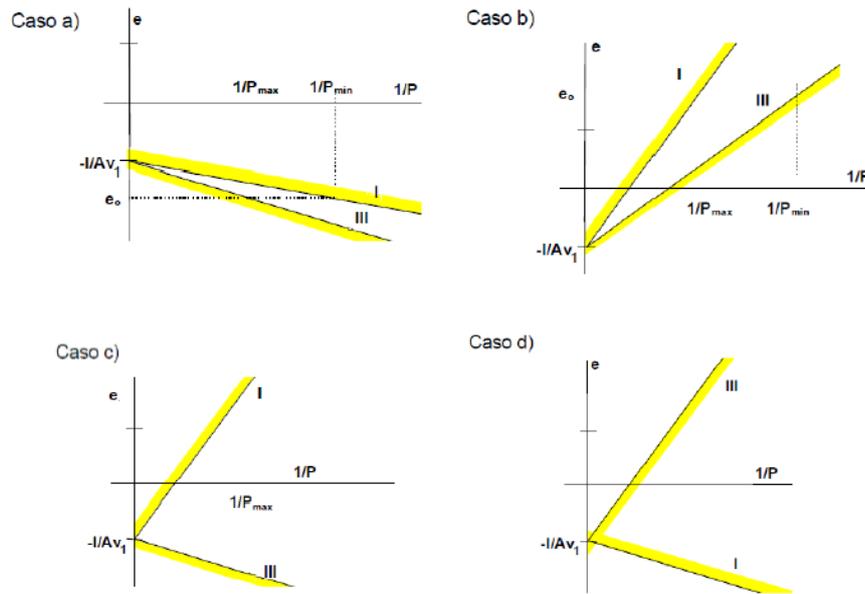


Ilustración 19. Casos posibles m1 y m3. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).

Caso m1m4: Verifica las posiciones en función de los signos de las pendientes y sus posibles limitaciones.

- Caso e. Limitación $m4 \leq m2/k$
- Caso f. Limitación $m4 \leq k \cdot m2$
- Caso g. No hay limitación.
- Caso h. Sección insuficiente.

$$f_x = \text{SI}([\text{@m2}] < 0; \text{SI}([\text{@m4}] < 0; "F"; "H"); \text{SI}([\text{@m4}] > 0; "E"; "G"))$$

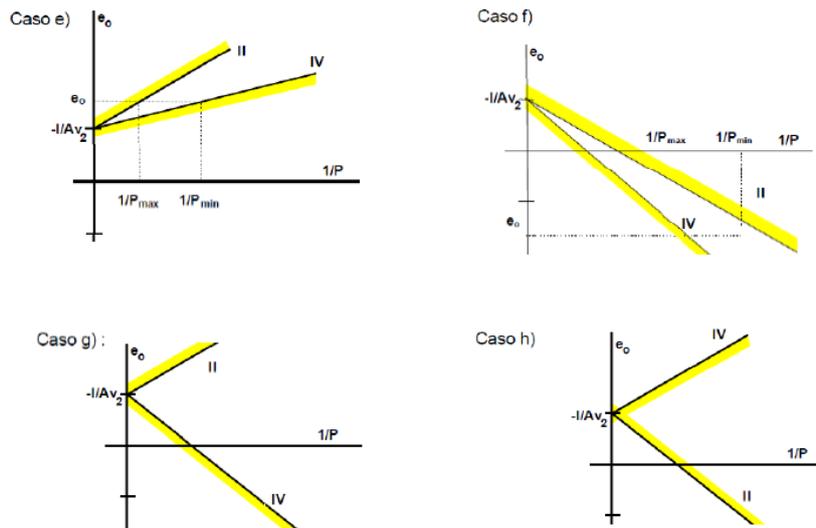


Ilustración 20. Casos posibles m2 y m4. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez).



9.7 ORDENADAS EN EL ORIGEN.

Ordenada inferior (mm): $-I / (A \cdot v1)$ para cada sección. Se trata de una distancia que debe salir negativa.

fx =SI.ERROR((-[@I b estudio])/([@[Ac estudio]]*@[v1]]);0|

	W	X	Y	Z	AA
		mm	mm		
er	Segun	Ordenada inf	Ordenada sup	Caso m1m3	Caso m1
1	1	=SI.ERROR((-@[I b estudio])/([@[Ac estudio]]*@[v1]));0	250	B	G
		-751 3537444	748 7716101	R	R

Ordenada superior (mm): $-I / (A \cdot v2)$ para cada sección. Se trata de una distancia que debe salir positiva.

fx =SI.ERROR((-[@I b estudio])/([@[Ac estudio]]*@[v2]]);0|

	W	X	Y	Z	AA
		mm	mm		
er	Segun	Ordenada inf	Ordenada sup	Caso m1m3	Caso m1
1	1	-250	=SI.ERROR((-@[I b estudio])/([@[Ac estudio]]*@[v2]));0	B	G
		751 3537444	748 7716101	R	R

9.8 DIMENSIONADO DE LA ARMADURA MÍNIMA.

CASO: Muestra el caso de estudio para cada sección.

A	B	C	SUPRA
---	---	---	-------

$$\rho = -\frac{I}{A} \cdot \left(\frac{1}{v1 \cdot v2} \right)$$

$$h \text{ (mm)} = v1 - v2$$

fx =SI([@m2]>0; SI([@m3]>0; "A"; "SUPRA");SI([@m3]<0;"B";"C"))|

Captura del entorno Excel, para la visualización de la respuesta de cada caso.

CASO
A
A
A
A
A
A
A
A
A
C
C
C
B
B
B
B
B
B



9.8.1 CASO A.

A

m'2 A: Recalcula la pendiente m2 prima para el caso A.

$$f_x = \frac{m_2}{K}$$

m'3 A: Recalcula la pendiente m3 prima para el caso A.

$$f_x = m_3 * K$$

P min A (N): Calcula el pretensado mínimo para el caso A.

$$f_x = \text{SI.ERROR}(\frac{m_3 - m_2}{r * h}; 0)$$

eop A (mm): Calcula la excentricidad correspondiente para el pretensado mínimo A referenciada al centro de gravedad de la sección.

$$f_x = \frac{m_3}{P_{min}} + (r * v_2)$$

Cumple A?: Comprueba que la excentricidad obtenida cumple con las limitaciones geométricas de la sección, si no cumpliese el programa muestra un 'No'.

$$f_x = \text{SI}(Y(eop) \geq eom_2; (eop \leq eom); "ok"; "no")$$

eop A def (mm): Calcula la excentricidad correspondiente para el pretensado mínimo A conforme las limitaciones geométricas referenciada al centro de gravedad de la sección.

$$f_x = \text{SI}([Cumple A?] = "ok"; [eop A]; \text{SI}([eop A] > [eom]; [eom]; [eom_2]))$$

eop A ref arriba (mm): Calcula la excentricidad definitiva correspondiente para el pretensado mínimo A referenciada a la parte superior de la sección.

$$f_x = \text{SI}([eop A def] > 0; ([v_1] - [eop A def]); (\text{ABS}([eop A def]) + ([v_1])))$$

1/P A max: Punto x de corte de las dos rectas correspondientes cuya imagen se corresponde con el Pretensado máximo.

$$f_x = \frac{[Ordenada sup] - [Ordenada inf]}{[m^3 A] - [m_2]}$$

Pmax A (N): Pretensado máximo correspondiente con la carrera de pretensado mínimo calculado en el caso A.

$$f_x = \text{SI.ERROR}(1/[1/P A max]; "")$$



AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN
CASO A		Pmax	-278402,2843	N				
		Pmin	2740151,44	N				
mmN	mmN	N	mm	mm	mm			
m'2 A	m'3 A	P min A	eop A	eop A def	oP A ref ar	Cumple A:	1/P A max	Pmax A
36363636,36	68750000	27272,72727	1583,333333	687	63	no	2,66667E-05	37500
69090909,09	474375000	551680,4123	374,0088172	374,0088172	379,968532	ok	1,31829E-06	758560,5669
101818181,8	880000000	1072251,554	341,0144964	341,0144964	425,278632	ok	6,78267E-07	1474345,886
134545454,5	1285625000	1572309,756	329,9000508	329,9000508	458,145486	ok	4,62551E-07	2161925,914
167272727,3	1691250000	2018940,834	329,4193039	329,4193039	491,474944	ok	3,60225E-07	2776043,647
200000000	2096875000	2374205,56	339,5912608	339,5912608	527,235	ok	3,06323E-07	3264532,645

9.8.2 CASO B.

B

m'2 B: Recalcula la pendiente m2 prima para el caso B.

$$f_x = =[@K]*[@m2]$$

m'3 B: Recalcula la pendiente m3 prima para el caso B.

$$f_x = =[@m3]/[@K]$$

P min B (N): Calcula el pretensado mínimo para el caso B.

$$f_x = =SI.ERROR(([@m"3 B]-[@m2])/(AD6*AE6);"")$$

eop B (mm): Calcula la excentricidad correspondiente para el pretensado mínimo B referenciada al centro de gravedad de la sección.

$$f_x = =SI.ERROR(([@m2]/[@Pmin B])+([@r]*([@v1]));0)$$

Cumple B?: Comprueba que la excentricidad obtenida cumple con las limitaciones geométricas de la sección, si no cumpliese el programa muestra un 'No'.

$$f_x = =SI(Y([@[eop B]]>=[@eom 2]);([@[eop B]]<=[@eoM]));"ok";"no")$$

eop B def (mm): Calcula la excentricidad correspondiente para el pretensado mínimo B conforme las limitaciones geométricas referenciada al centro de gravedad de la sección.

$$f_x = =SI([@[Cumple B?]]="ok";[@eop B];SI([@[eop B]>[@eoM];[@eoM];[@eom 2]))$$

eop B ref arriba (mm): Calcula la excentricidad definitiva correspondiente para el pretensado mínimo B referenciada a la parte superior de la sección.

$$f_x = =SI([@[eop B def]]>0;([@[v1]]-[@eop B def]);ABS([@[eop B def]])+([@[v1]]))$$

1/P B max: Punto x de corte de las dos rectas correspondientes cuya imagen se corresponde con el Pretensado máximo.

$$f_x = =([@[Ordenada sup]]-[@Ordenada inf])/([@m3]-[@m"2 B])$$



Pmax B (N): Pretensado máximo correspondiente con la carrera de pretensado mínimo calculado en el caso B.

$$f_x = \text{SI.ERROR}(1/[@1/P B max];"")$$

AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW
CASO B		Pmax	-37500	N				
		Pmin	1741075,843	N				
mmN	mmN	N	mm	mm	mm			N
m'2 B	m'3 B	Pmin B	eop B	eop B def	eoP B ref arr	Cumple B	1/P B max	Pmax B
-467500000	-139636363,6	401303,6929	-597,5977448	-597,5977448	1346,520468	ok	1,81228E-06	551792,5777
-534722222	-274747474,7	243400,0629	-1363,262515	-640,4185579	1343,837116	no	2,98797E-06	334675,0864
-728444444	-311919191,9	490534,1121	-857,9392838	-603,187877	1269,375754	no	1,48261E-06	674484,4042
-891000000	-334545454,5	737851,8209	-665,8148877	-574,2306808	1211,461362	no	9,85662E-07	1014546,254
-1007111111	-350707070,7	928730,6388	-583,1354485	-553,5469693	1170,093939	no	7,83083E-07	1277004,628
-1076777778	-360404040,4	1049531,607	-544,774042	-541,1367423	1145,273485	no	6,9295E-07	1443105,96
-1100000000	-363636363,6	1090909,091	-533,3333333	-533,3333333	1133,333333	ok	6,66667E-07	1500000
-1076777778	-360404040,4	1049531,607	-544,774042	-541,1367423	1145,273485	no	6,9295E-07	1443105,96
-1007111111	-350707070,7	928730,6388	-583,1354485	-553,5469693	1170,093939	no	7,83083E-07	1277004,628
-891000000	-334545454,5	737851,8209	-665,8148877	-574,2306808	1211,461362	no	9,85662E-07	1014546,254
-728444444	-311919191,9	490534,1121	-857,9392838	-603,187877	1269,375754	no	1,48261E-06	674484,4042
-534722222	-274747474,7	243400,0629	-1363,262515	-640,4185579	1343,837116	no	2,98797E-06	334675,0864
-467500000	-139636363,6	401303,6929	-597,5977448	-597,5977448	1346,520468	ok	1,81228E-06	551792,5777

9.8.3 CASO C.

C

P min C (N): Calcula el pretensado mínimo para el caso C.

$$f_x = \text{SI.ERROR}(([@m3]-[@m2])/([@r]*[@h]);"")$$

eop C (mm): Calcula la excentricidad correspondiente para el pretensado mínimo C referenciada al centro de gravedad de la sección.

$$f_x = \text{SI.ERROR}(([@m2]/[@P min C])+([@r]*([@v1]));0)$$

Cumple C?: Comprueba que la excentricidad obtenida cumple con las limitaciones geométricas de la sección, si no cumpliera el programa muestra un 'No'.

$$f_x = \text{SI}(Y([@[eop C]]>=[@eom 2]);([@[eop C]]<=[@eom]);"ok";"no")$$

eop C def (mm): Calcula la excentricidad correspondiente para el pretensado mínimo C conforme las limitaciones geométricas referenciada al centro de gravedad de la sección.

$$f_x = \text{SI}([@[Cumple C?]]="ok";[@[eop C]];SI([@[eop C]]>[@eom];[@eom];[@[eom 2]]))$$



eop C ref arriba (mm): Calcula la excentricidad definitiva correspondiente para el pretensado mínimo C referenciada a la parte superior de la sección.

$$f_x = \text{SI}([\text{eop C}] > 0; ([\text{v1}]) - [\text{eop C}]; (\text{ABS}([\text{eop C}])) + ([\text{v1}]))$$

1/P C max: Punto x de corte de las dos rectas correspondientes cuya imagen se corresponde con el Pretensado máximo.

$$f_x = \frac{([\text{Ordenada sup}] - [\text{Ordenada inf}])}{([\text{m1}] - [\text{m4}])}$$

Pmax C (N): Pretensado máximo correspondiente con la carrera de pretensado mínimo calculado en el caso C.

$$f_x = \text{SI.ERROR}(1/([\text{1/P C max}]); "")$$

AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
CASO C		Pmax		150450000	N	
		Pmin		2593342,49	N	
	N	mm	mm	mm		N
P min C	eop C	oP C ref ar	eop C de	Cumple (1/P C ma	Pmax C
1587915,78	232,89821	680,220654	232,89821	ok	4,46415E-09	224006777
1282546,32	144,306562	714,378204	144,306562	ok	4,7015E-09	212698236
950713,23	18,9907774	794,85615	18,9907774	ok	4,92255E-09	203146586
613225,36	-215,4912	993,257172	-215,4912	ok	5,12396E-09	195161715
613225,36	-215,4912	993,257172	-215,4912	ok	5,12396E-09	195161715
950713,23	18,9907774	794,85615	18,9907774	ok	4,92255E-09	203146586
1282546,32	144,306562	714,378204	144,306562	ok	4,7015E-09	212698236
1587915,78	232,89821	680,220654	232,89821	ok	4,46415E-09	224006777

9.8.4 CASO D: SECCIÓN SUPRACRÍTICA.

SUPRA

eor (mm): Si se debiese estudiar la sección supracrítica, se debe introducir la excentricidad correspondiente, el programa introduce en función del signo de los momento máximo y mínimo actuantes en la sección la excentricidad límite superior o inferior. Si los momentos actuantes en la sección son negativos, se requiere Pretensado positivo, se introducirá la eoM; y viceversa.

$$f_x = \text{SI}(Y([\text{M max}] > 0; [\text{M min}] > 0); [\text{eom 2}]; [\text{eoM}])$$

eop D ref arriba (mm): Calcula la excentricidad definitiva correspondiente para el pretensado mínimo D referenciada a la parte superior de la sección.

$$P1(N) = m1 \div ((eor + I/(A \cdot v1)))$$

$$f_x = \frac{[\text{m1}]}{([\text{eor}] + (-[\text{Ordenada inf}]))}$$



$$P2(N) = m2 \div ((eor + I/(A \cdot v2)))$$

$$f_x = [=m2/([eor]+(-[Ordenada sup]))]$$

$$P3(N) = m3 \div ((eor + I/(A \cdot v1)))$$

$$f_x = [=m3/([eor]+(-[Ordenada inf]))]$$

$$P4(N) = m4 \div ((eor + I/(A \cdot v2)))$$

$$f_x = [=m4/([eor]+(-[Ordenada sup]))]$$

P min D (N): Selecciona el valor correspondiente en función del signo de las pendientes de Magnel.

$$f_x = =SI.ERROR(SI(Y([m1]>0;[m2]>0;[m3]>0;[m4]>0);MAX(Tabla1[@P3]:[P4])); SI(Y([m1]>0;[m2]>0;[m3]>0;[m4]<0); [m3]; SI(Y([m1]>0;[m2]<0;[m3]>0;[m4]<0); MAX(Tabla1[@P2]:[P3])); SI(Y([m1]>0;[m2]<0;[m3]<0;[m4]<0); [m2]; MAX(Tabla1[@P1]:[P2]))); "");$$

P max D (N): Selecciona el valor correspondiente en función del signo de las pendientes de Magnel.

$$f_x = =SI(Y([m1]>0;[m2]>0;[m3]>0;[m4]>0);MIN(Tabla1[@P1]:[P2])); SI(Y([m1]>0;[m2]>0;[m3]>0;[m4]<0);MIN([P1];[P2]; [P4]); SI(Y([m1]>0;[m2]<0;[m3]>0;[m4]<0); MIN([P1]; [P4]); SI(Y([m1]>0;[m2]<0;[m3]<0;[m4]<0); MIN([P1]; [P3];[P4]); MIN([P3];[P4]))))$$

BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL
SUPRACRÍTICA		m_1	m_2	m_3	m_4	P_{min}	P_{max}
		> 0	> 0	> 0	> 0	$\max(P_1, P_2)$	$\min(P_1, P_2)$
		> 0	> 0	> 0	< 0	P_3	$\min(P_1, P_2, P_4)$
		> 0	< 0	> 0	< 0	$\max(P_2, P_3)$	$\min(P_1, P_2)$
		> 0	< 0	< 0	< 0	P_4	$\min(P_1, P_2, P_4)$
Manual eoM o eom		< 0	< 0	< 0	< 0	$\max(P_1, P_2)$	$\min(P_1, P_2)$
eor	eoP D ref arriba	P1	P2	P3	P4	P min D	P max D



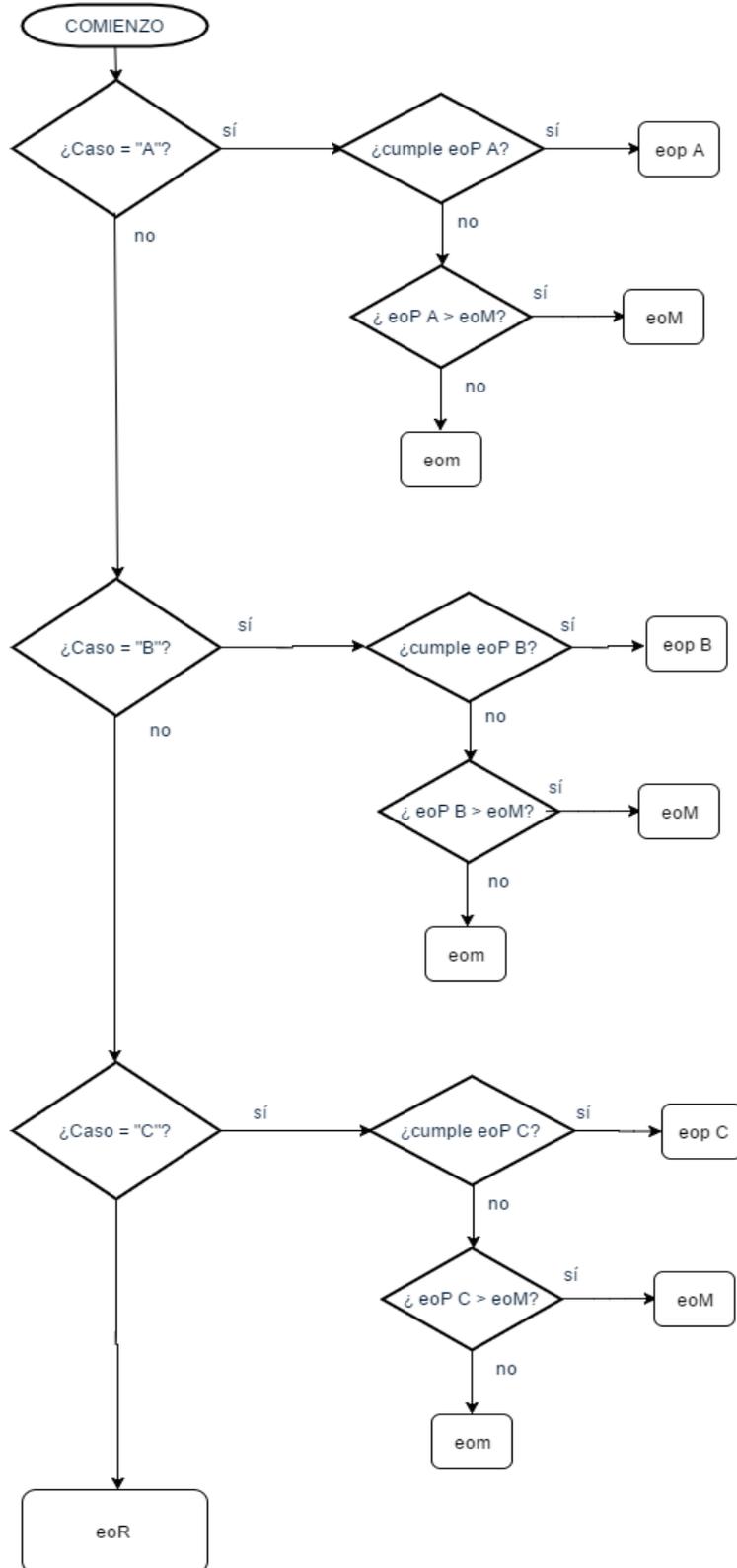
9.9 VALORES DEFINITIVOS.

En función del caso de estudio para cada sección, es en esta parte de la tabla cuando se escogen los valores definitivos del cálculo. Para cada Caso corresponde las cuatro rectas de Magnel, la excentricidad correspondiente, un pretensado mínimo y un pretensado máximo.

La elección de la excentricidad correspondiente debe atender a las limitaciones geométricas y cumplirse en todos los casos.

Además el programa verifica la condición del intervalo de variación de la fuerza de pretensado:

$$P_{\max} > k \cdot P_{\min}$$





Los valores definitivos aparecen en las columnas:

m I

$$f_x = [@m1]$$

m II

$$f_x = [@m2]$$

m III

$$f_x = [@m3]$$

m IV

$$f_x = [@m4]$$

eop (Pmin) (mm)

$$f_x = \text{=SI}([\text{@CASO}] = "A"; [\text{@[eop A def]}]; \text{SI}([\text{@CASO}] = "B"; [\text{@[eop B def]}]; \text{SI}([\text{@CASO}] = "C"; [\text{@[eop C def]}]; [\text{@eor}]])$$

P MIN def (N)

$$f_x = \text{=SI.ERROR}(\text{SI}([\text{@CASO}] = "A"; [\text{@[P min A]}]; \text{SI}([\text{@CASO}] = "B"; [\text{@[Pmin B]}]; \text{SI}([\text{@CASO}] = "C"; [\text{@[P min C]}]; [\text{@[P min D]}])); ""; ""$$

Pto de corte. Para la obtención del valor del pretensado máximo.

$$f_x = ([\text{@[Ordenada inf]}] - [\text{@[Ordenada sup]}]) / ([\text{@mIV}] - [\text{@m I}])$$

P max corte (N)

$$f_x = 1 / [\text{@[x de corte]}]$$

BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU
DEFINITIVAS						PRETENSADO MÁXIMO		
						P min	P max	Condición de CARRERA DEL PRETENSADO
						2740151,44	150450000	Sí cumple
						N	N	
m I	m II	m III	m IV	eo p(Pmin)	P MIN def	x de corte	P max corte	P MAX de carrera



10 GRAFICACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE MAGNEL

10.1 DATOS PARA LA GRAFICACIÓN.

En la hoja 'MAGNELs' están los datos necesarios para la graficación de cada sección del Diagrama de Magnel correspondiente.

Las cuatro rectas (I,II,III y IV) representadas por dos pares de puntos (x,y).

En la hoja aparecen datos auxiliares como las pendientes para cada sección, las ordenadas inferior y superior.

Sección 0:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	1/P	e		m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
2	I	0	-250		4,73E+10	50000000	50000000	-4,72E+10	250	-250
3		0,001	47299750							
4	II	0	250							
5		0,001	50250							
6	III	0	-250							
7		0,001	49750							
8	IV	0	250							
9		0,001	-47199750							

Sección 1:

	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-251,35324	4,79E+10	95000000	3,45E+08	-4,69E+10	248,7716	-251,3532
	0,001	47851136,6						
II	0	248,771619						
	0,001	95248,7716						
III	0	-251,35324						
	0,001	344748,647						
IV	0	248,771619						
	0,001	-46920638						

Sección 2:

	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-255,86037	4,95E+10	1,4E+08	6,4E+08	-4,69E+10	246,0571	-255,8604
	0,001	49527097,1						
II	0	246,057132						
	0,001	140246,057						
III	0	-255,86037						
	0,001	639744,14						
IV	0	246,057132						
	0,001	-46854841						

Sección 3:

	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-264,76649	5,27E+10	1,85E+08	9,35E+08	-4,75E+10	244,3282	-264,7665
	0,001	52659139,5						
II	0	244,328201						
	0,001	185244,328						
III	0	-264,76649						
	0,001	934735,234						
IV	0	244,328201						
	0,001	-47488470						



Sección 4:

4	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-279,81103	5,78E+10	2,3E+08	1,23E+09	-4,95E+10	246,5676	-279,811
	0,001	57780726,3						
II	0	246,567581						
	0,001	230246,568						
III	0	-279,81103						
	0,001	1229720,19						
IV	0	246,567581						
	0,001	-49483309						

Sección 5:

5	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-302,72886	6,56E+10	2,75E+08	1,53E+09	-5,36E+10	255,3526	-302,7289
	0,001	65585049,1						
II	0	255,352557						
	0,001	275255,353						
III	0	-302,72886						
	0,001	1524697,27						
IV	0	255,352557						
	0,001	-53564191						

Sección 6:

6	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-334,67775	7,69E+10	3,2E+08	1,82E+09	-6,05E+10	272,3608	-334,6777
	0,001	76860213						
II	0	272,360831						
	0,001	320272,361						
III	0	-334,67775						
	0,001	1819665,32						
IV	0	272,360831						
	0,001	-60468443						

Sección 7:

7	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-376,87918	9,23E+10	3,65E+08	2,12E+09	-7,06E+10	298,1001	-376,8792
	0,001	92339471,4						
II	0	298,1001						
	0,001	365298,1						
III	0	-376,87918						
	0,001	2114623,12						
IV	0	298,1001						
	0,001	-70634041						

Sección 8:

8	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-439,57654	1,12E+11	4,1E+08	2,41E+09	-8,18E+10	331,629	-439,5765
	0,001	112055034						
II	0	331,628968						
	0,001	410331,629						
III	0	-439,57654						
	0,001	2409560,42						
IV	0	331,628968						
	0,001	-81818170						



Sección 9:

9	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-516,13254	1,37E+11	4,55E+08	2,71E+09	-9,67E+10	374,7213	-516,1325
	0,001	137358857						
II	0	374,721296						
	0,001	455374,721						
III	0	-516,13254						
	0,001	2704483,87						
IV	0	374,721296						
	0,001	-96689608						

Sección 10:

10	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-582,32062	1,6E+11	5E+08	3E+09	-1,1E+11	413,2109	-582,3206
	0,001	160387162						
II	0	413,210886						
	0,001	500413,211						
III	0	-582,32062						
	0,001	2999417,68						
IV	0	413,210886						
	0,001	-110454879						

Sección 11:

11	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-528,94289	1,42E+11	3,71E+08	2,51E+09	-9,95E+10	382,0925	-528,9429
	0,001	141639209						
II	0	382,092541						
	0,001	371493,204						
III	0	-528,94289						
	0,001	2509693,28						
IV	0	382,092541						
	0,001	-99537631						

Sección 12:

12	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-464,26206	1,2E+11	2,51E+08	2,05E+09	-8,69E+10	345,3224	-464,2621
	0,001	119888724						
II	0	345,322372						
	0,001	251456,433						
III	0	-464,26206						
	0,001	2053757,96						
IV	0	345,322372						
	0,001	-86933331						

Sección 13:

13	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-407,49584	1,02E+11	1,4E+08	1,63E+09	-7,66E+10	314,2059	-407,4958
	0,001	101609311						
II	0	314,205861						
	0,001	140314,206						
III	0	-407,49584						
	0,001	1631592,5						
IV	0	314,205861						
	0,001	-76607454						



Sección 14:

14	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-361,08274	8,64E+10	37777778	1,24E+09	-6,78E+10	288,6173	-361,0827
	0,001	86382501,6						
II	0	288,617258						
	0,001	38066,395						
III	0	-361,08274						
	0,001	1243194,47						
IV	0	288,617258						
	0,001	-67772696						

Sección 15:

15	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-326,885187	7,369E+10	-55555556	8,89E+08	-5,95E+10	267,88467	-326,8852
	0,001	73687681						
II	0	267,884673						
	0,001	-55287,6709						
III	0	-326,885187						
	0,001	888562,004						
IV	0	267,884673						
	0,001	-59544203,7						

Sección 16:

16	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-298,562434	6,375E+10	-1,4E+08	5,68E+08	-5,37E+10	253,46441	-298,5624
	0,001	63746324,7						
II	0	253,464413						
	0,001	-139746,536						
III	0	-298,562434						
	0,001	567701,438						
IV	0	253,464413						
	0,001	-53668260						

Sección 17:

17	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-276,459922	5,621E+10	-2,16E+08	2,81E+08	-4,99E+10	245,72114	-276,4599
	0,001	56208891,5						
II	0	245,72114						
	0,001	-215309,834						
III	0	-276,459922						
	0,001	280612,429						
IV	0	245,72114						
	0,001	-49869886,6						

Sección 18:

18	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-260,42665	5,07E+10	-2,82E+08	27555556	-4,79E+10	244,73474	-260,4266
	0,001	50702529,2						
II	0	244,734744						
	0,001	-281977,487						
III	0	-260,42665						
	0,001	27295,1289						
IV	0	244,734744						
	0,001	-47885129,7						



Sección 19:

19	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-249,640908	4,677E+10	-3,4E+08	-1,9E+08	-4,73E+10	249,64091	-249,6409
	0,001	46774111						
II	0	249,640908						
	0,001	-339750,359						
III	0	-249,640908						
	0,001	-192249,641						
IV	0	249,640908						
	0,001	-47306111						

Sección 20:

20	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-234,472853	4,117E+10	-3,89E+08	-3,8E+08	-4,19E+10	234,47285	-234,4729
	0,001	41173880,7						
II	0	234,472853						
	0,001	-388654,416						
III	0	-234,472853						
	0,001	-378012,251						
IV	0	234,472853						
	0,001	-41940547,4						

Sección 21:

21	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-222,062626	3,675E+10	-5,3E+08	-4,3E+08	-3,77E+10	222,06263	-222,0626
	0,001	36749728,3						
II	0	222,062626						
	0,001	-529555,715						
III	0	-222,062626						
	0,001	-429110,952						
IV	0	222,062626						
	0,001	-37708395						

Sección 22:

22	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-212,410227	3,346E+10	-6,48E+08	-4,6E+08	-3,46E+10	212,41023	-212,4102
	0,001	33461074,6						
II	0	212,410227						
	0,001	-647787,59						
III	0	-212,410227						
	0,001	-460212,41						
IV	0	212,410227						
	0,001	-34569074,6						

Sección 23:

23	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-205,515656	3,12E+10	-7,32E+08	-4,8E+08	-3,24E+10	205,51566	-205,5157
	0,001	31198283,9						
II	0	205,515656						
	0,001	-732238,929						
III	0	-205,515656						
	0,001	-482427,738						
IV	0	205,515656						
	0,001	-32412950,6						



Sección 24:

24	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-201,378914	2,988E+10	-7,83E+08	-5E+08	-3,12E+10	201,37891	-201,3789
	0,001	29875108,6						
II	0	201,378914						
	0,001	-782909,732						
III	0	-201,378914						
	0,001	-495756,934						
IV	0	201,378914						
	0,001	-31153775,3						

Sección 25:

25	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-200	2,944E+10	-8E+08	-5E+08	-3,07E+10	200	-200
	0,001	29439800						
II	0	200						
	0,001	-799800						
III	0	-200						
	0,001	-500200						
IV	0	200						
	0,001	-30739800						

Sección 26:

26	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-201,378914	2,988E+10	-7,83E+08	-5E+08	-3,12E+10	201,37891	-201,3789
	0,001	29875108,6						
II	0	201,378914						
	0,001	-782909,732						
III	0	-201,378914						
	0,001	-495756,934						
IV	0	201,378914						
	0,001	-31153775,3						

Sección 27:

27	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-205,515656	3,12E+10	-7,32E+08	-4,8E+08	-3,24E+10	205,51566	-205,5157
	0,001	31198283,9						
II	0	205,515656						
	0,001	-732238,929						
III	0	-205,515656						
	0,001	-482427,738						
IV	0	205,515656						
	0,001	-32412950,6						

Sección 28:

28	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-212,410227	3,346E+10	-6,48E+08	-4,6E+08	-3,46E+10	212,41023	-212,4102
	0,001	33461074,6						
II	0	212,410227						
	0,001	-647787,59						
III	0	-212,410227						
	0,001	-460212,41						
IV	0	212,410227						
	0,001	-34569074,6						



Sección 29:

29	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-222,062626	3,675E+10	-5,3E+08	-4,3E+08	-3,77E+10	222,06263	-222,0626
	0,001	36749728,3						
II	0	222,062626						
	0,001	-529555,715						
III	0	-222,062626						
	0,001	-429110,952						
IV	0	222,062626						
	0,001	-37708395						

Sección 30:

30	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-234,472853	4,117E+10	-3,89E+08	-3,8E+08	-4,19E+10	234,47285	-234,4729
	0,001	41173880,7						
II	0	234,472853						
	0,001	-388654,416						
III	0	-234,472853						
	0,001	-378012,251						
IV	0	234,472853						
	0,001	-41940547,4						

Sección 31:

31	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-249,640908	4,677E+10	-3,4E+08	-1,9E+08	-4,73E+10	249,64091	-249,6409
	0,001	46774111						
II	0	249,640908						
	0,001	-339750,359						
III	0	-249,640908						
	0,001	-192249,641						
IV	0	249,640908						
	0,001	-47306111						

Sección 32:

32	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-260,42665	5,07E+10	-2,82E+08	27555556	-4,79E+10	244,73474	-260,4266
	0,001	50702529,2						
II	0	244,734744						
	0,001	-281977,487						
III	0	-260,42665						
	0,001	27295,1289						
IV	0	244,734744						
	0,001	-47885129,7						

Sección 33:

33	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-276,459922	5,621E+10	-2,16E+08	2,81E+08	-4,99E+10	245,72114	-276,4599
	0,001	56208891,5						
II	0	245,72114						
	0,001	-215309,834						
III	0	-276,459922						
	0,001	280612,429						
IV	0	245,72114						
	0,001	-49869886,6						



Sección 34:

34	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-298,562434	6,375E+10	-1,4E+08	5,68E+08	-5,37E+10	253,46441	-298,5624
	0,001	63746324,7						
II	0	253,464413						
	0,001	-139746,536						
III	0	-298,562434						
	0,001	567701,438						
IV	0	253,464413						
	0,001	-53668260						

Sección 35:

35	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-326,885187	7,369E+10	-55555556	8,89E+08	-5,95E+10	267,88467	-326,8852
	0,001	73687681						
II	0	267,884673						
	0,001	-55287,6709						
III	0	-326,885187						
	0,001	888562,004						
IV	0	267,884673						
	0,001	-59544203,7						

Sección 36:

36	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-361,082742	8,638E+10	37777778	1,24E+09	-6,78E+10	288,61726	-361,0827
	0,001	86382501,6						
II	0	288,617258						
	0,001	38066,395						
III	0	-361,082742						
	0,001	1243194,47						
IV	0	288,617258						
	0,001	-67772696,2						

Sección 37:

37	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-407,495844	1,016E+11	140000000	1,63E+09	-7,66E+10	314,20586	-407,4958
	0,001	101609311						
II	0	314,205861						
	0,001	140314,206						
III	0	-407,495844						
	0,001	1631592,5						
IV	0	314,205861						
	0,001	-76607454,1						

Sección 38:

38	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-464,262056	1,199E+11	251111111	2,05E+09	-8,69E+10	345,32237	-464,2621
	0,001	119888724						
II	0	345,322372						
	0,001	251456,433						
III	0	-464,262056						
	0,001	2053757,96						
IV	0	345,322372						
	0,001	-86933330,9						



Sección 39:

39	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-528,942892	1,416E+11	3711111111	2,51E+09	-9,95E+10	382,09254	-528,9429
	0,001	141639209						
II	0	382,092541						
	0,001	371493,204						
III	0	-528,942892						
	0,001	2509693,28						
IV	0	382,092541						
	0,001	-99537630,7						

Sección 40:

40	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-582,320625	1,604E+11	500000000	3E+09	-1,1E+11	413,21089	-582,3206
	0,001	160387162						
II	0	413,210886						
	0,001	500413,211						
III	0	-582,320625						
	0,001	2999417,68						
IV	0	413,210886						
	0,001	-110454879						

Sección 41:

41	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-516,132535	1,374E+11	455000000	2,71E+09	-9,67E+10	374,7213	-516,1325
	0,001	137358857						
II	0	374,721296						
	0,001	455374,721						
III	0	-516,132535						
	0,001	2704483,87						
IV	0	374,721296						
	0,001	-96689607,7						

Sección 42:

42	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-439,576535	1,121E+11	410000000	2,41E+09	-8,18E+10	331,62897	-439,5765
	0,001	112055034						
II	0	331,628968						
	0,001	410331,629						
III	0	-439,576535						
	0,001	2409560,42						
IV	0	331,628968						
	0,001	-81818170,4						

Sección 43:

43	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-376,879184	9,234E+10	365000000	2,12E+09	-7,06E+10	298,1001	-376,8792
	0,001	92339471,4						
II	0	298,1001						
	0,001	365298,1						
III	0	-376,879184						
	0,001	2114623,12						
IV	0	298,1001						
	0,001	-70634040,7						



Sección 44:

44	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-334,677749	7,686E+10	320000000	1,82E+09	-6,05E+10	272,36083	-334,6777
	0,001	76860213						
II	0	272,360831						
	0,001	320272,361						
III	0	-334,677749						
	0,001	1819665,32						
IV	0	272,360831						
	0,001	-60468443,4						

Sección 45:

45	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-302,728859	6,559E+10	275000000	1,53E+09	-5,36E+10	255,35256	-302,7289
	0,001	65585049,1						
II	0	255,352557						
	0,001	275255,353						
III	0	-302,728859						
	0,001	1524697,27						
IV	0	255,352557						
	0,001	-53564191,3						

Sección 46:

46	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-279,811031	5,778E+10	230000000	1,23E+09	-4,95E+10	246,56758	-279,811
	0,001	57780726,3						
II	0	246,567581						
	0,001	230246,568						
III	0	-279,811031						
	0,001	1229720,19						
IV	0	246,567581						
	0,001	-49483309,3						

Sección 47:

47	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-264,766488	5,266E+10	185000000	9,35E+08	-4,75E+10	244,3282	-264,7665
	0,001	52659139,5						
II	0	244,328201						
	0,001	185244,328						
III	0	-264,766488						
	0,001	934735,234						
IV	0	244,328201						
	0,001	-47488470,1						

Sección 48:

48	1/P	e	m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-255,860367	4,953E+10	140000000	6,4E+08	-4,69E+10	246,05713	-255,8604
	0,001	49527097,1						
II	0	246,057132						
	0,001	140246,057						
III	0	-255,860367						
	0,001	639744,14						
IV	0	246,057132						
	0,001	-46854841						



Sección 49:

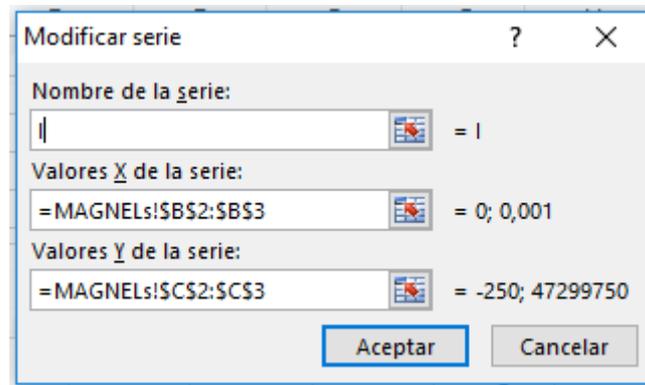
49	1/P	e		m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-251,353244		4,785E+10	95000000	3,45E+08	-4,69E+10	248,77162	-251,3532
	0,001	47851136,6							
II	0	248,771619							
	0,001	95248,7716							
III	0	-251,353244							
	0,001	344748,647							
IV	0	248,771619							
	0,001	-46920637,8							

Sección 50:

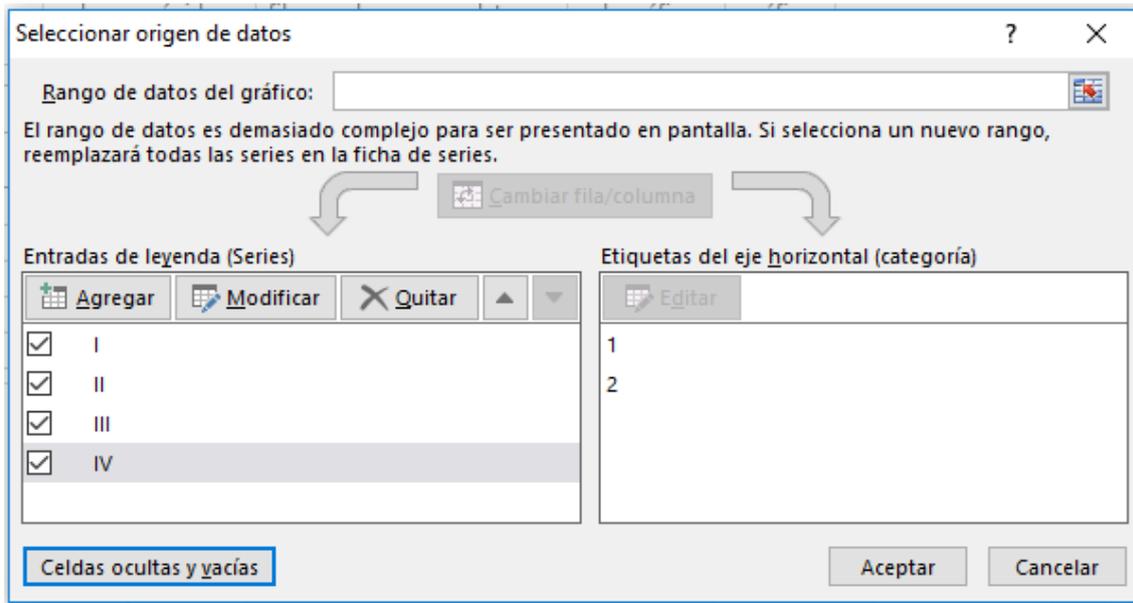
50	1/P	e		m1	m2	m3	m4	ord sup	ord inf
I	0	-250		4,73E+10	50000000	50000000	-4,72E+10	250	-250
	0,001	47299750							
II	0	250							
	0,001	50250							
III	0	-250							
	0,001	49750							
IV	0	250							
	0,001	-47199750							

10.2 GRAFICAR EN EXCEL.

En el pestaña de Excel 'INSERTAR' → Gráficos de Dispersión. → Seleccionar Datos abriremos una ventana para poder ir introduciendo series a nuestro gráfico:



Y para cada sección, se introducen los valores de las cuatro rectas correspondientes:



10.3 MACRO PARA GRAFICAR LOS DIAGRAMAS DE MAGNEL.

Este proceso realmente iterativo se ha simplificado programando una Macro en Visual Basic de manera simple, sin llegar a usar un lenguaje de programación complicado.

Sub crearMagnel()
,

' crearnuevo Macro
,

Sheets("MAGNEL GRÁFICOS").Select
ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

ActiveSheet.Select
ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""O-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=MAGNELs!\$B\$2:\$B\$3"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=MAGNELs!\$C\$2:\$C\$3"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = ""O-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = "=MAGNELs!\$B\$4:\$B\$5"
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = "=MAGNELs!\$C\$4:\$C\$5"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Name = ""O-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).XValues = "=MAGNELs!$B$6:$B$7"
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Values = "=MAGNELs!$C$6:$C$7"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(4).Name = ""O-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(4).XValues = "=MAGNELs!$B$8:$B$9"
ActiveChart.FullSeriesCollection(4).Values = "=MAGNELs!$C$8:$C$9"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(5).Name = ""1-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(5).XValues = "=MAGNELs!$B$11:$B$12"
ActiveChart.FullSeriesCollection(5).Values = "=MAGNELs!$C$11:$C$12"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(6).Name = ""1-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(6).XValues =
"=MAGNELs!$B$13:$B$14"
ActiveChart.FullSeriesCollection(6).Values = "=MAGNELs!$C$13:$C$14"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(7).Name = ""1-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(7).XValues =
"=MAGNELs!$B$15:$B$16"
ActiveChart.FullSeriesCollection(7).Values = "=MAGNELs!$C$15:$C$16"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(8).Name = ""1-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(8).XValues =
"=MAGNELs!$B$17:$B$18"
ActiveChart.FullSeriesCollection(8).Values = "=MAGNELs!$C$17:$C$18"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(9).Name = ""2-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(9).XValues =
"=MAGNELs!$B$20:$B$21"
ActiveChart.FullSeriesCollection(9).Values = "=MAGNELs!$C$20:$C$21"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(10).Name = ""2-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(10).XValues =
"=MAGNELs!$B$22:$B$23"
ActiveChart.FullSeriesCollection(10).Values = "=MAGNELs!$C$22:$C$23"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(11).Name = ""2-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(11).XValues =
"=MAGNELs!$B$24:$B$25"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(11).Values = "=MAGNELs!$C$24:$C$25"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(12).Name = ""2-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(12).XValues =
"=MAGNELs!$B$26:$B$27"
ActiveChart.FullSeriesCollection(12).Values = "=MAGNELs!$C$26:$C$27"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(13).Name = ""3-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(13).XValues =
"=MAGNELs!$B$29:$B$30"
ActiveChart.FullSeriesCollection(13).Values = "=MAGNELs!$C$29:$C$30"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(14).Name = ""3-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(14).XValues =
"=MAGNELs!$B$31:$B$32"
ActiveChart.FullSeriesCollection(14).Values = "=MAGNELs!$C$31:$C$32"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(15).Name = ""3-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(15).XValues =
"=MAGNELs!$B$33:$B$34"
ActiveChart.FullSeriesCollection(15).Values = "=MAGNELs!$C$33:$C$34"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(16).Name = ""3-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(16).XValues =
"=MAGNELs!$B$35:$B$36"
ActiveChart.FullSeriesCollection(16).Values = "=MAGNELs!$C$35:$C$36"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(17).Name = ""4-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(17).XValues =
"=MAGNELs!$B$38:$B$39"
ActiveChart.FullSeriesCollection(17).Values = "=MAGNELs!$C$38:$C$39"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(18).Name = ""4-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(18).XValues =
"=MAGNELs!$B$40:$B$41"
ActiveChart.FullSeriesCollection(18).Values = "=MAGNELs!$C$40:$C$41"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(19).Name = ""4-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(19).XValues =
"=MAGNELs!$B$42:$B$43"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(19).Values = "=MAGNELs!$C$42:$C$43"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(20).Name = "=""4-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(20).XValues =
"=MAGNELs!$B$44:$B$45"
ActiveChart.FullSeriesCollection(20).Values =
"=MAGNELs!$C$44:$C$45"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(21).Name = "=""5-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(21).XValues =
"=MAGNELs!$B$47:$B$48"
ActiveChart.FullSeriesCollection(21).Values = "=MAGNELs!$C$47:$C$48"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(22).Name = "=""5-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(22).XValues =
"=MAGNELs!$B$49:$B$50"
ActiveChart.FullSeriesCollection(22).Values =
"=MAGNELs!$C$49:$C$50"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(23).Name = "=""5-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(23).XValues =
"=MAGNELs!$B$51:$B$52"
ActiveChart.FullSeriesCollection(23).Values = "=MAGNELs!$C$51:$C$52"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(24).Name = "=""5-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(24).XValues =
"=MAGNELs!$B$53:$B$54"
ActiveChart.FullSeriesCollection(24).Values =
"=MAGNELs!$C$53:$C$54"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(25).Name = "=""6-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(25).XValues =
"=MAGNELs!$B$56:$B$57"
ActiveChart.FullSeriesCollection(25).Values =
"=MAGNELs!$C$56:$C$57"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(26).Name = "=""6-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(26).XValues =
"=MAGNELs!$B$58:$B$59"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(26).Values =
"=MAGNELs!$C$58:$C$59"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(27).Name = "=""6-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(27).XValues =
"=MAGNELs!$B$60:$B$61"
ActiveChart.FullSeriesCollection(27).Values = "=MAGNELs!$C$60:$C$61"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(28).Name = "=""6-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(28).XValues =
"=MAGNELs!$B$62:$B$63"
ActiveChart.FullSeriesCollection(28).Values =
"=MAGNELs!$C$62:$C$63"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(29).Name = "=""7-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(29).XValues =
"=MAGNELs!$B$65:$B$66"
ActiveChart.FullSeriesCollection(29).Values =
"=MAGNELs!$C$65:$C$66"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(30).Name = "=""7-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(30).XValues =
"=MAGNELs!$B$67:$B$68"
ActiveChart.FullSeriesCollection(30).Values =
"=MAGNELs!$C$67:$C$68"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(31).Name = "=""7-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(31).XValues =
"=MAGNELs!$B$69:$B$70"
ActiveChart.FullSeriesCollection(31).Values = "=MAGNELs!$C$69:$C$70"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(32).Name = "=""7-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(32).XValues =
"=MAGNELs!$B$71:$B$72"
ActiveChart.FullSeriesCollection(32).Values = "=MAGNELs!$C$71:$C$72"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(33).Name = "=""8-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(33).XValues =
"=MAGNELs!$B$74:$B$75"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(33).Values =
"=MAGNELs!$C$74:$C$75"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(34).Name = "=""8-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(34).XValues =
"=MAGNELs!$B$76:$B$77"
ActiveChart.FullSeriesCollection(34).Values =
"=MAGNELs!$C$76:$C$77"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(35).Name = "=""8-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(35).XValues =
"=MAGNELs!$B$78:$B$79"
ActiveChart.FullSeriesCollection(35).Values =
"=MAGNELs!$C$78:$C$79"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(36).Name = "=""8-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(36).XValues =
"=MAGNELs!$B$80:$B$81"
ActiveChart.FullSeriesCollection(36).Values = "=MAGNELs!$C$80:$C$81"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(37).Name = "=""9-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(37).XValues =
"=MAGNELs!$B$83:$B$84"
ActiveChart.FullSeriesCollection(37).Values =
"=MAGNELs!$C$83:$C$84"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(38).Name = "=""9-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(38).XValues =
"=MAGNELs!$B$85:$B$86"
ActiveChart.FullSeriesCollection(38).Values =
"=MAGNELs!$C$85:$C$86"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(39).Name = "=""9-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(39).XValues =
"=MAGNELs!$B$87:$B$88"
ActiveChart.FullSeriesCollection(39).Values =
"=MAGNELs!$C$87:$C$88"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(40).Name = "=""9-IV""

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(40).XValues =
"=MAGNELs!$B$89:$B$90"
ActiveChart.FullSeriesCollection(40).Values =
"=MAGNELs!$C$89:$C$90"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(41).Name = "=""10-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(41).XValues =
"=MAGNELs!$B$92:$B$93"
ActiveChart.FullSeriesCollection(41).Values = "=MAGNELs!$C$92:$C$93"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(42).Name = "=""10-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(42).XValues =
"=MAGNELs!$B$94:$B$95"
ActiveChart.FullSeriesCollection(42).Values =
"=MAGNELs!$C$94:$C$95"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(43).Name = "=""10-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(43).XValues =
"=MAGNELs!$B$96:$B$97"
ActiveChart.FullSeriesCollection(43).Values =
"=MAGNELs!$C$96:$C$97"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(44).Name = "=""10-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(44).XValues =
"=MAGNELs!$B$98:$B$99"
ActiveChart.FullSeriesCollection(44).Values =
"=MAGNELs!$C$98:$C$99"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(45).Name = "=""11-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(45).XValues =
"=MAGNELs!$B$101:$B$102"
ActiveChart.FullSeriesCollection(45).Values =
"=MAGNELs!$C$101:$C$102"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(46).Name = "=""11-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(46).XValues =
"=MAGNELs!$B$103:$B$104"
ActiveChart.FullSeriesCollection(46).Values =
"=MAGNELs!$C$103:$C$104"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(47).Name = ""11-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(47).XValues =
"=MAGNELs!$B$105:$B$106"
ActiveChart.FullSeriesCollection(47).Values =
"=MAGNELs!$C$105:$C$106"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(48).Name = ""11-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(48).XValues =
"=MAGNELs!$B$107:$B$108"
ActiveChart.FullSeriesCollection(48).Values =
"=MAGNELs!$C$107:$C$109"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(49).Name = ""12-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(49).XValues =
"=MAGNELs!$B$110:$B$111"
ActiveChart.FullSeriesCollection(49).Values =
"=MAGNELs!$C$110:$C$111"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(50).Name = ""12-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(50).XValues =
"=MAGNELs!$B$112:$B$113"
ActiveChart.FullSeriesCollection(50).Values =
"=MAGNELs!$C$112:$C$113"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(51).Name = ""12-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(51).XValues =
"=MAGNELs!$B$114:$B$115"
ActiveChart.FullSeriesCollection(51).Values =
"=MAGNELs!$C$114:$C$115"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(52).Name = ""12-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(52).XValues =
"=MAGNELs!$B$116:$B$117"
ActiveChart.FullSeriesCollection(52).Values =
"=MAGNELs!$C$116:$C$117"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(53).Name = ""13-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(53).XValues =
"=MAGNELs!$B$119:$B$120"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(53).Values =
"=MAGNELs!$C$119:$C$120"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(54).Name = "=""13-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(54).XValues =
"=MAGNELs!$B$121:$B$122"
ActiveChart.FullSeriesCollection(54).Values =
"=MAGNELs!$C$121:$C$122"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(55).Name = "=""13-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(55).XValues =
"=MAGNELs!$B$123:$B$124"
ActiveChart.FullSeriesCollection(55).Values =
"=MAGNELs!$C$123:$C$124"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(56).Name = "=""13-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(56).XValues =
"=MAGNELs!$B$125:$B$126"
ActiveChart.FullSeriesCollection(56).Values =
"=MAGNELs!$C$125:$C$126"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(57).Name = "=""14-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(57).XValues =
"=MAGNELs!$B$128:$B$129"
ActiveChart.FullSeriesCollection(57).Values =
"=MAGNELs!$C$128:$C$129"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(58).Name = "=""14-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(58).XValues =
"=MAGNELs!$B$130:$B$131"
ActiveChart.FullSeriesCollection(58).Values =
"=MAGNELs!$C$130:$C$131"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(59).Name = "=""14-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(59).XValues =
"=MAGNELs!$B$132:$B$133"
ActiveChart.FullSeriesCollection(59).Values =
"=MAGNELs!$C$132:$C$133"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(60).Name = "=""14-IV""

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(60).XValues =
"=MAGNELs!$B$134:$B$135"
ActiveChart.FullSeriesCollection(60).Values =
"=MAGNELs!$C$134:$C$135"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(61).Name = "=""15-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(61).XValues =
"=MAGNELs!$B$137:$B$138"
ActiveChart.FullSeriesCollection(61).Values =
"=MAGNELs!$C$137:$C$138"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(62).Name = "=""15-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(62).XValues =
"=MAGNELs!$B$139:$B$140"
ActiveChart.FullSeriesCollection(62).Values =
"=MAGNELs!$C$139:$C$140"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(63).Name = "=""15-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(63).XValues =
"=MAGNELs!$B$141:$B$142"
ActiveChart.FullSeriesCollection(63).Values =
"=MAGNELs!$C$141:$C$142"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(64).Name = "=""15-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(64).XValues =
"=MAGNELs!$B$143:$B$144"
ActiveChart.FullSeriesCollection(64).Values =
"=MAGNELs!$C$143:$C$144"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(65).Name = "=""16-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(65).XValues =
"=MAGNELs!$B$146:$B$147"
ActiveChart.FullSeriesCollection(65).Values =
"=MAGNELs!$C$146:$C$147"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(66).Name = "=""16-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(66).XValues =
"=MAGNELs!$B$148:$B$149"
ActiveChart.FullSeriesCollection(66).Values =
"=MAGNELs!$C$148:$C$149"

```



```

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(67).Name = ""16-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(67).XValues =
"=MAGNELs!$B$150:$B$151"
ActiveChart.FullSeriesCollection(67).Values =
"=MAGNELs!$C$150:$C$151"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(68).Name = ""16-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(68).XValues =
"=MAGNELs!$B$152:$B$153"
ActiveChart.FullSeriesCollection(68).Values =
"=MAGNELs!$C$152:$C$153"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(69).Name = ""17-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(69).XValues =
"=MAGNELs!$B$155:$B$156"
ActiveChart.FullSeriesCollection(69).Values =
"=MAGNELs!$C$155:$C$156"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(70).Name = ""17-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(70).XValues =
"=MAGNELs!$B$157:$B$158"
ActiveChart.FullSeriesCollection(70).Values =
"=MAGNELs!$C$157:$C$158"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(71).Name = ""17-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(71).XValues =
"=MAGNELs!$B$159:$B$160"
ActiveChart.FullSeriesCollection(71).Values =
"=MAGNELs!$C$159:$C$160"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(72).Name = ""17-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(72).XValues =
"=MAGNELs!$B$161:$B$162"
ActiveChart.FullSeriesCollection(72).Values =
"=MAGNELs!$C$161:$C$162"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(73).Name = ""18-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(73).XValues =
"=MAGNELs!$B$164:$B$165"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(73).Values =
"=MAGNELs!$C$164:$C$165"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(74).Name = "=""18-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(74).XValues =
"=MAGNELs!$B$166:$B$167"
ActiveChart.FullSeriesCollection(74).Values =
"=MAGNELs!$C$166:$C$167"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(75).Name = "=""18-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(75).XValues =
"=MAGNELs!$B$168:$B$169"
ActiveChart.FullSeriesCollection(75).Values =
"=MAGNELs!$C$168:$C$169"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(76).Name = "=""18-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(76).XValues =
"=MAGNELs!$B$170:$B$171"
ActiveChart.FullSeriesCollection(76).Values =
"=MAGNELs!$C$170:$C$171"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(77).Name = "=""19-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(77).XValues =
"=MAGNELs!$B$173:$B$174"
ActiveChart.FullSeriesCollection(77).Values =
"=MAGNELs!$C$173:$C$174"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(78).Name = "=""19-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(78).XValues =
"=MAGNELs!$B$175:$B$176"
ActiveChart.FullSeriesCollection(78).Values =
"=MAGNELs!$C$175:$C$176"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(79).Name = "=""19-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(79).XValues =
"=MAGNELs!$B$177:$B$178"
ActiveChart.FullSeriesCollection(79).Values =
"=MAGNELs!$C$177:$C$178"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(80).Name = "=""19-IV""

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(80).XValues =
"=MAGNELs!$B$179:$B$180"
ActiveChart.FullSeriesCollection(80).Values =
"=MAGNELs!$C$179:$C$180"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(81).Name = "=""20-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(81).XValues =
"=MAGNELs!$B$182:$B$183"
ActiveChart.FullSeriesCollection(81).Values =
"=MAGNELs!$C$182:$C$183"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(82).Name = "=""20-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(82).XValues =
"=MAGNELs!$B$184:$B$185"
ActiveChart.FullSeriesCollection(82).Values =
"=MAGNELs!$C$184:$C$185"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(83).Name = "=""20-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(83).XValues =
"=MAGNELs!$B$186:$B$187"
ActiveChart.FullSeriesCollection(83).Values =
"=MAGNELs!$C$186:$C$187"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(84).Name = "=""20-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(84).XValues =
"=MAGNELs!$B$188:$B$189"
ActiveChart.FullSeriesCollection(84).Values =
"=MAGNELs!$C$188:$C$189"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(85).Name = "=""21-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(85).XValues =
"=MAGNELs!$B$191:$B$192"
ActiveChart.FullSeriesCollection(85).Values =
"=MAGNELs!$C$191:$C$192"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(86).Name = "=""21-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(86).XValues =
"=MAGNELs!$B$193:$B$194"
ActiveChart.FullSeriesCollection(86).Values =
"=MAGNELs!$C$193:$C$194"

```



```

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(87).Name = ""21-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(87).XValues =
"=MAGNELs!$B$195:$B$196"
ActiveChart.FullSeriesCollection(87).Values =
"=MAGNELs!$C$195:$C$196"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(88).Name = ""21-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(88).XValues =
"=MAGNELs!$B$197:$B$198"
ActiveChart.FullSeriesCollection(88).Values =
"=MAGNELs!$C$197:$C$198"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(89).Name = ""22-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(89).XValues =
"=MAGNELs!$B$200:$B$201"
ActiveChart.FullSeriesCollection(89).Values =
"=MAGNELs!$C$200:$C$201"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(90).Name = ""22-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(90).XValues =
"=MAGNELs!$B$202:$B$203"
ActiveChart.FullSeriesCollection(90).Values =
"=MAGNELs!$C$202:$C$203"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(91).Name = ""22-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(91).XValues =
"=MAGNELs!$B$204:$B$205"
ActiveChart.FullSeriesCollection(91).Values =
"=MAGNELs!$C$204:$C$205"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(92).Name = ""22-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(92).XValues =
"=MAGNELs!$B$206:$B$207"
ActiveChart.FullSeriesCollection(92).Values =
"=MAGNELs!$C$206:$C$207"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(93).Name = ""23-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(93).XValues =
"=MAGNELs!$B$209:$B$210"

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(93).Values =
"=MAGNELs!$C$209:$C$210"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(94).Name = "=""23-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(94).XValues =
"=MAGNELs!$B$211:$B$212"
ActiveChart.FullSeriesCollection(94).Values =
"=MAGNELs!$C$211:$C$212"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(95).Name = "=""23-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(95).XValues =
"=MAGNELs!$B$213:$B$214"
ActiveChart.FullSeriesCollection(95).Values =
"=MAGNELs!$C$213:$C$214"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(96).Name = "=""23-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(96).XValues =
"=MAGNELs!$B$215:$B$216"
ActiveChart.FullSeriesCollection(96).Values =
"=MAGNELs!$C$215:$C$216"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(97).Name = "=""24-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(97).XValues =
"=MAGNELs!$B$218:$B$219"
ActiveChart.FullSeriesCollection(97).Values =
"=MAGNELs!$C$218:$C$219"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(98).Name = "=""24-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(98).XValues =
"=MAGNELs!$B$220:$B$221"
ActiveChart.FullSeriesCollection(98).Values =
"=MAGNELs!$C$220:$C$221"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(99).Name = "=""24-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(99).XValues =
"=MAGNELs!$B$222:$B$223"
ActiveChart.FullSeriesCollection(99).Values =
"=MAGNELs!$C$222:$C$223"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(100).Name = "=""24-IV""

```



```

ActiveChart.FullSeriesCollection(100).XValues =
"=MAGNELs!$B$224:$B$225"
ActiveChart.FullSeriesCollection(100).Values =
"=MAGNELs!$C$224:$C$225"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(101).Name = "=""25-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(101).XValues =
"=MAGNELs!$B$227:$B$228"
ActiveChart.FullSeriesCollection(101).Values =
"=MAGNELs!$C$227:$C$228"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(102).Name = "=""25-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(102).XValues =
"=MAGNELs!$B$229:$B$230"
ActiveChart.FullSeriesCollection(102).Values =
"=MAGNELs!$C$229:$C$230"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(103).Name = "=""25-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(103).XValues =
"=MAGNELs!$B$231:$B$232"
ActiveChart.FullSeriesCollection(103).Values =
"=MAGNELs!$C$231:$C$232"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(104).Name = "=""25-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(104).XValues =
"=MAGNELs!$B$233:$B$234"
ActiveChart.FullSeriesCollection(104).Values =
"=MAGNELs!$C$233:$C$234"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(105).Name = "=""26-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(105).XValues =
"=MAGNELs!$B$236:$B$237"
ActiveChart.FullSeriesCollection(105).Values =
"=MAGNELs!$C$236:$C$237"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(106).Name = "=""26-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(106).XValues =
"=MAGNELs!$B$238:$B$239"
ActiveChart.FullSeriesCollection(106).Values =
"=MAGNELs!$C$238:$C$239"

```



```

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(107).Name = ""26-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(107).XValues =
"=MAGNELs!$B$240:$B$241"
ActiveChart.FullSeriesCollection(107).Values =
"=MAGNELs!$C$240:$C$241"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(108).Name = ""26-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(108).XValues =
"=MAGNELs!$B$242:$B$243"
ActiveChart.FullSeriesCollection(108).Values =
"=MAGNELs!$C$242:$C$243"

ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(109).Name = "'calc MAGNEL'!$BR$2"
ActiveChart.FullSeriesCollection(109).XValues = "'calc
MAGNEL'!$BY$3:$BY$4"
ActiveChart.FullSeriesCollection(109).Values = "'calc
MAGNEL'!$BZ$3:$BZ$4"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(110).Name = "'calc MAGNEL'!$BS$2"
ActiveChart.FullSeriesCollection(110).XValues = "'calc
MAGNEL'!$CB$3:$CB$4"
ActiveChart.FullSeriesCollection(110).Values = "'calc
MAGNEL'!$CC$3:$CC$4"

ActiveChart.Axes(xlValue).Select
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.HasAxis(xlValue) = True
ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
ActiveChart.Axes(xlCategory).MinimumScale = 0
ActiveChart.Axes(xlCategory).MaximumScale = 0.0000006
ActiveChart.Axes(xlValue).Select
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = -2000
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 4000
ActiveChart.Axes(xlValue).ReversePlotOrder = False
Application.CommandBars("Format Object").Visible = False
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet

```



ActiveWindow.Zoom = 79

ActiveSheet.Select

ActiveSheet.Name = "MAGNEL GRÁFICOS"

End Sub

Sintaxis utilizada:

Borrar la hoja existente:

Sheets("MAGNEL GRÁFICOS").Select
ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

Seleccionar la hoja de trabajo:

ActiveSheet.Select

Añadir un gráfico:

ActiveSheet.Shapes.AddChart2(240, xlXYScatterLines).Select

Crear el diagrama con las cuatro rectas para cada sección, nombrar la serie, el eje x y el eje y:

ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Name = ""0-I""
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).XValues = "=MAGNELs!\$B\$2:\$B\$3"
ActiveChart.FullSeriesCollection(1).Values = "=MAGNELs!\$C\$2:\$C\$3"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Name = ""0-II""
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).XValues = "=MAGNELs!\$B\$4:\$B\$5"
ActiveChart.FullSeriesCollection(2).Values = "=MAGNELs!\$C\$4:\$C\$5"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Name = ""0-III""
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).XValues = "=MAGNELs!\$B\$6:\$B\$7"
ActiveChart.FullSeriesCollection(3).Values = "=MAGNELs!\$C\$6:\$C\$7"
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(4).Name = ""0-IV""
ActiveChart.FullSeriesCollection(4).XValues = "=MAGNELs!\$B\$8:\$B\$9"
ActiveChart.FullSeriesCollection(4).Values = "=MAGNELs!\$C\$8:\$C\$9"

Modificar ejes del gráfico, escalas, zoom para que aparezca en pantalla y el renombre de la hoja:

ActiveChart.Axes(xlValue).Select
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.HasAxis(xlValue) = True
ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
ActiveChart.Axes(xlCategory).MinimumScale = 0

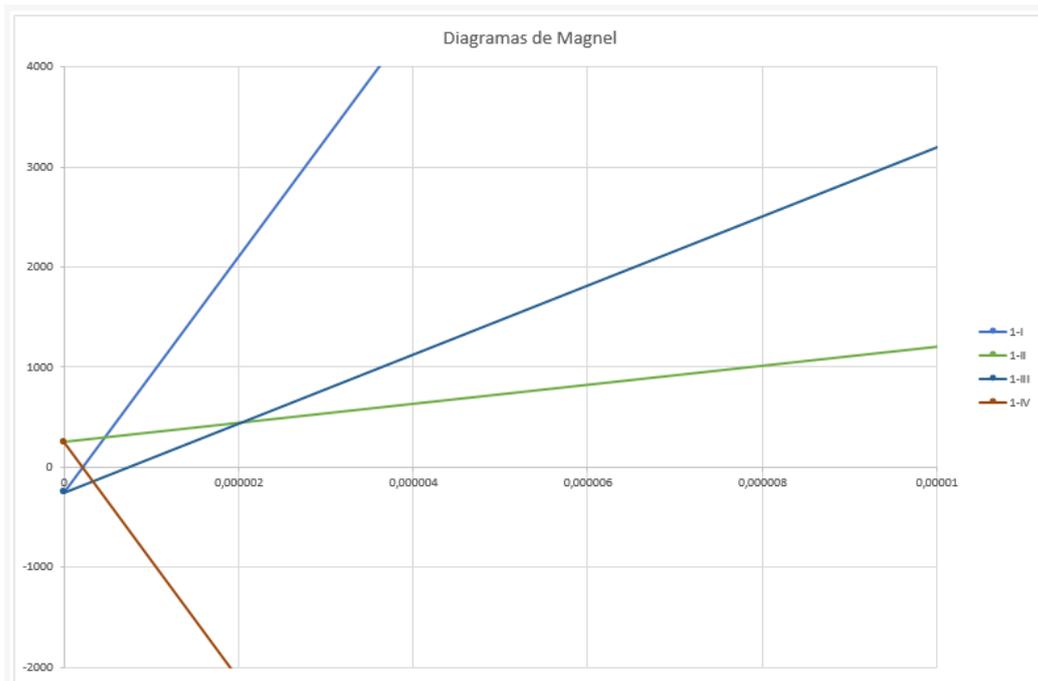


```
ActiveChart.Axes(xlCategory).MaximumScale = 0.0000006
ActiveChart.Axes(xlValue).Select
ActiveChart.Axes(xlValue).MinimumScale = -2000
ActiveChart.Axes(xlValue).MaximumScale = 4000
ActiveChart.Axes(xlValue).ReversePlotOrder = False
Application.CommandBars("Format Object").Visible = False
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsNewSheet
```

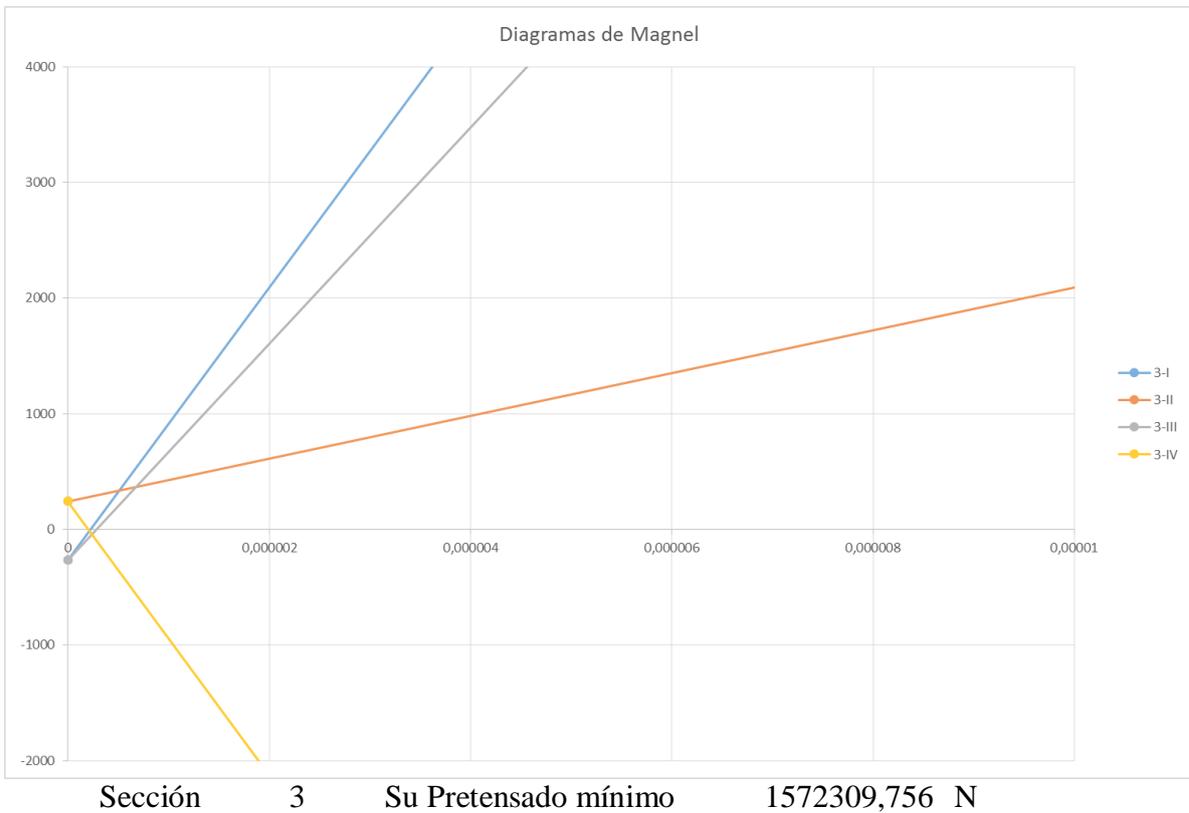
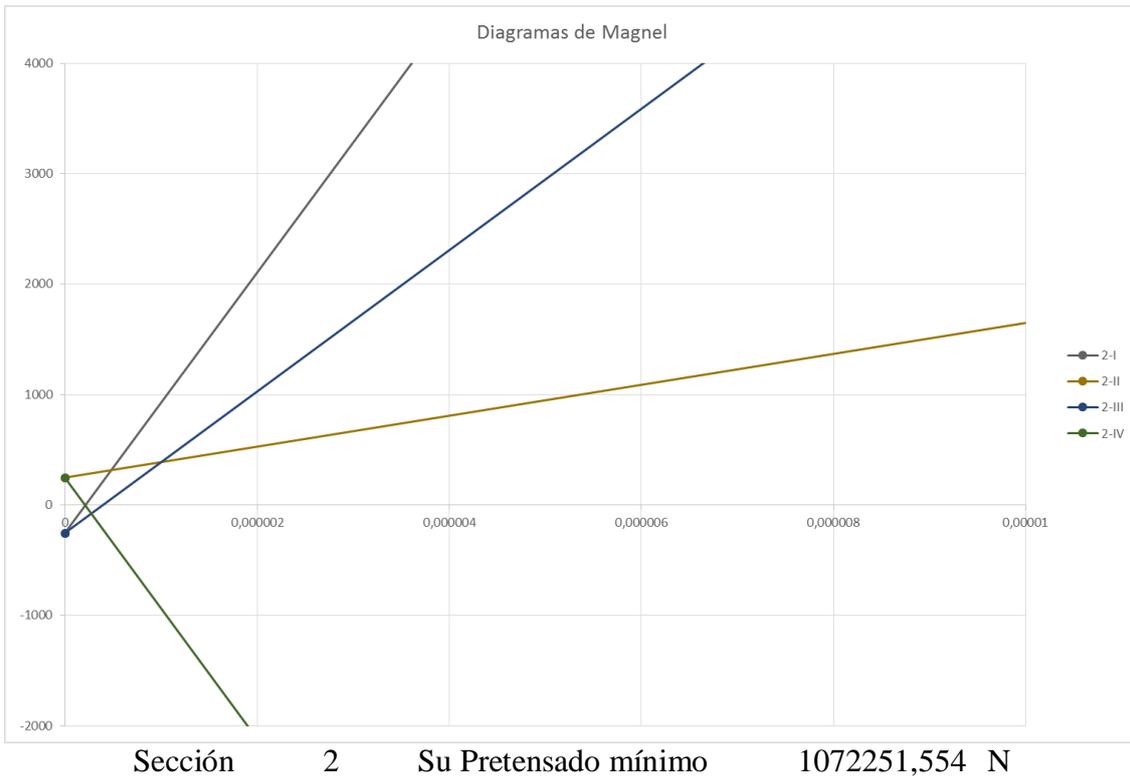
```
ActiveWindow.Zoom = 79
```

```
ActiveSheet.Select
ActiveSheet.Name = "MAGNEL GRÁFICOS"
```

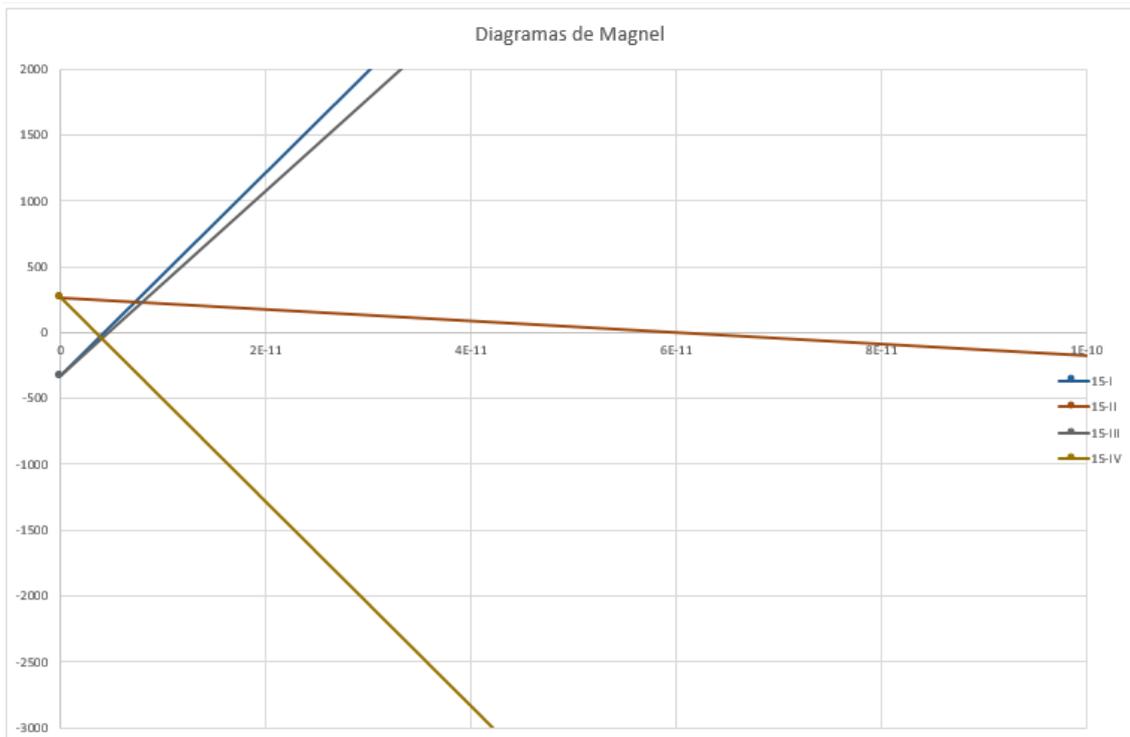
10.4 GRÁFICOS.



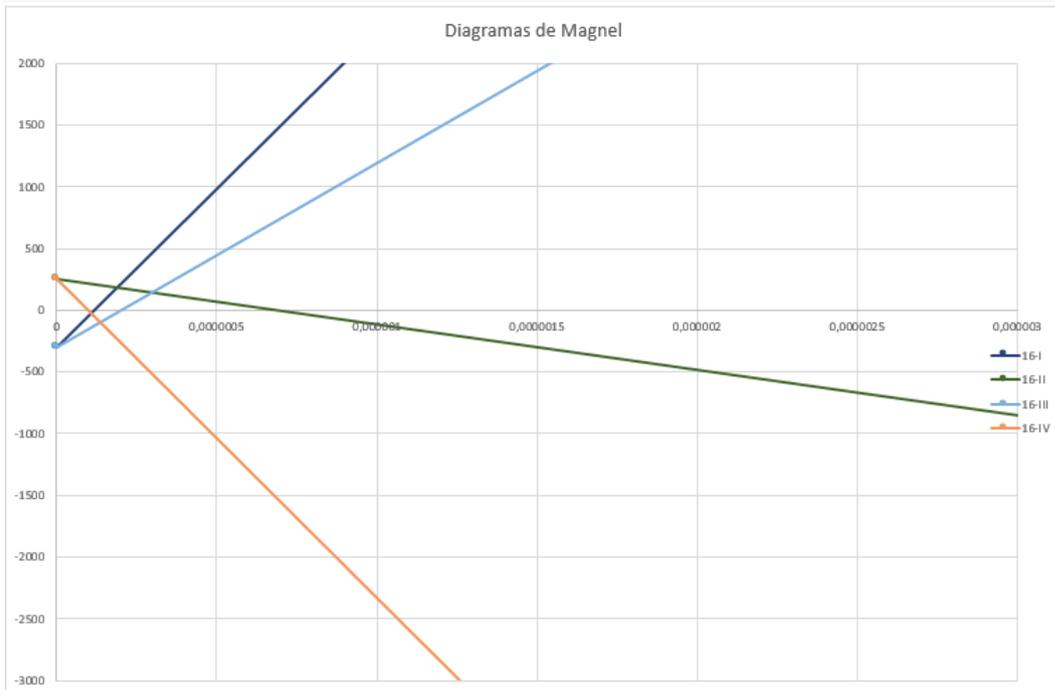
Sección 1 Su Pretensado mínimo 551680,4123 N



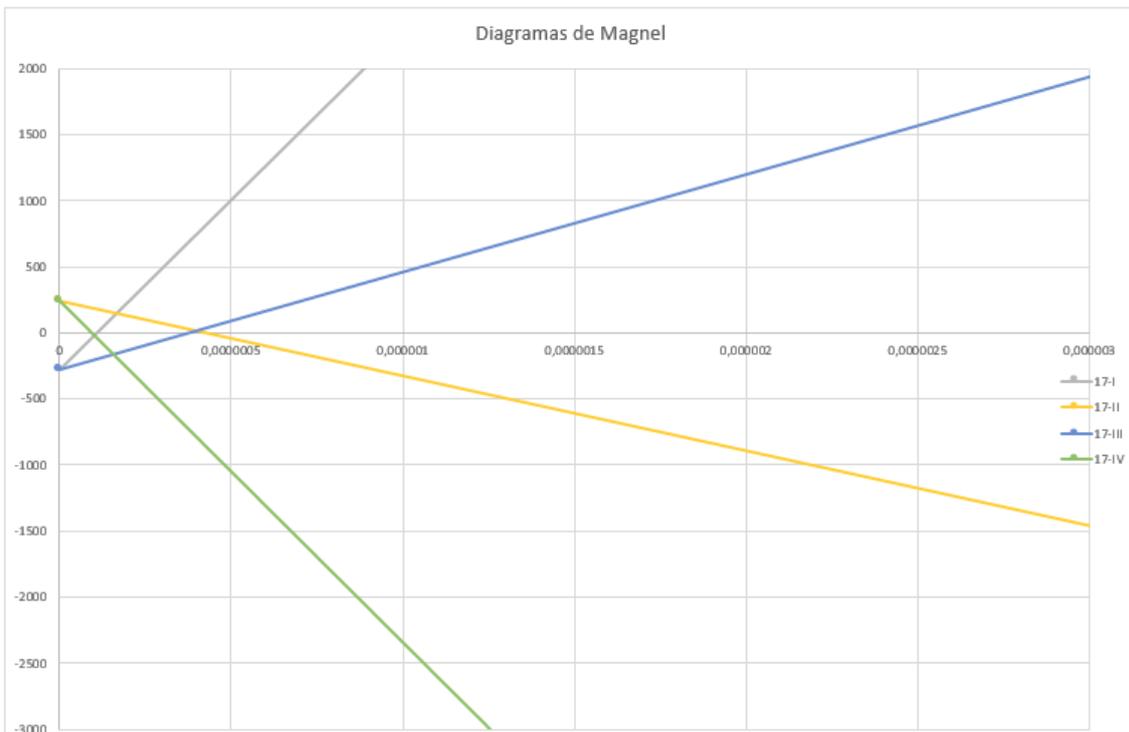
Sección	4	Su Pretensado mínimo	2018940,834 N
Sección	5	Su Pretensado mínimo	2374205,56 N
Sección	6	Su Pretensado mínimo	2614780,64 N
Sección	7	Su Pretensado mínimo	2740151,44 N
Sección	8	Su Pretensado mínimo	2738333,909 N
Sección	9	Su Pretensado mínimo	2664961,216 N
Sección	10	Su Pretensado mínimo	2648197,076 N
Sección	11	Su Pretensado mínimo	2459095,606 N
Sección	12	Su Pretensado mínimo	2311798,369 N
Sección	13	Su Pretensado mínimo	2120241,381 N
Sección	14	Su Pretensado mínimo	1871757,437 N



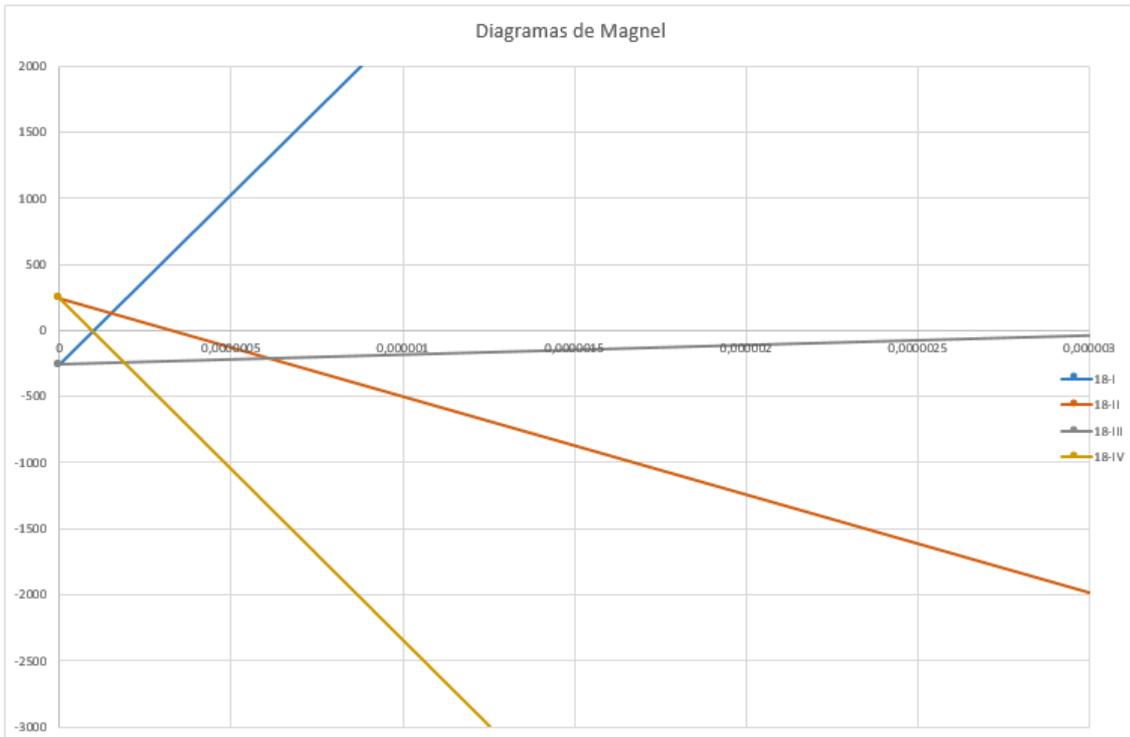
Sección	15	Su Pretensado mínimo	1587915,777 N
---------	----	----------------------	---------------



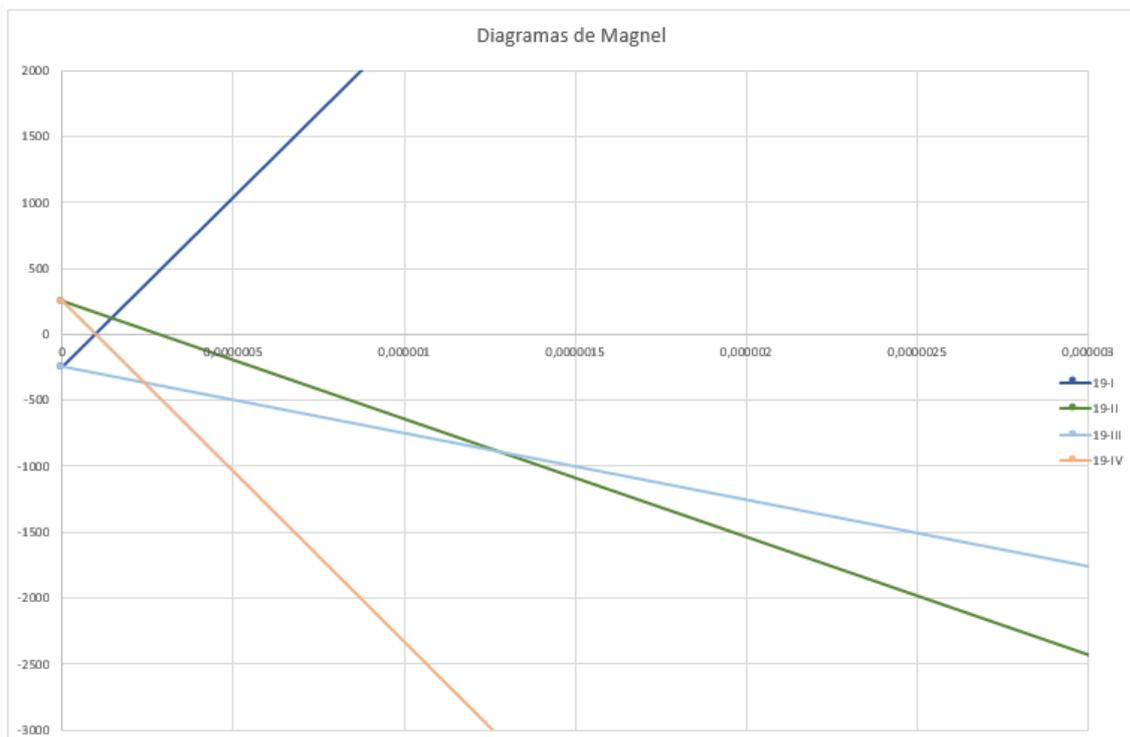
Sección 16 Su Pretensado mínimo 1282546,319 N



Sección 17 Su Pretensado mínimo 950713,2303 N



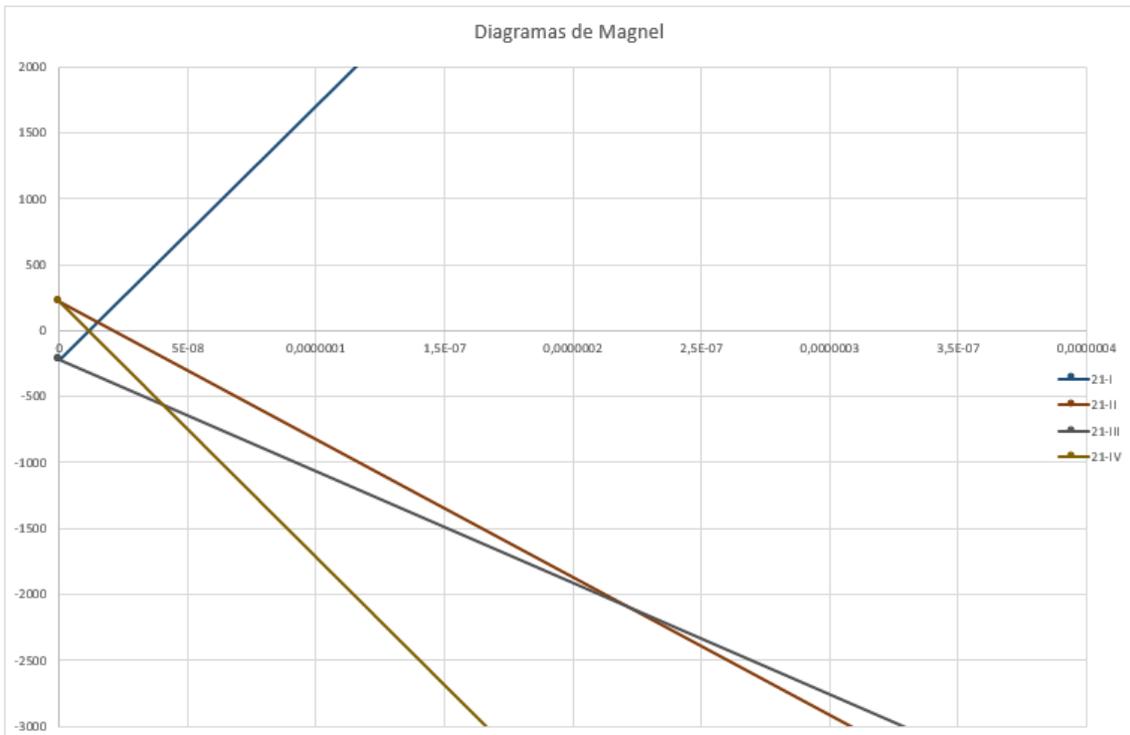
Sección 18 Su Pretensado mínimo 613225,36 N



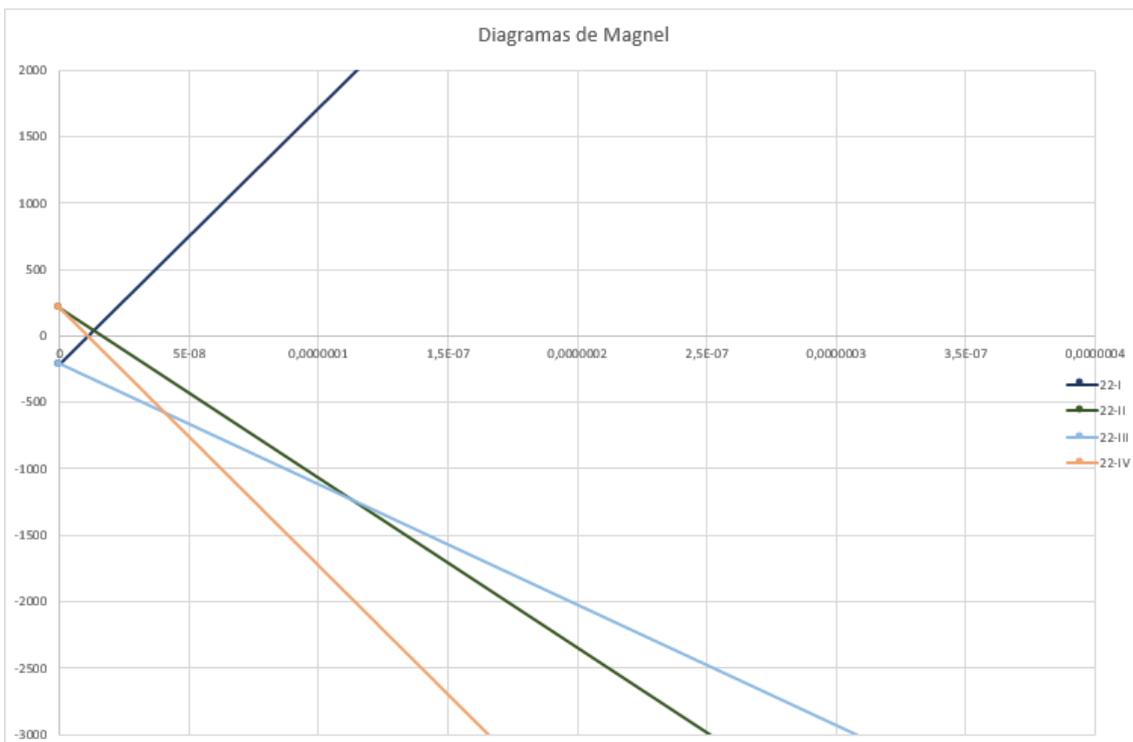
Sección 19 Su Pretensado mínimo 401303,6929 N



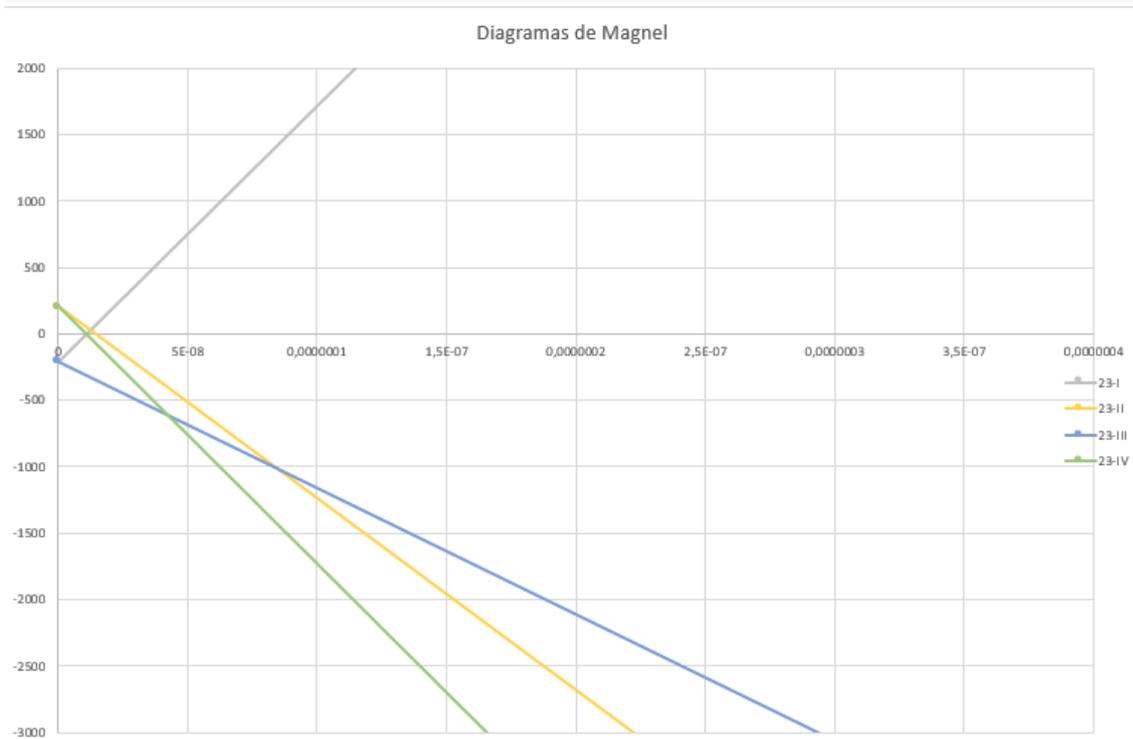
Sección 20 Su Pretensado mínimo 243400,0629 N



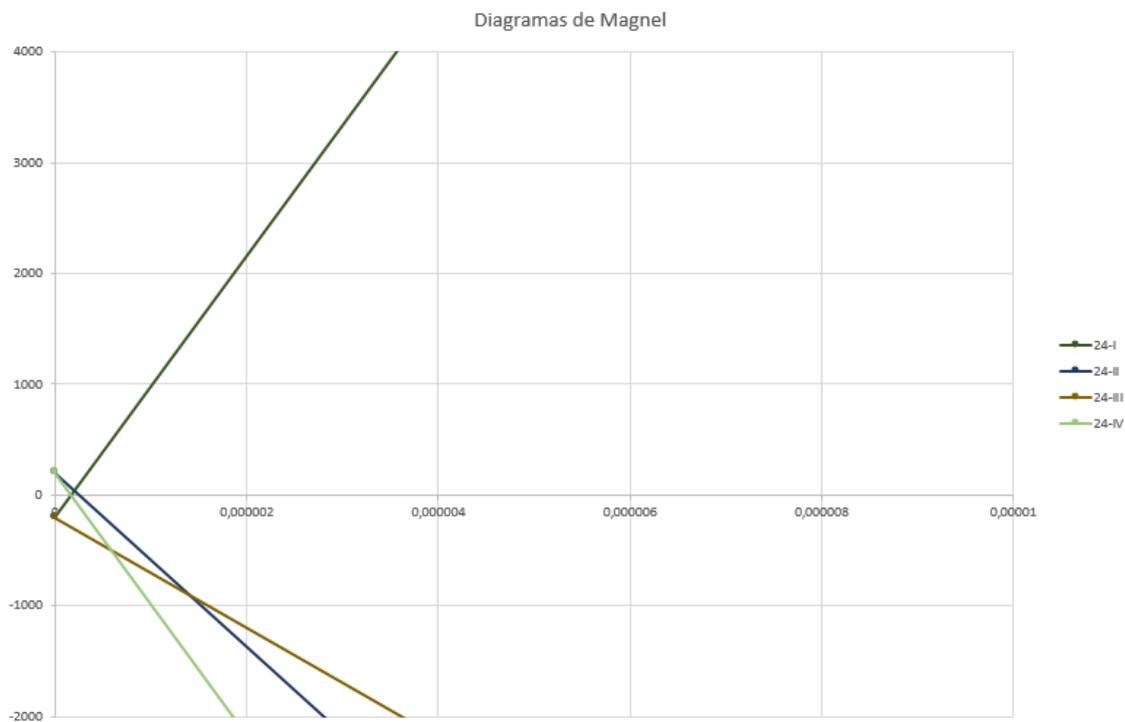
Sección 21 Su Pretensado mínimo 490534,1121 N



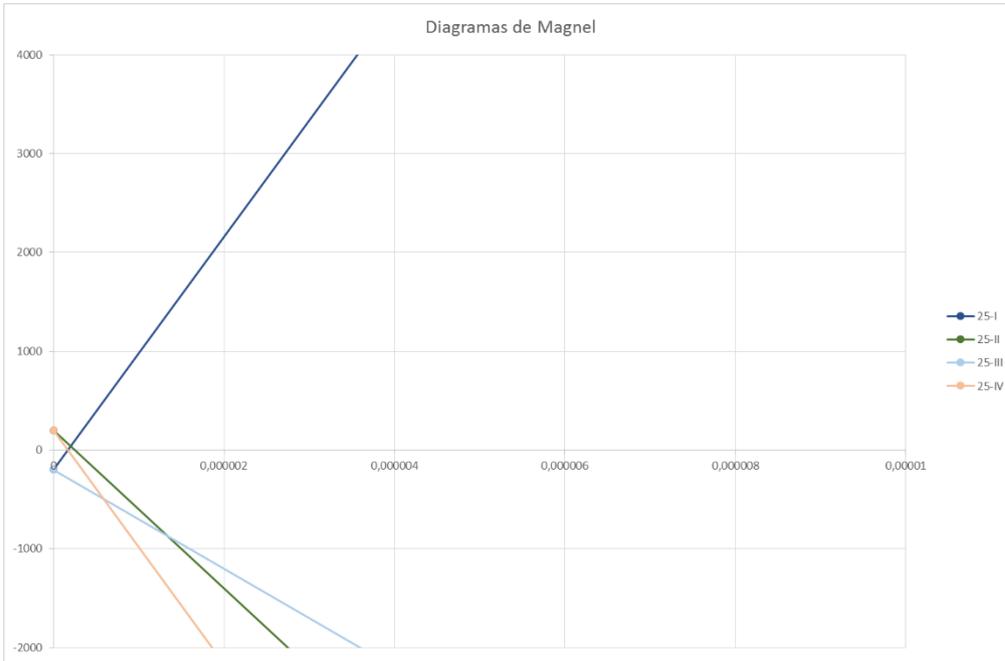
Sección 22 Su Pretensado mínimo 737851,8209 N



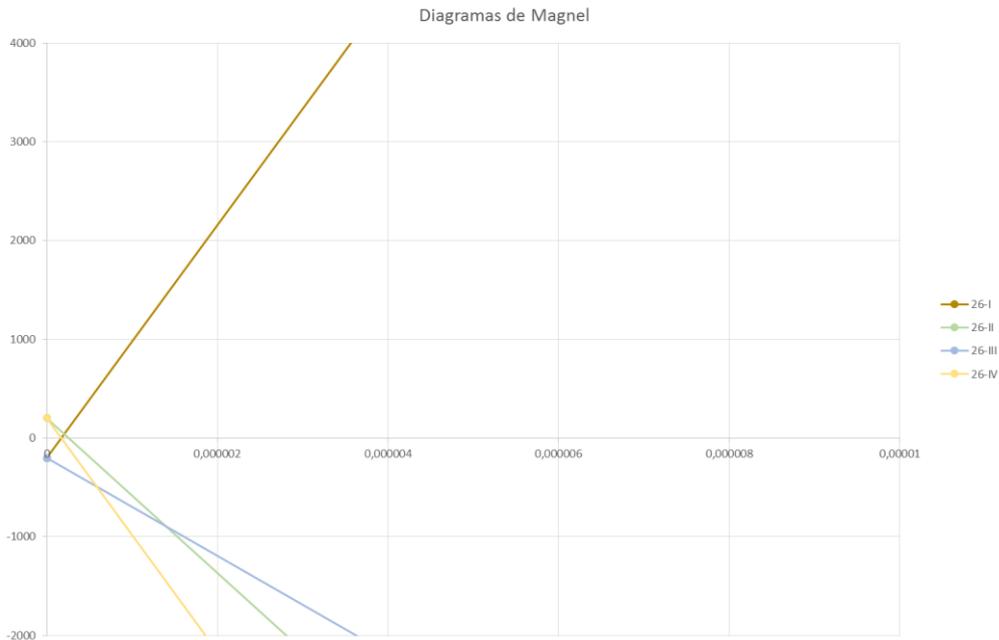
Sección 23 Su Pretensado mínimo 928730,6388 N



Sección 24 Su Pretensado mínimo 1049531,607 N



Sección 25 Su Pretensado mínimo 1090909,091 N



Sección 26 Su Pretensado mínimo 1049531,607 N



11 TRAZADO DEL ARMADO

En la hoja 'E(P0)' se crea la tabla que para cada valor del eje longitudinal 'x' devuelve la imagen del trazado superior longitudinal del tablero, el inferior y la excentricidad a la que se encuentra el armado, obtenida con Magnel.

Tendríamos así la discretización del trazado.

eoM ref arriba:

fx				
='calc MAGNEL'!\$E\$3				
G	H	I	J	K
)	eoM ref arriba	eom ref arriba	e(P0) ref arriba	cdg
,752833	-63	-1437	-981,7528333	-750

eom ref arriba:

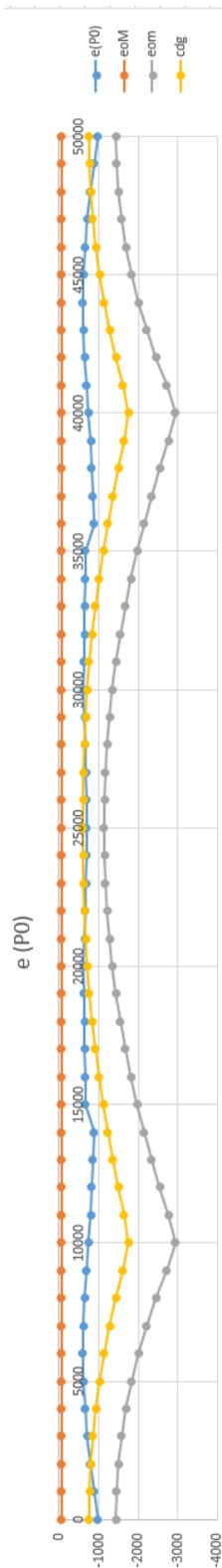
fx			
='calc MAGNEL'!E6-'calc MAGNEL'!\$E\$3			
H	I	J	K
M ref arriba	eom ref arriba	e(P0) ref arriba	cdg
-63	-1437	-981,7528333	-750

e(P0) ref arriba:

fx						
=SI([@[e (P0)]]>0; -('calc MAGNEL'!G6)-[@[e (P0)]]); -(ABS([@[e (P0)]])+('calc MAGNEL'!G6)))						
H	I	J	K	L	M	N
M ref arriba	eom ref arriba	e(P0) ref arriba	cdg			
-63	-1437	-981,7528333	-750			

Cdg:

fx			
='calc MAGNEL'!C6			
H	I	J	K
M ref arriba	eom ref arriba	e(P0) ref arriba	cdg
-63	-1437	-981,7528333	-750



Captura del entorno en Excel. El trazado de cable discretizado no queda exactamente parabólico, pero si se aprecian los cambios de dirección y cuando está por encima del centro de gravedad y cuándo por debajo.



12 ELECCIÓN DEL CABLE

La sistematización de la elección de cable calcula el número de las vainas y de los cordones de 0,5” o 0,6”, con un máximo de 8 cordones por vaina.

Partiendo de la fuerza de pretensado y de la tensión límite, hallamos el área necesaria de pretensado (A_p).

$$P_0 = \sigma_0 \cdot A_p$$

P0	2740151,44 N
f p max	1860 N/mm ²
σ_{P0}	1395 N/mm ²
A_p	1964,266265 mm ²

Repartimos el área en los cordones, teniendo dos opciones: un número de cordones de 0,5” y otro para los de 0,6”. El programa selecciona el menor de ambos como opción óptima.

PRETENSADO		
Nº (0,5")	19,64266265	20 cordones
Nº (0,6")	14,13141198	15 cordones
opción opt:	15 cordones	139

Mostrará entonces ocho opciones posibles, en función del número de cordones por vaina. La opción más adecuada quedará a elección del usuario del programa que deberá introducir manualmente con qué opción se queda.

¿Cordones/vaina?	vainas	C	¿Buena Opción?
1	15	15	si
2	8	7,5	no
3	5	5	si
4	4	3,8	no
5	3	3	si
6	3	2,5	no
7	3	2,1	no
8	2	1,9	no

Como interacción final del programa se selecciona las vainas deseadas con su correspondiente número de cordones.



*Se opta por	3 vainas de	5 cordones cada vaina
Ap final	2085 mm ²	

f_x	=BUSCAR(B21; Tabla7[¿Cordones/vaina?];Tabla7[vainas])			
	C	D	E	F
	3 vainas de	5 cordones cada vaina		

13 PÉRDIDAS DEL PRETENSADO

13.1 LIMITACIÓN DE LA FUERZA DEL PRETENSADO.

En general la fuerza de tesado P_0 ha de proporcionar una tensión σ_{P0} sobre las armaduras activas no mayor:

$$\sigma_{P0} \leq \text{MÍN} \{ 0,7 \cdot f_{P \text{ máx } k}; 0,85 \cdot f_{P k} \}$$

Aunque de forma temporal, la tensión podrá aumentarse hasta:

$$\sigma_{P0 \text{ temporal}} \leq \text{MÍN} \{ 0,8 \cdot f_{P \text{ máx } k}; 0,9 \cdot f_{P k} \}$$

Y en el caso de elementos postesados donde el aplicador del pretensado o el prefabricador dispongan de un distintivo de calidad se podrá aceptar un incremento a:

$$\sigma_{P0 \text{ disp. calidad}} \leq \text{MÍN} \{ 0,75 \cdot f_{P \text{ máx } k}; 0,9 \cdot f_{P k} \}$$

$$\sigma_{P0 \text{ disp. calidad temporal}} \leq \text{MÍN} \{ 0,85 \cdot f_{P \text{ máx } k}; 0,95 \cdot f_{P k} \}$$

13.2 PÉRDIDAS DE LA FUERZA DE PRETENSADO.

$$P = P_0 - \Delta P_i - \Delta P_{dif}$$

Donde:

ΔP_i = Pérdidas instantáneas. Se producen en el momento de introducir el pretensado.

ΔP_{dif} = Pérdidas diferidas. Se producen a lo largo del tiempo una vez introducido el pretensado.

13.2.1 PÉRDIDAS INSTANTÁNEAS.

Las pérdidas instantáneas de fuerza son aquellas que pueden producirse durante la operación de tesado y en el momento del anclaje de las armaduras activas. Dependen del elemento estructural en estudio.

$$\Delta P_i = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3$$

Donde:

ΔP_1 = Son las pérdidas de fuerza causadas por el rozamiento a lo largo del conducto de pretensado.

ΔP_2 = Son las pérdidas de fuerza causadas por la penetración de las cuñas.

ΔP_3 = Son las pérdidas de fuerza causadas por el acortamiento elástico del hormigón.

13.2.1.1 PÉRDIDAS POR ROZAMIENTO.

Las pérdidas por rozamiento entre las armaduras y las vainas o conducto de pretensado dependerán de la variación angular α del trazado del tendón entre sección y en anclaje activo, la distancia 'x' entre secciones, del coeficiente μ de rozamiento en curva, de coeficiente 'K' de rozamiento en recta y parten de la fuerza de tesado P_0 .

$$\Delta P_1 = P_0 \cdot (1 - e^{-(\mu\alpha - Kx)})$$

Donde:

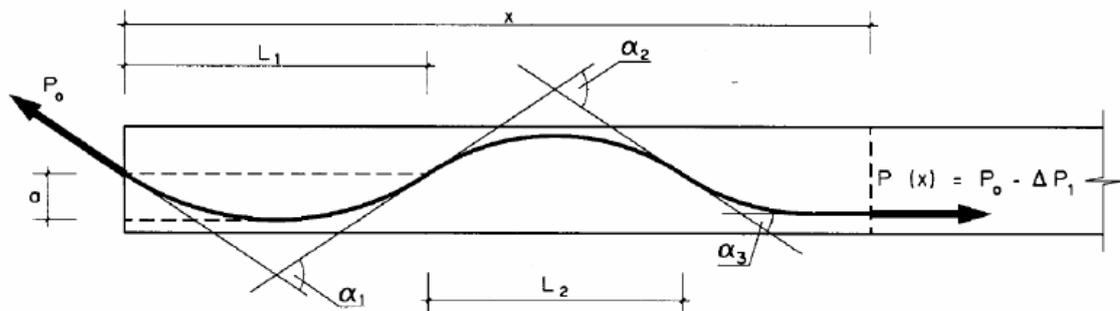


Ilustración 21. Variación angular del trazado. (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez)

Obtención de los coeficientes μ y K:



Disposición de las armaduras en las vainas	Estado superficial de las armaduras	Naturaleza de los aceros constitutivos de las armaduras		
		Alambres o cordones trefilados	Barras laminadas lisas	Barras laminadas corrugadas
1) Tendón formado por varios elementos agrupados en una misma vaina de acero sin tratamiento superficial	Sin lubricar	0,21	0,25	0,31
	Con lubricación ligera (aceite soluble)	0,18	0,23	0,27
2) Tendón formado por un único elemento aislado, en una vaina sin tratamiento	Sin lubricar	0,18	0,22	0,28
	Con lubricación ligera (aceite soluble)	0,15	0,20	0,24

Tabla 3. Coeficiente μ . (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez)

Tabla 20.2.2.1.1.b

Diámetro interior del conducto (en mm)	30	40	50	60	>60
K/μ	0,016	0,012	0,009	0,007	0,006

Tabla 4. Coeficiente K/μ . (Fuente: Diapositivas de Estructuras de Hormigón Pretensado. A.Martinez)

13.2.1.2 PÉRDIDAS POR PENETRACIÓN DE CUÑAS.

$$\Delta P_2 = \frac{a}{L} \cdot E_p \cdot A_p$$

Siendo: a la penetración de la cuña en milímetros, L la longitud total del tendón recto, E_p el módulo de deformación longitudinal de la armadura activa (MPa) y A_p la sección de la armadura activa (mm^2).

13.2.1.3 PÉRDIDAS POR ACORTAMIENTO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN.

$$\Delta P_3 = \sigma_{cp} \cdot \frac{n-1}{2 \cdot n} \cdot \frac{E_p \cdot A_p}{E_c}$$

Donde: E_p el módulo de deformación longitudinal de la armadura activa (MPa), A_p la sección de la armadura activa (mm^2), E_c el módulo de deformación longitudinal del hormigón; n el coeficiente de equivalencia E_p/E_c ; σ_{cp} la tensión a compresión de las armaduras activas producidas por la fuerza $P_0 - \Delta P_1 - \Delta P_2$.

13.2.2 PÉRDIDAS DIFERIDAS.



$$\Delta P_{dif} = \frac{n \cdot \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{cp} + E_p \cdot \varepsilon_{cs}(t, t_0) + 0'8 \cdot \Delta \sigma_{pr}}{1 + n \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c \cdot y_p^2}{I_c}\right) \cdot (1 + \chi \cdot \varphi(t, t_0))}$$

Donde: y_p es la distancia del centro de gravedad de las armaduras activas al centro de gravedad de la sección; $\varphi(t, t_0)$ el coeficiente de fluencia para una edad de puesta en carga igual a la edad del hormigón en el momento del tesado (t_0) (ver 39.8 EHE 08); ε_{cs} es la deformación de retracción que se desarrolla tras la operación de tesado (ver 39.7 EHE 08); σ_{cp} la tensión a compresión de las armaduras activas correspondiente a la fibra del centro de gravedad de las armaduras activas; χ es el coeficiente de envejecimiento ($\chi=0'8$)

14 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.

La discretización y sistematización del puente postesado en tres vanos ha sido una línea de trabajo enriquecedora puesto que el planteamiento del mismo, ya complejo, se dificulta a la hora de encajar todos los cálculos para las infinitas posibilidades de diseño que plantea el mismo programa Excel.

Estableciendo ciertos límites y simplificaciones, hemos conseguido obtener un programa de cálculo que sin grave error arroja unos resultados admisibles. No siendo ésta la última respuesta, si no unos valores teóricos que sirven para afianzar la teoría y demostrarla.

Como valor del propio ingeniero, queda en su mano la optimización de los resultados.

El futuro de este proyecto acabará en la omisión de las simplificaciones realizadas y en la precisión de la introducción de datos, la optimización en los resultados, una mayor posibilidad de opciones del dimensionamiento del pretensado y el cálculo de las pérdidas del mismo de sección a sección. Así como una posible erradicación de la interacción entre usuario y programa mediante la utilización de formularios de entrada de datos.



15 ENLACES WEB UTILIZADOS.

1. <https://support.office.com/es-ES/article/Introducci%C3%B3n-a-Excel-2010-D8708FF8-2FBD-4D1E-8BBB-5DE3556210F7> .Definición y descarga de Excel.
Acceso: 26/09/16
2. <http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Articulos%20Tecnicos/Puentes%20prefabricados.pdf> ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN EN PUENTES. Acceso: 01/11/16
3. <https://www.youtube.com/channel/UCrFhWm6pxmJQXzVYcJemcsA>. Canal Excel Avanzado. Acceso: 11/12/16
4. <http://estructurando.net/COMBINADOR/> Web Estructurando. Acceso:25/11/16
5. <http://www.rector.fr/fr/construction-de-ponts/> .Empresa de prefabricados de hormigón. Acceso 19/10/16
6. <https://www.youtube.com/user/aulaalic> Canal Word Avanzado. Acceso: 11/12/16
7. <http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/estructuras.htm>. Consulta de normas varias. Acceso: 20/11/16
8. <http://excelyvba.com/modificar-graficosvba/> Web Excel Avanzado. Acceso: 5/12/16

16 BIBLIOGRAFÍA.

1. Instrucción de Hormigón Estructural. EHE-08. Comisión Permanente del Hormigón.
2. Diapositivas del curso de Estructuras de Hormigón Pretensado de la Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor A. Martínez Martínez. 2015.
3. Diapositivas del curso de Estructuras de Hormigón Armado de la Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor A. Martínez Martínez. 2013.
4. Diapositivas del curso de Teoría de Estructuras de la Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor F. Alabau Madrid. 2012.
5. Diapositivas del curso de Estructuras Metálicas de la Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor A. Tomás Espín. 2013.



6. Diapositivas del curso de Procedimientos de Construcción de la Universidad Politécnica de Cartagena. Profesor: G. Sánchez Olivares. 2013.
7. Norma de construcción sismorresistente: Puentes. NCSP-07. Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. 2007.
8. Instrucción de acero estructural. EAE. Madrid: Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. 2011.
9. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural CTE DB SE A. Acero. Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. 2006.
10. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico de Seguridad CTE DB SE C. Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. 2006.
11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. IAP-11. Dirección General de Carreteras. (2011).
12. Construcción de puentes de hormigón pretensado por voladizos sucesivos. JSF Mathivat. 1980.
13. MEFI Manual de Usuario.
14. Curso de Combinaciones de acciones para E.L.U y E.L.S con el programa Combinador. Curso impartido por *José Antonio Agudelo Zapata* en Octubre 2016. Web: Estructurando.
15. Análisis en el tiempo de secciones de hormigón de pretensado: Pérdidas de pretensado por retracción y fluencia. J. Murcia. 1999.
16. Manual de Excel Avanzado. F. Charte.
17. Curso de Excel Avanzado en la Universidad Politécnica de Cartagena impartido por José Martínez Martínez. 2016.
18. Apuntes del curso Prestressed Concrete Structures en la Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava impartido por Pavlína Matečková. 2015.
19. Apuntes del curso Concrete Structures I en la Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava impartido por Pavlína Matečková. 2014.
20. Apuntes del curso Concrete Structures II en la Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava impartido por Pavlína Matečková. 2015.
21. Apuntes del curso Concrete Structures III en la Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava impartido por Pavlína Matečková. 2015.
22. Apuntes del curso Concrete and Mansory Structures en la Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava impartido por Pavlína Matečková. 2015.
23. Apuntes del curso Steel and Timber Structures en la Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava impartido por Miroslav Rosmanit. 2014.