



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SISTEMA DE INSPECCIÓN DE CARRILES: CONFIGURACIÓN Y
CÁLCULO DIMENSIONAL**



PEDRO MANSO BERNAL

JULIO 2014



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SISTEMA DE INSPECCIÓN DE CARRILES: CONFIGURACIÓN Y
CÁLCULO DIMENSIONAL**

DOCUMENTO V

MEDIDOR: CÁLCULO DIMENSIONAL



PEDRO MANSO BERNAL

JULIO 2014

**ÁREA DE ARQUITECTURA Y
TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES**

**TUTOR: DANIEL F. GARCÍA
MARTÍNEZ**

Contenido

1.	Introducción al cálculo dimensional.....	5
1.1.	Etiquetado de primitivas del carril	6
1.2.	Proceso de etiquetado de las primitivas del carril	8
1.3.	Diferencias de etiquetado entre perfiles	10
1.3.1.	Diferencias en la cabeza del perfil.....	10
1.3.2.	Diferencias en el alma del perfil.....	12
1.3.3.	Diferencias en el patín del perfil	13
1.4.	Caché del carril	14
2.	Cálculo dimensional	15
2.1.	Cálculo de la altura del carril, “RH”	15
2.1.1.	Primer método (Implementado).....	15
2.1.2.	Segundo método	16
2.2.	Cálculo de la altura de la zona de embridaje, “RFH”	17
2.3.	Cálculo del ancho del pie, “FW”	18
2.3.1.	Primer método (Implementado).....	18
2.3.2.	Segundo método	19
2.4.	Cálculo de la forma de la cabeza, “HF1”	19
2.4.1.	Primer método (Implementado).....	19
2.4.2.	Segundo método	20
2.5.	Cálculo del ancho de la cabeza, “HW”	21
2.5.1.	Primer método (Implementado).....	21
2.5.2.	Segundo método	22
2.6.	Cálculo del ancho de la cabeza para la norma AREMA, “HWArena”	23
2.7.	Cálculo del espesor del ala del patín, “FT_l” y “FT_r”	24
2.8.	Cálculo de la asimetría del carril, “RAS_l” y “RAS_r”	27
2.8.1.	Primer método (Implementado).....	27
2.9.	Cálculo de la asimetría del carril de Arcelor, “RAS_Arcelor”	29
2.10.	Cálculo del ancho del alma del carril, “WT”	31
2.11.	Cálculo de los radios de la cabeza del carril, “HR”	33
2.11.1.	Primer método	33
2.11.2.	Segundo método (Implementado).....	34
2.12.	Cálculo de la concavidad del pie del patín, “FC”	36

2.13. Cálculo de la torsión del carril, "Twist" 37

1. Introducción al cálculo dimensional

En este documento se explica la técnica desarrollada para el cálculo de las dimensiones que se quieren tener en cuenta a la hora de medir la calidad de fabricación de los carriles de tren. Se han implementado una serie de algoritmos, que se verán a continuación, para llevar a cabo esta tarea.

Para lograr esto se han implementado dos clases para contener los datos más importantes de cada carril. Una para el modelo del carril, la cual se ha llamado *RailModel* y una caché de este modelo, llamado *RailCache* la cual almacenará los parámetros estáticos de los carriles así como las primitivas de referencia (líneas, circunferencias y puntos) que ayudarán al futuro cálculo de las dimensiones.

Este modelo de carril contendrá las primitivas geométricas de cada carril que se desee medir, así como el nombre del mismo y una caché con toda la información necesaria. El contenido de esta se irá explicando a lo largo de este documento.

Se ha realizado también una clase para llevar a cabo y almacenar todas las mediciones que se vayan a hacer sobre un carril durante el análisis del mismo. Esta clase se ha llamado *RailMeasurement*, la cual recibe como parámetro un modelo de carril o *RailModel* y calcula las dimensiones del mismo a partir de una nube de puntos. Esta nube de puntos habrá sido extraída del sistema mediante triangulación láser.

- **Tercer carácter** (solo para primitivas secundarias): Se añadirá una letra adicional en el nombre de las primitivas secundarias, indicando si se encuentran en la parte de arriba “T” (Top) o en la parte de abajo “B” (Bottom) de la región donde están situadas. Hay seis excepciones para esta regla en las primitivas principales, y estos son los segmentos que se hallan en la parte inferior de la cabeza, y en la parte inferior del alma y en la parte superior del pie del carril. Esto es así ya que estas son las únicas primitivas del carril que podrían no existir.
- **Cuarto carácter:** La última letra deberá indicar en qué parte del perfil se encuentra. Mediante una “L” se indicará que se encuentra en el lado izquierdo (Left) y mediante una “R” se indicará que se encuentra en el lado derecho (Right). Este caso tiene dos excepciones, que son la base del patín, el cual se marcará con una “B” en su última letra que indicará que se encuentra “abajo” (Bottom), y el arco de rodadura de la cabeza del carril, que se marcará con una “T” de “arriba” (Top) para indicar que es la primitiva que está en la parte superior del carril.
- **Número:** Después de esta última letra, a las primitivas secundarias se les añadirá un número indicando el número de primitiva y el orden que ocupan dentro del carril. Estos números se irán asignando a las primitivas secundarias en el sentido de las agujas del reloj empezando en el arco de rodadura de la cabeza y comenzando por el número 1, sin tener en cuenta las primitivas principales.

Diferentes ejemplos de esta nomenclatura son los siguientes:

- *SHL*, “Segment Head Left”, segmento que se encuentra en el lado izquierdo de la cabeza, es una primitiva principal.
- *AWTR6*, “Arc Web Top Right 6”, arco superior del alma por el lado derecho, esta es la sexta primitiva secundaria.
- *SBTR*, “Segment Base Top Right”, segmento que se encuentra en la parte superior de la base del carril en el lado derecho, esto es una primitiva principal.
- *ABBR10*, “Arc Base Bottom Right 10”, arco que se encuentra en la parte inferior de la base del carril por el lado derecho, y es la décima primitiva secundaria que se encuentra.

1.2. Proceso de etiquetado de las primitivas del carril

Para llevar a cabo el etiquetado de las primitivas del carril se ha diseñado un proceso que han de seguir todos los perfiles que se vayan a importar.

Previamente al etiquetado de las primitivas del carril, estas han tenido que ser ordenadas partiendo del arco de rodadura de la cabeza del carril, la llamada "AHT" que se puede ver en la Figura 1, y partiendo de esta, en sentido de las agujas del reloj, hasta completar todas las primitivas del carril.

La Figura 2 muestra otro etiquetado de un carril, pero en este caso este carril, al contrario que en el caso anterior, es asimétrico.

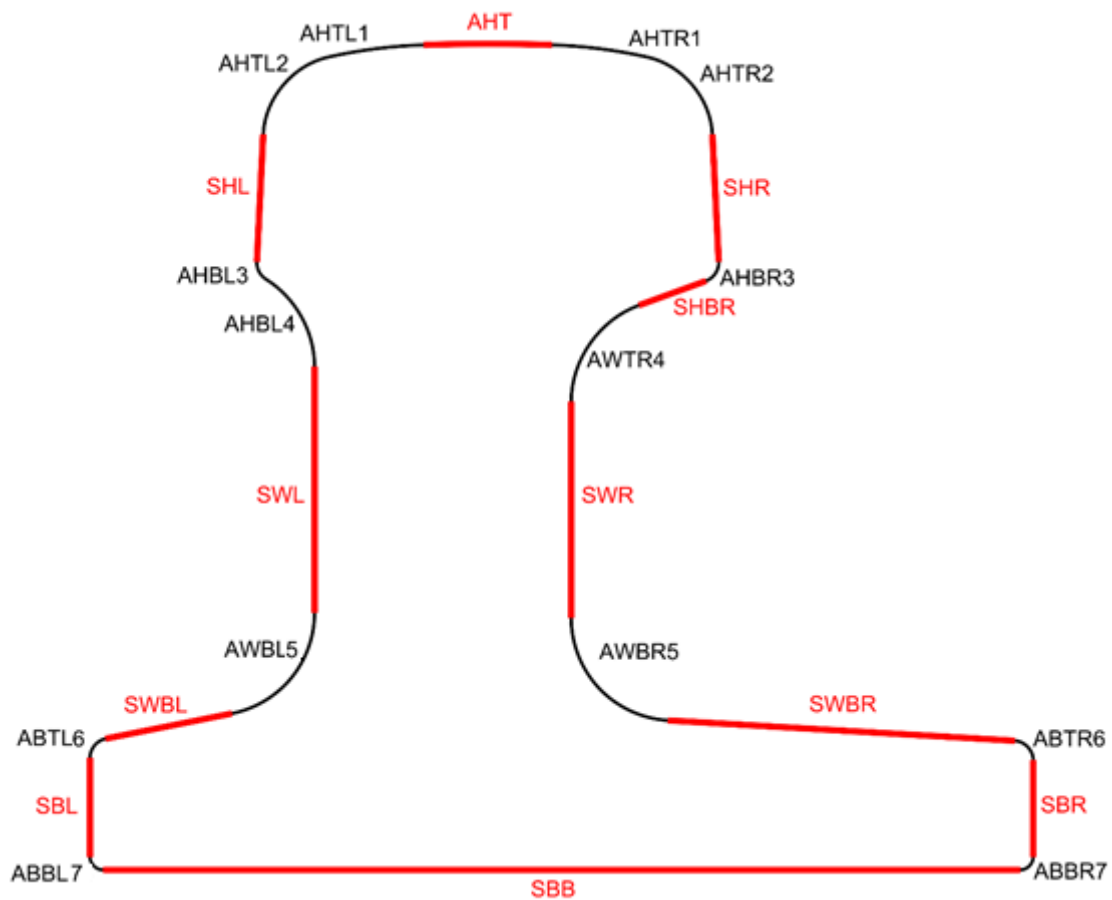


Figura 2: Etiquetado de las primitivas de un carril asimétrico

El carril etiquetado en la Figura 2 muestra una serie de diferencias con respecto al etiquetado de la Figura 1:

- Tal y como se comentó anteriormente, este segundo perfil es un perfil asimétrico al contrario que el primero.
- Este segundo perfil no tiene uno de los segmentos que el primero tiene en la base de la cabeza, denominado "SHBL", aunque por el contrario sí tiene este mismo segmento en la parte derecha del perfil llamado "SHBR". Esto impedirá que se pueda calcular una de las dimensiones del perfil llamada "RFH" que se verá en la sección 2.2.
- Por último, este perfil tiene en la parte superior del patín, tan sólo un par de segmentos, uno a cada lado del mismo, "SWBL" y "SWBR" respectivamente, al contrario que el anterior, que tenía dos: "SBTL", "SWBL" y "SBTR", "SWBR" respectivamente.

El proceso para lograr un etiquetado exitoso de los perfiles es el siguiente (se explica para uno de los lados, siendo análogo para el otro):

- Dividir en dos colas descendentes de primitivas, una para cada lado del perfil, las cuales parten de la cabeza del mismo o "AHT" y llegan hasta la parte inferior de la base "SBB".
- Se extrae de ambas colas el primer elemento, el cual será la cabeza del carril, y se le asigna el nombre "AHT".
- A continuación se buscan todos los arcos que siguen al de la cabeza, asignándoles los nombres "AHTL1", "AHTL2", etc.
- El primer segmento que se encuentra justo después de los arcos de la cabeza será el llamado "SHL" o segmento lateral de la cabeza.
- A continuación se buscan todos los arcos que haya en la cola después del segmento anterior y que no superen entre sus ángulos de giro los 100º entre todos, se les asigna nombre tal como "AHBL1", etc. Si se supera los 100º de giro, quiere decir que no existe un segmento en la parte baja de la cabeza, en caso contrario este segmento siguiente será el "SHBL" el cual no está presente en la Figura 2, pero sí en la Figura 1.
- Una vez se ha extraído (en caso de existir) el segmento "SHBL", se ha de buscar el segmento o arco que conforma el centro del alma del carril. Esto se consigue buscando dos segmentos cuyo inicio y final tengan el mismo valor de la dimensión "y" y además sean verticales o buscando dos arcos los cuales tengan la misma dimensión "y" en el centro, así como el mismo radio de curvatura. Una vez se tengan todos los pares de arcos o segmentos se elegirán aquellos cuya la distancia entre estas dos primitivas en la mínima posible, obteniendo así "SWL" y "SWR" en caso de que sean segmentos o "AWL" y "AWR", todos los arcos y segmentos que se encuentren entre "SHBL" y el "AWL" o "SWL" se llamarán "AWTL1", "SWTL2", etc.

- A continuación se deben buscar los segmentos que se encuentran en la parte superior del patín del carril. Estos segmentos serán “SWBL”, el superior, y “SBTL”, el inferior. Para ello se acumularán los ángulos de los arcos que se encuentren después de las primitivas del alma. Hasta encontrar el primer segmento “SWBL” no se deberán haber acumulado más de 45°. En caso contrario, tan sólo se tendría “SWBL” y no existiría “SBTL”. Todos los arcos que se han encontrado antes que este segmento y después de la primitiva del alma se llamarán “AWBR5”, “AWBR6”, etc.
- Para encontrar, si existe, el “SBTL” se deben acumular no más de 45° entre esta primitiva y la anterior. Los arcos que se encuentren entre esta primitiva y la anterior se llamarán “ABTL7”, etc.
- Ahora se buscarán los segmentos que se encuentren en los laterales del pie del patín. Estos serán “SBL” y “SBR”. Se deberá buscar entre todos los segmentos restantes de cada cola aquellos que sean paralelos entre sí y tengan separación máxima, ya que esta es la parte más ancha del carril. A todos los arcos que se encuentren entre la primitiva principal anterior y ésta se les llamarán “ABTL8”, etc., al igual que en el caso anterior.
- Para finalizar, se buscará la base del patín del carril, que será la última primitiva de cada lista. Por lo tanto solo se almacenará una de las dos. A esta base se le dará el nombre de “SBB”, todos los arcos entre la primitiva principal anterior y ésta se llamarán “ABBL9”, etc.

1.3. Diferencias de etiquetado entre perfiles

Cada carril puede tener diferencias en el número de arcos y segmentos que conforman su perfil. Por lo tanto, las tendrá también en su proceso de etiquetado. A continuación se explican las diferencias entre los perfiles de los carriles de los que se tiene el modelo.

La diferencia de simetría entre carriles, es decir, que un carril sea simétrico o no, no es relevante para el proceso de etiquetado de los perfiles, por lo que no se hablará de esto en esta sección.

1.3.1. Diferencias en la cabeza del perfil

En la cabeza de los perfiles de los carriles se pueden encontrar una serie de diferencias, pero estas no alteran el resultado general del proceso de etiquetado comentado antes. Estas diferencias son las siguientes:

- Perfiles con 3 arcos en la parte superior de la cabeza: estos perfiles tienen un arco central y otro arco a cada lado del central.
- Perfiles con 5 arcos en la parte superior de la cabeza: estos perfiles tienen un arco central y otros dos arcos a cada lado del central.
- Perfiles con 7 arcos en la parte superior de la cabeza: estos perfiles tienen un arco central y otros 3 arcos a cada lado del central.
- Perfiles con 9 arcos en la parte superior de la cabeza: estos perfiles son los menos comunes de todos los anteriores, y tienen un arco central y otros 4 arcos a cada lado del central.

En la cabeza de los perfiles también se puede encontrar otra diferencia, que en este caso sí altera el proceso de etiquetado al igual que el cálculo dimensional. Esta diferencia radica en la existencia de un segmento en la parte inferior de la cabeza del carril. El perfil mostrado en la Figura 3 tendría ambos segmentos en la parte inferior de la cabeza. Por otra parte el perfil mostrado en la Figura 4 tiene tan solo el segmento de la derecha *SHBR*.

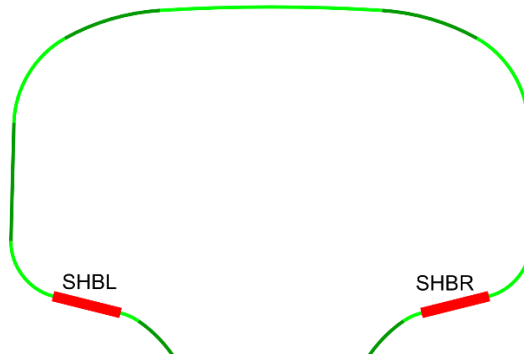


Figura 3: Cabeza de carril con SHBL y SHBR

En caso de que no existiera alguno de los dos segmentos de la parte inferior de la cabeza del perfil, como es el caso de la Figura 4, este sería siempre el de la parte izquierda de la misma, tanto en el modelo como a la hora de interpretar las imágenes de los perfiles.

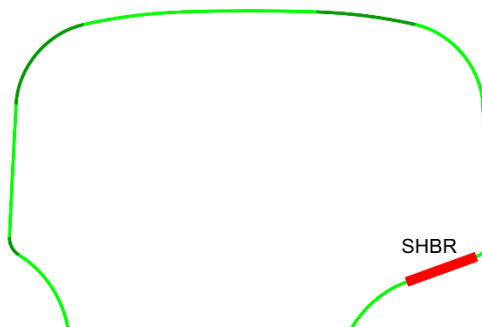


Figura 4: Cabeza de carril con tan solo SHBR

1.3.2. Diferencias en el alma del perfil

En el alma de los perfiles de los carriles puede haber una diferencia básica dependiendo de qué tipo de primitivas se encuentre en el punto central del alma del carril, ya sea un arco o una curva. En el caso de la Figura 5 se puede observar un alma del perfil de un carril de tren con dos arcos como puntos medios del alma del mismo. Por el contrario en la Figura 6, se puede observar un centro del alma definido con dos segmentos.

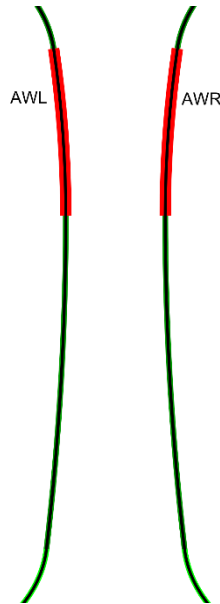


Figura 5: Perfil con arcos en su alma "AWL" y "AWR"

En caso de que el alma este conformada por dos arcos, estos se llamaran "AWL" el arco del lado izquierdo, y "AWR" el del lado derecho. Si por el contrario fueran dos segmentos serían "SWL" y "SWR" respectivamente.

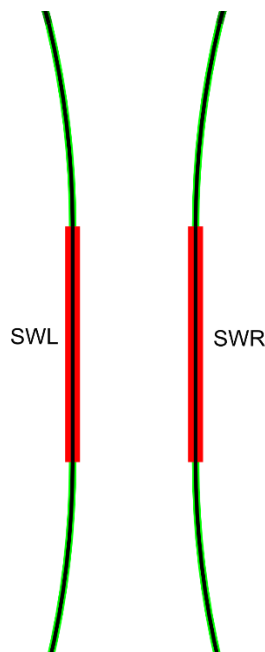


Figura 6: Perfil con segmentos en el centro del alma "SWL" y "SWR"

1.3.3. Diferencias en el patín del perfil

En el caso del patín del carril, la diferencia que se puede observar entre unos u otros carriles no es el cambio de una dimensión entre segmento o arco, sino algo parecido a lo que sucedía en la cabeza, es decir, que existen más o menos segmentos (en este caso) en un perfil que en otro.

Se pueden dar dos casos:

- Que existan dos segmentos a cada lado de la base superior del patín del perfil del carril, tal y como se pueden observar en la Figura 7.
- Que exista tan sólo un segmento a cada lado de la base superior del patín del perfil del carril, tal y como se puede observar en la Figura 8.

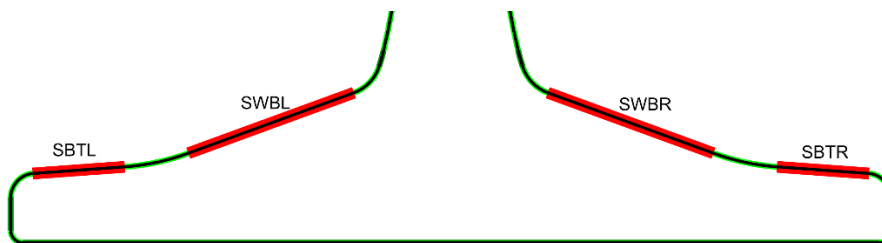


Figura 7: Perfil con dos pares de segmentos en la parte superior del patín

En caso de no existir dos de los segmentos de la base superior del patín del carril, estos serían los dos extremos de los que se pueden observar remarcados en rojo en la Figura 7.

Estos segmentos son importantes para el cálculo de tres dimensiones que se explicarán a continuación, estas dimensiones son “*Rail Flange Height*” o altura de la zona de embridaje, “*RFH*” y “*Foot Toe thickness*” o espesor del ala del patín, “*FT_l*” y “*FT_r*”

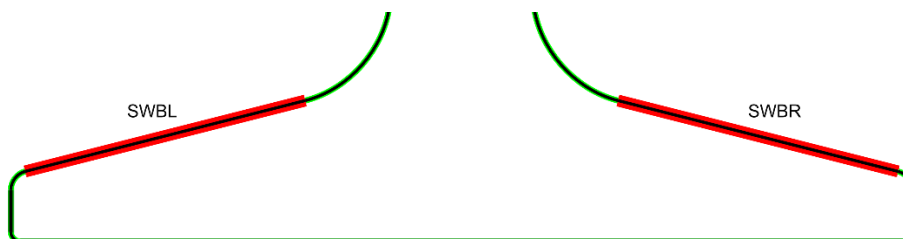


Figura 8: Perfil con un par de segmentos en la parte superior del patín

1.4. Caché del carril

Para facilitar el cálculo de las dimensiones del carril se ha precalculado un conjunto de variables, que han sido definidas previamente.

Estas variables ayudan al sistema a realizar el cálculo dimensional de cada sección de una forma más rápida, estas variables deberán ser sacadas del modelo del carril importado mediante el configurador.

Las variables que se van a precalcular son las siguientes:

- *Symmetric*, variable booleana que indica si el carril es simétrico o no.
- *HeadArcsCount*, entero que indica el número de arcos que contiene la parte superior de la cabeza del carril.
- *LinearWeb*, variable booleana que indica si la parte más estrecha del alma tiene como primitiva un segmento o un arco.
- *TwoSegmentsInBaseTop*, variable booleana que indica si se tienen uno o dos segmentos en la parte superior del pie.
- *CanCalculateFlangeHeight*, variable booleana que indica si se puede calcular la dimensión *FlangeHeight* que se explica en la sección 2.2.
- *YMiddleHeadLine*, línea paralela al eje de las y que pasa por el punto medio del arco de rodadura de la cabeza del carril.
- *YMiddleBaseLine*, línea paralela al eje de las y que pasa por el punto medio del segmento de la base del patín.
- *WebThicknessLine*, línea paralela al eje de las x que pasa por el punto más estrecho del alma del carril, ayuda en el cálculo de la dimensión explicada en la sección 2.10.
- *HeadFormLine*, línea de ayuda para el cálculo de la dimensión que se explica en la sección 2.4.
- *HeadWidthLine*, línea de ayuda para el cálculo de las dimensiones que se explican en las secciones 2.5 y 2.8.
- *HeadWidthAremaLine*, línea de ayuda para el cálculo de la dimensión que se explica en la sección 2.6.
- *RightSideBaseLine*, línea de ayuda para el cálculo de las dimensiones que se explican en las secciones 2.7 y 2.8.
- *LeftSideBaseLine*, línea de ayuda para el cálculo de la dimensión que se explica en las secciones 2.7 y 2.8.
- *HeadFormPoint*, punto de ayuda para el cálculo de la dimensión que se explica en las secciones 2.4.
- Para cada radio de la parte superior de la cabeza del carril se almacenan las siguientes variables:
 - Una línea que pasa por el centro del arco y por su centro de giro.
 - Punto del centro del arco.

2. Cálculo dimensional

Para la obtención de las dimensiones de interés en un perfil se pueden utilizar dos métodos de cálculo diferenciados, teniendo en cuenta si se utilizan parámetros o valores que ya han sido calculados a partir del modelo, sin tener en cuenta las mediciones. Estas dimensiones se llamarán “relativas”, ya que se necesita información relativa al modelo para el cálculo correcto de las mismas. Esta información estará contenida en la caché del modelo.

Si, por el contrario, la dimensión es calculada tan sólo con los datos tomados mediante la técnica de captura y procesamiento de imágenes, entonces, esta dimensión será una dimensión absoluta, es decir, tan solo se calcula con los valores medidos, sin tener en cuenta para nada el modelo del carril, a excepción del nombre de las primitivas que se muestran en la sección *Etiquetado de primitivas del carril*.

2.1. Cálculo de la altura del carril, “RH”

2.1.1. Primer método (Implementado)

En este caso la altura del carril, o “Rail Height”, se calculará tal y como se muestra en la Figura 9:

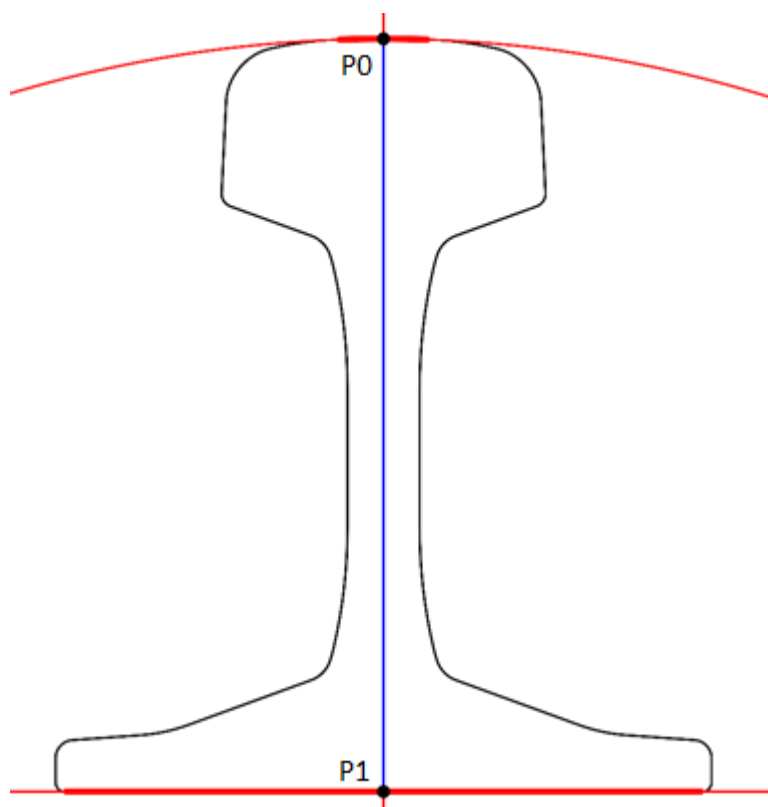


Figura 9: Altura del carril

Se obtiene del diccionario de dimensiones aquella cuya clave es “AHT”, la cual será el arco de la cabeza, y se obtiene el círculo donde este arco está contenido.

Se realizan los pasos, de forma análoga, para obtener el segmento de la base, cuyo nombre en el diccionario es “SBB” y se obtiene la línea donde este segmento está contenido.

Se calcula el punto más alto del círculo que pasa por la cabeza del carril, este será el punto **p0** y se hace que una línea paralela al eje de las Y pase por este punto, y se calcula el punto de corte con la línea de la base, obteniendo así **p1**.

La altura o "Rail Height", es decir, la dimensión buscada, será la distancia entre el punto p0 y el punto p1, y será además una dimensión absoluta, ya que no utiliza ninguna información pre calculada del modelo, ni accede a la cache del mismo.

2.1.2. Segundo método

Este segundo método es similar al anterior, solo que tiene en cuenta que el pie del perfil del carril no sea completamente plano, e incluso que no sea un segmento, tal y como se presupone en el primero.

Para poder realizar esto, se podría realizar un método similar al que se utiliza para el cálculo de la dimensión "Concavidad del pie" descrito en la sección "*Cálculo de la concavidad del pie del patín, "FC"*", es decir, se deberá obtener del diccionario de dimensiones la base del patín del carril o "SBB", este segmento deberá ser dividido en subsegmentos más pequeños, en este caso se podría dividir en 10 segmentos.

Se deberá aproximar una parte de la nube de puntos que se tiene para la base del carril, a cada uno de los segmentos que se han obtenido del modelo y se deberá obtener el punto más bajo de todos los segmentos.

Por último, y de forma similar al caso anterior, se deberá obtener el punto más alto de la cabeza y hallar la distancia existente entre este punto y el anterior, lo que proporcionará la dimensión buscada.

2.2. Cálculo de la altura de la zona de embridaje, “RFH”

En este caso la altura de la zona de embridaje, o “*Rail Flange Height*”, se calculará tal y como se muestra en la Figura 10.

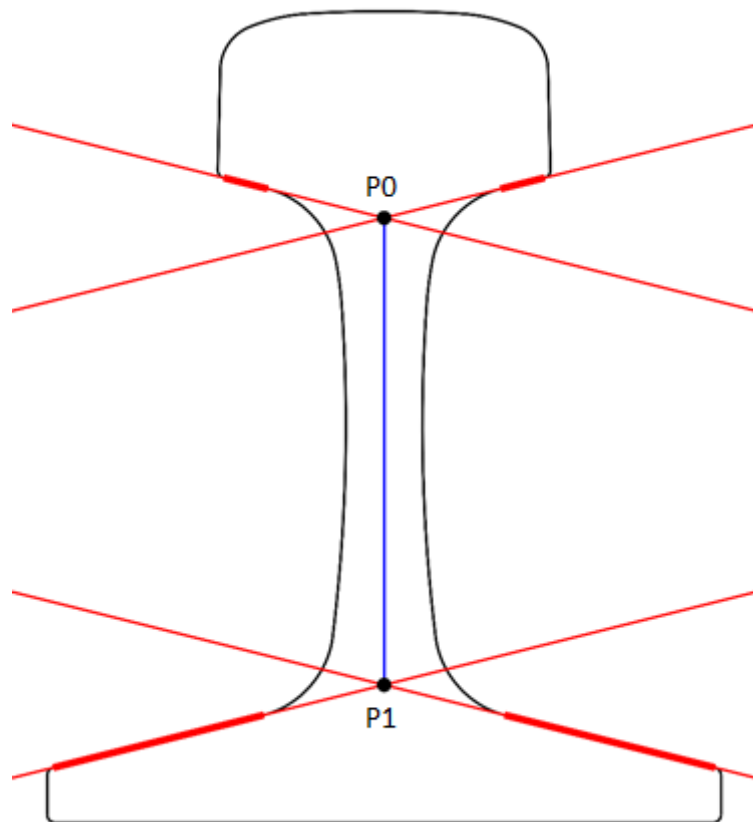


Figura 10: Altura de la zona de embridaje

Para el cálculo de esta dimensión deben existir en el diccionario las primitivas “SHBL”, “SHBR”, “SWBL” y “SWBR”, que no existen para todos los carriles que se han comprobado hasta ahora, como por ejemplo en los carriles “A69” y “A72”, para los que no se podría calcular esta dimensión. Si la dimensión existe se podrá determinar mediante una variable booleana de la caché del carril llamada *CanCalculateFlangeHeight*, la cual si es cierta, indica que se puede calcular esta dimensión, y si por el contrario es falsa, esta dimensión no se puede calcular.

Una vez se tienen todas estas primitivas, que son las que se pueden ver en la Figura 10 remarcadas en rojo, se hacen pasar líneas por ellas, y se busca el punto de corte de las líneas que pasan por “SHBL” y “SHBR” con lo que obtendríamos el punto “p0” y entre las líneas que pasan por “SWBL” y “SWBR” con lo que obtendríamos el punto “p1”.

La dimensión buscada, “RFH”, es la distancia entre estos dos puntos. En este caso, esta dimensión será una dimensión relativa, ya que utiliza la variable booleana *CanCalculateFlangeHeight* presente en la caché, para determinar si se puede o no calcular esta dimensión.

2.3. Cálculo del ancho del pie, “FW”

2.3.1. Primer método (Implementado)

Con este método el ancho del pie del carril, o “Foot Width”, se calculará tal y como se muestra en la Figura 11.

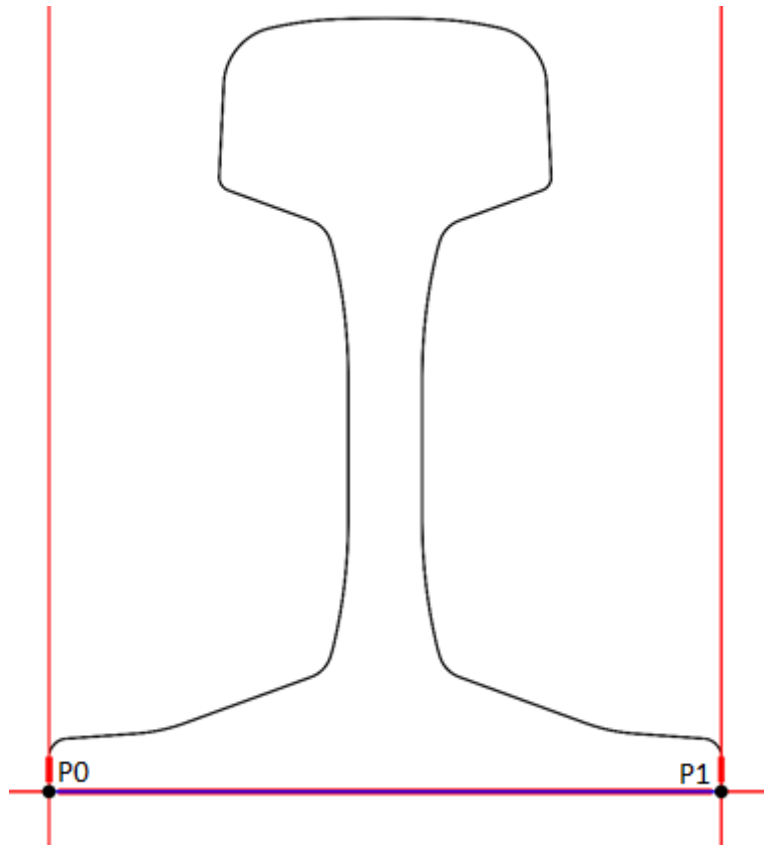


Figura 11: Ancho del pie

En el cálculo de esta dimensión se deben obtener del diccionario de primitivas del carril la base del mismo o “SBB” y los laterales del patín que son “SBL” por la izquierda y “SBR” por la derecha.

Una vez se han obtenido estos segmentos, se hace que por cada uno de ellos pase una línea que contenga estos segmentos.

Se hacen que las líneas que pasan por el segmento de la base y la que pasa por el lateral izquierdo del patín intersecten obteniendo así el punto **p0** y de forma análoga entre la base del patín y el lateral derecho del mismo obteniendo **p1**.

La distancia de separación entre ambos puntos será la dimensión buscada “Foot Width”, esta dimensión será absoluta, es decir, no utiliza para nada elementos precalculados de la caché del carril.

2.3.2. Segundo método

Este segundo método es en esencia, similar al anterior. La mayor diferencia reside en que en vez de aproximar los laterales de la base del pie por dos segmentos, o dos líneas, se aproximan (fitting) mediante una función llamada "FitParabolaSegment", y de este segmento que extraen buscan el punto más a la derecha o más a la izquierda dependiendo de qué lateral de la base sea.

Estos puntos los proyectan a una línea que se ha hecho pasar por el segmento de la base del patín o "SBB", y la dimensión buscada será la distancia entre ambos puntos. Esta proyección sería el equivalente a hacer que las líneas que pasan por los laterales derecho e izquierdo del patín corten al segmento de la base en dos puntos, como se ha hecho en el método anterior.

2.4. Cálculo de la forma de la cabeza, "HF1"

2.4.1. Primer método (Implementado)

La forma de la cabeza de carril, o "Head Form", se define como la altura máxima de la curvatura existente en el arco de rodadura de la parte superior del mismo y se calculará tal y como se muestra en la Figura 12.

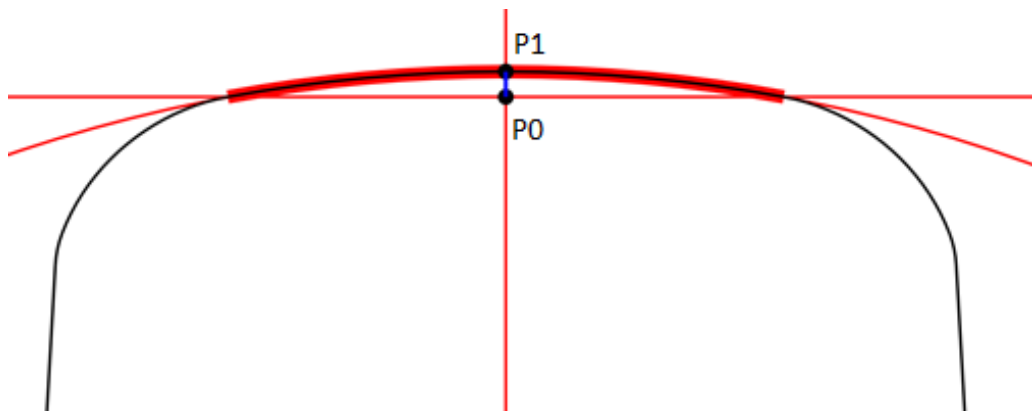


Figura 12: Forma de la cabeza

Para el cálculo de esta dimensión tan solo hará falta obtener del diccionario de dimensiones del carril el arco superior de la cabeza o "AHT". Por este arco se pasará un círculo, el cual deberá contener a este arco.

Además se utilizarán dos líneas que habrán sido calculadas previamente y estarán almacenadas dentro de la cache del modelo de rail del cual se está calculando la dimensión. Estas dos líneas son las siguientes:

- *YMiddleHeadLine*, será la línea paralela al eje de las Y que pasa por el punto medio del arco superior de la cabeza o AHT.
- *HeadFormLine*, esta será la línea que pasa por los dos extremos del arco superior de la cabeza o AHT.

Una vez se tienen estas dos líneas se calcula la intersección entre ellas y se obtiene el punto **p0**.

Para la obtención del otro punto de corte, se deberá realizar la intersección entre la línea llamada "*YMiddleHeadLine*" y el círculo que contiene al arco AHT, lo cual nos generará dos nuevos puntos de corte, debemos quedarnos con el punto más cercano de esos al que ya se tenía previamente, es decir, **p0**, obteniendo así **p1**.

La dimensión buscada será la distancia existente entre el punto **p0** y el punto **p1**. En este caso, esta dimensión será relativa, ya que depende de las dos líneas antes comentadas, extraídas de la cache del carril.

2.4.2. Segundo método

Este segundo método alternativo en vez de usar solo el arco central para calcular la forma de la cabeza, usa además los dos que tiene a cada lateral, es decir, "AHT", el arco central y "AHTL1" el arco a la izquierda de este, y "AHTR1" el arco a la derecha de "AHT".

Una vez se tienen estos arcos, se sigue un procedimiento similar al del método anterior, pero con 3 arcos en vez de con solamente 1.

La Figura 13 muestra el cálculo de la forma de la cabeza mediante este segundo método.

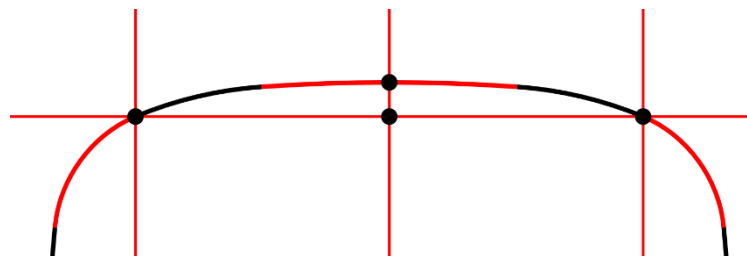


Figura 13: Head form mediante el segundo método

En este caso, la dimensión buscada será la distancia existente entre los dos puntos centrales de la figura anterior.

2.5. Cálculo del ancho de la cabeza, “HW”

2.5.1. Primer método (Implementado)

Con este método el ancho de la cabeza del carril, o “*Head Width*”, se calculará tal y como se muestra en la Figura 14. Figura 11

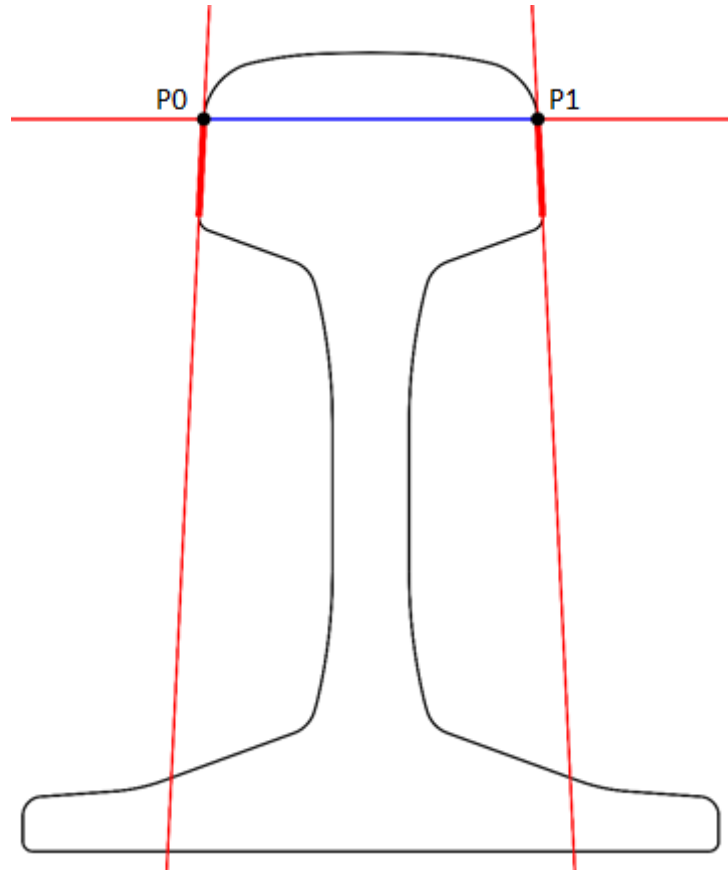


Figura 14: Ancho de la cabeza

Para poder realizar este cálculo se va a necesitar también la ayuda de una línea auxiliar calculada previamente tal y como ya se ha utilizado en el caso anterior. Esta línea estará almacenada en la caché del carril.

Se deberá acceder al diccionario de dimensiones y extraer de él dos segmentos, los segmentos laterales de la cabeza, los cuales son “SHR” y “SHL”, por los cuales se harán pasar sendas líneas.

La línea que se va a obtener de la caché del carril será una línea paralela al eje de las X que pasa por la parte superior de los dos segmentos antes comentados, esta línea se llamará “*HeadWidthLine*”.

La dimensión buscada, “*Head Width*” será la distancia entre los puntos de corte de las líneas que pasan por los segmentos laterales de la cabeza y la línea de la caché “*HeadWidthLine*”. Se obtiene el punto p0, que será el punto de corte de la línea que pasa por el lateral izquierdo de la cabeza y la línea de la caché. El punto p1 será en este caso el análogo para el lado derecho.

En este caso, al obtener la línea “*HeadWidthLine*” de la caché esta dimensión es relativa.

2.5.2. Segundo método

Este segundo método no es una implementación diferente a la descrita en el método anterior, si no que cambia completamente el sentido de la dimensión, haciendo que se calcule en lugar diferente, y refiriéndose a ella como “Máximo teórico del ancho de la cabeza”.

Este método alternativo calcula este máximo teórico y el ancho de la cabeza descrito en el método anterior, a esta dimensión se la llama “C3”.

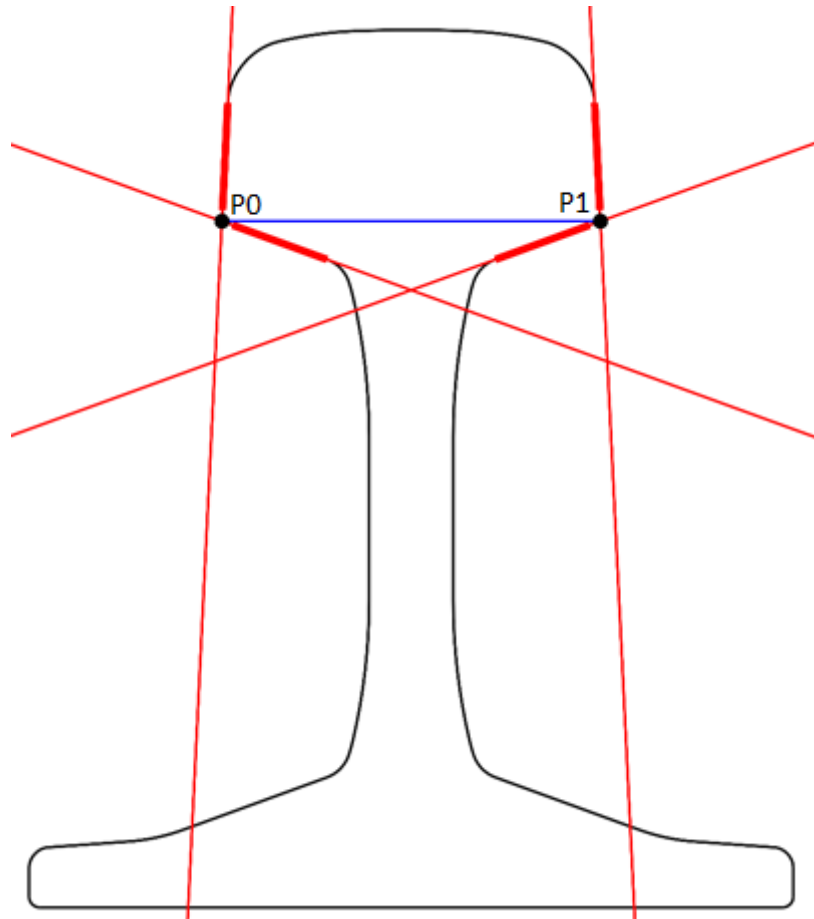


Figura 15: Ancho máximo teórico de la cabeza

Para llevar a cabo el cálculo de esta dimensión se deberá extraer del diccionario de primitivas los segmentos “SHR”, del lateral derecho de la cabeza y “SHBR” del inferior derecho de la cabeza, y hacer que las líneas que pasan por esos segmentos intersecten, obteniendo el punto p1.

Se deberán coger los segmentos “SHL”, del lateral izquierdo de la cabeza y “SHBL” del inferior izquierdo de la cabeza y realizar el mismo procedimiento que en el otro lado, obteniendo así el punto p0.

La dimensión buscada será la distancia en el eje de las X entre ambos puntos.

Esta dimensión tiene el problema de que en caso de que el segmento “SHBL” no exista, como sucede en los carriles “A69” y “A73” no se puede calcular. Este mismo problema se tiene en la dimensión calculada en

Cálculo de la altura de la zona de embrijaje, "RFH", por lo que esta dimensión no se calcula.

2.6. Cálculo del ancho de la cabeza para la norma AREMA, "HWArena"

El cálculo de esta dimensión se realizará de forma muy similar a la anterior. Una ilustración del cálculo de esta dimensión se puede observar en la Figura 16.

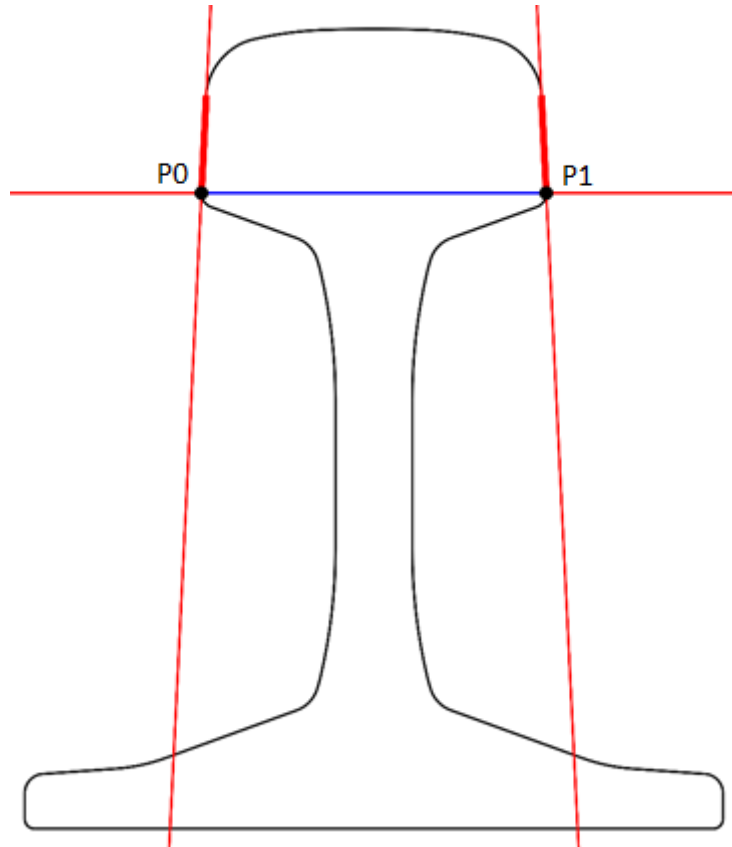


Figura 16: Ancho de la cabeza para la norma AREMA

Al igual que en el caso anterior para el cálculo de esta dimensión se va a necesitar la ayuda de la caché del carril que deberá haber sido calculada previamente.

Se deberá acceder al diccionario de dimensiones y extraer de él dos segmentos: los segmentos laterales de la cabeza, los cuales son "SHR" y "SHL", por los cuales se harán pasar sendas líneas.

La línea que se va a obtener de la caché del carril será una línea paralela al eje de las "x" que pasa, en esto caso, por la parte inferior de los dos segmentos antes comentados, esta línea se llamará "HeadWidthArenmaLine".

La dimensión buscada, "Head Width AREMA" será la distancia entre los puntos de corte de las líneas que pasan por los segmentos laterales de la cabeza y la línea de la caché "HeadWidthArenmaLine". Se obtiene el punto p0, que será el punto de corte de la línea que pasa por el lateral izquierdo de la cabeza y la línea de la caché. El punto p1 será en este caso el análogo para el lado derecho.

Igual que en el caso de la dimensión anterior, al usar la línea extraída de la caché esta dimensión es una dimensión relativa.

2.7. Cálculo del espesor del ala del patín, “FT_l” y “FT_r”

Existen diferencias en el cálculo de esta dimensión dependiendo del número de segmentos presentes en la parte superior del patín del carril. La Figura 17 muestra un patín del carril con tan sólo un segmento y la Figura 18 muestra un patín del carril con dos segmentos.

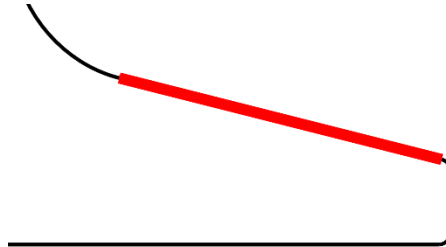


Figura 17: Un segmento en la parte superior del patín

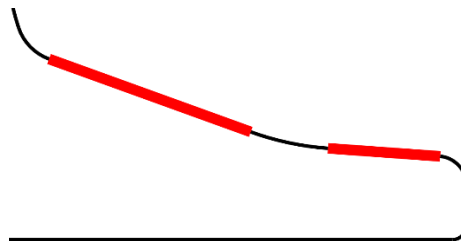


Figura 18: Dos segmentos en la parte superior del patín

Se deberá tener este hecho en cuenta a la hora de calcular el espesor del ala del patín y se podrá saber esto de manera sencilla mediante la variable booleana de la caché llamada “*TwoSegmentsInBaseTop*” la cual será cierta en caso de que el patín tenga dos segmentos en su parte superior, y falsa en caso contrario.

La Figura 19 muestra el cálculo del espesor del ala del patín para el lado izquierdo con un segmento tan sólo en la parte superior del pie.

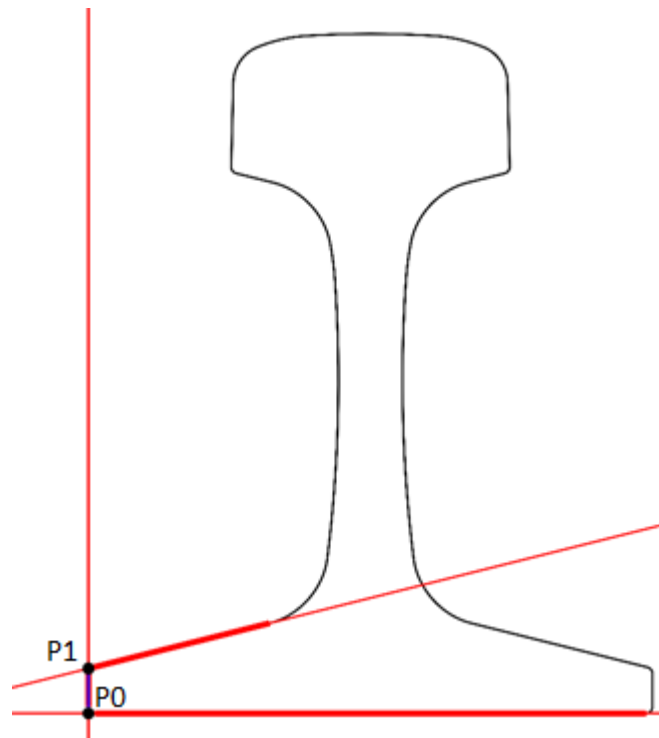


Figura 19: Espesor del ala del patín para el lado izquierdo

En este caso el valor de la variable booleana antes mencionada *“TwoSegmentsInBaseTop”* será falso, y se deberá coger por lo tanto del diccionario de primitivas el segmento de la base del patín *“SBB”*, el segmento de la parte izquierda del patín *“SBL”* y el segmento de la parte superior, que en este caso será *“SWBL”*.

Se harán pasar líneas por estos segmentos y el punto de corte entre la línea que pasa por *“SBL”* y la que pasa por *“SWBL”* será el punto *“p1”* y el punto de corte entre la línea que pasa por *“SBL”* y la que pasa por *“SBB”* nos dará el punto *“p0”*.

La dimensión buscada será la distancia entre ambos puntos de corte. Esta dimensión buscada será una dimensión relativa, ya que depende para su cálculo del valor obtenido del booleano de la caché llamado *“TwoSegmentInBaseTop”*.

Por otra parte si la parte superior del patín está formado por dos segmentos, como es el caso de la Figura 20, el valor de la variable booleana *TwoSegmentsInBaseTop*, será cierto, indicando así que el perfil cuenta con dos segmentos en la parte superior del patín del mismo.

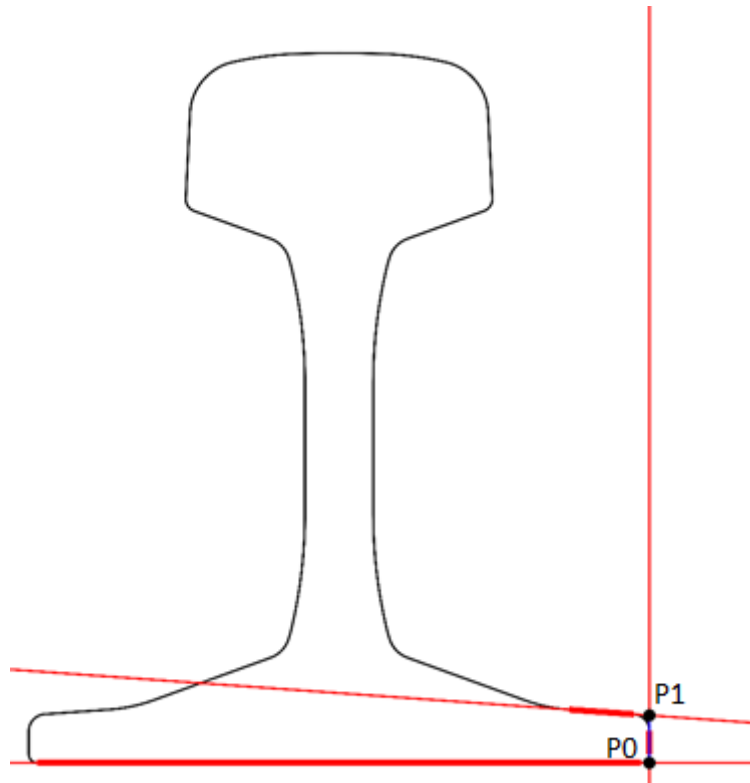


Figura 20: Espesor del ala del patín para el lado derecho

Se deberá coger por lo tanto del diccionario de primitivas el segmento de la base del patín *SBB*, el segmento de la parte derecha del patín *SBR* y el segmento de la parte superior que esté más cerca del lateral del patín, que en este caso será *SBTR* al contrario que en el caso anterior.

Se harán pasar líneas por estos segmentos y el punto de corte entre la línea que pasa por *SBR* y la que pasa por *SBTR* será el punto *p1* y el punto de corte entre la línea que pasa por *SBR* y la que pasa por *SBB* nos dará el punto *p0*.

La dimensión buscada será la distancia entre ambos puntos de corte, al igual que en el caso anterior, esta dimensión será una dimensión relativa, ya que depende para su cálculo del valor obtenido del booleano de la caché llamado *TwoSegmentInBaseTop*.

2.8. Cálculo de la asimetría del carril, “RAS_l” y “RAS_r”

2.8.1. Primer método (Implementado)

Esta asimetría se deberá calcular tanto para el lado izquierdo del carril como para su lado derecho.

La Figura 21 muestra el cálculo de la asimetría del carril para el lado izquierdo, realizándose el cálculo de forma análoga en el lado derecho del mismo.

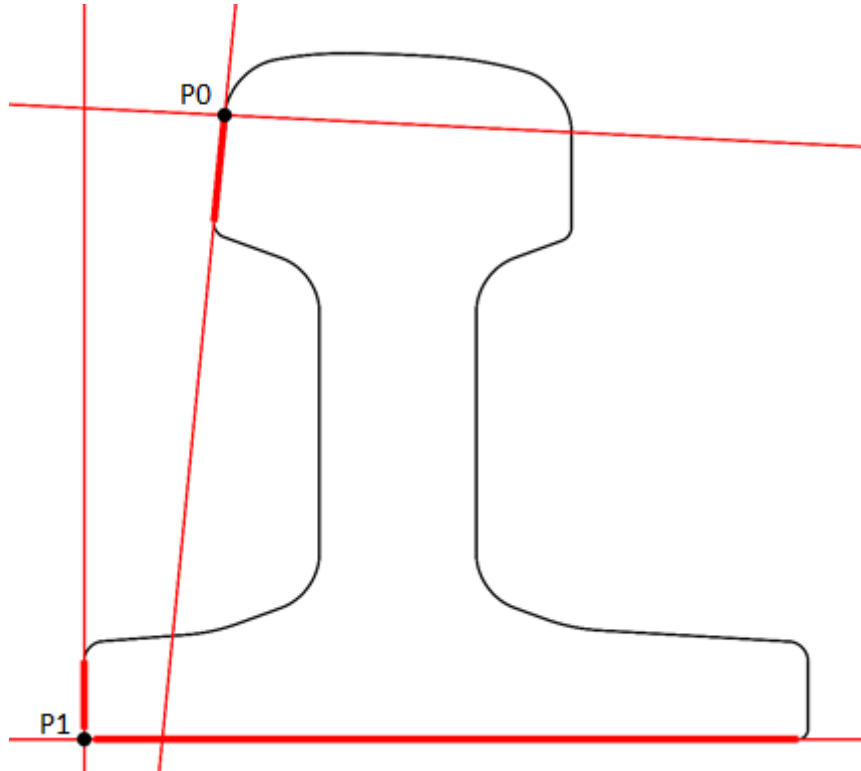


Figura 21: Asimetría izquierda del carril

Para el cálculo de esta dimensión se deberán tomar 3 segmentos del diccionario de primitivas del carril, el segmento de la base del patín o “SBB”, el segmento de la parte izquierda del patín del carril o “SBL” y el segmento de la parte izquierda de la cabeza del carril o “SHL”.

Se deberá obtener también una línea de referencia de la cache del carril, esta línea será la usada en el cálculo del ancho de la cabeza del carril, visto en la sección 2.5.1, Primer método (Implementado) es decir, la línea “HeadWidthLine”.

Se deberán hacer pasar líneas por los segmentos obtenidos antes, es decir por “SBB”, “SBL” y “SHL”, la intersección entre las dos primeras, “SBB” y “SBL”, proporcionará el punto “p1” y la intersección entre las dos segundas, “SBL” y “SHL”, proporcionarán el punto “p1”.

En este caso, y a diferencia de todos los anteriores, la dimensión buscada no será la distancia entre los puntos, si no que será la distancia en el eje de las “x”, es decir, el valor absoluto de la diferencia de los valores “x” de ambos puntos.

Para el lateral derecho, se deberán tomar, los segmentos “SBB” (igual que en este caso), “SBR” y “SHR” y seguir un procedimiento análogo al descrito previamente. Esta dimensión será una dimensión relativa, ya que utiliza elementos de la caché para llevar a cabo el cálculo de la misma.

2.9. Cálculo de la asimetría del carril de Arcelor, “RAS_Arcelor”

Esta asimetría a diferencia de la sección anterior, lo que busca es medir la diferencia entre los centros del arco de rodadura de la cabeza de los carriles (la parte superior de los mismos), respecto al centro de la base del patín (la parte inferior de los carriles).

La Figura 22 muestra el cálculo de la asimetría del carril de Arcelor.

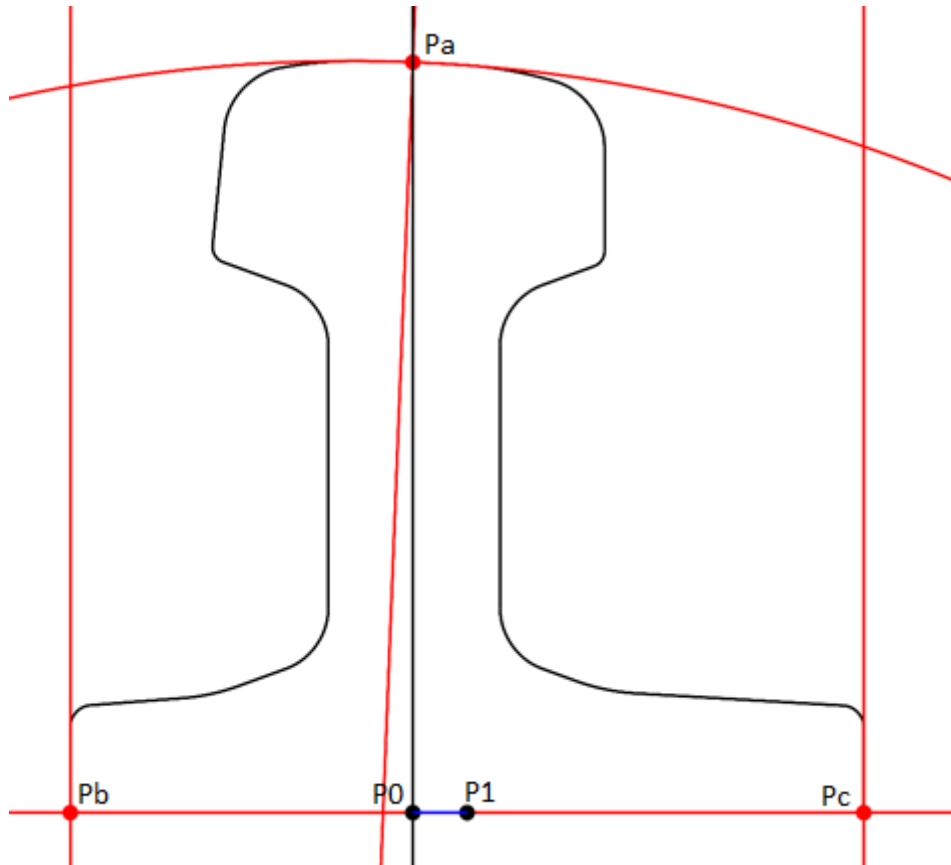


Figura 22: Asimetría de Arcelor del carril

Esta dimensión se puede calcular en tres partes:

- Cálculo de la asimetría del arco de rodadura de la cabeza y proyectar este punto sobre la base del patín.
- Cálculo de la asimetría de la base del patín.
- Diferencia entre estos dos puntos.

Para el cálculo de la asimetría de la cabeza del carril, se deberá extraer del diccionario de dimensiones el arco de rodadura de la cabeza, es decir "AHT", y hacer pasar un círculo por este arco.

Se deberá extraer la línea llamada "R3Axis" de la caché del carril, y hacer que el círculo y la línea intersecten, lo cual generará dos puntos, y se almacenará el punto que este más arriba de ambos, este puede verse en la Figura 22, como punto "Pa".

Ahora se debe proyectar este punto sobre la base del patín, para ello se obtendrá del diccionario dicha base, o "SBB", por la cual se hará pasar una línea.

Se creará una línea paralela al eje de las "y" que pasará por el punto "Pa", y se hará que esta línea intersecte con la que pasa por "SBB", obteniendo así el primer punto, "p0".

Para el cálculo de la asimetría de la base del patín se debe extraer también, y hacer pasar líneas por ellos, los segmentos que están en los laterales de la base del patín, estos segmentos son "SBR" y "SBL" para el lado derecho y lado izquierdo respectivamente.

Se deberá hacer que las líneas que pasan por "SBR" y por "SBL" intersecten con la que pasa por "SBB" (la base del patín), obteniendo dos puntos de corte, "Pb" para el lado izquierdo y "Pc" para el lado derecho. Los puntos "Pb" y "Pc" definen el segmento de la base.

Una vez se tiene este segmento, se busca su punto medio obteniendo así el segundo punto, "p1".

La dimensión buscada será la distancia existente entre estos dos puntos de corte, "p0" y "p1", esta dimensión, al utilizar para llevar a cabo el cálculo, elementos de la caché, es una dimensión relativa.

2.10. Cálculo del ancho del alma del carril, “WT”

Para el cálculo de esta dimensión se deberá tener en cuenta si el carril que se está midiendo tiene dos arcos o dos segmentos en el alma, tal y como se puede observar en la Figura 23 y en la Figura 24. Esto se podrá saber mediante una variable booleana que está almacenada en la cache del carril, esta variable es “*LinearWeb*”, que en caso de ser cierta, el alma del carril estará compuesta por dos segmentos y en caso contrario, por dos arcos.

En caso de que el carril tenga dos arcos en la parte central del alma se estará en el caso que se muestra en la Figura 23.

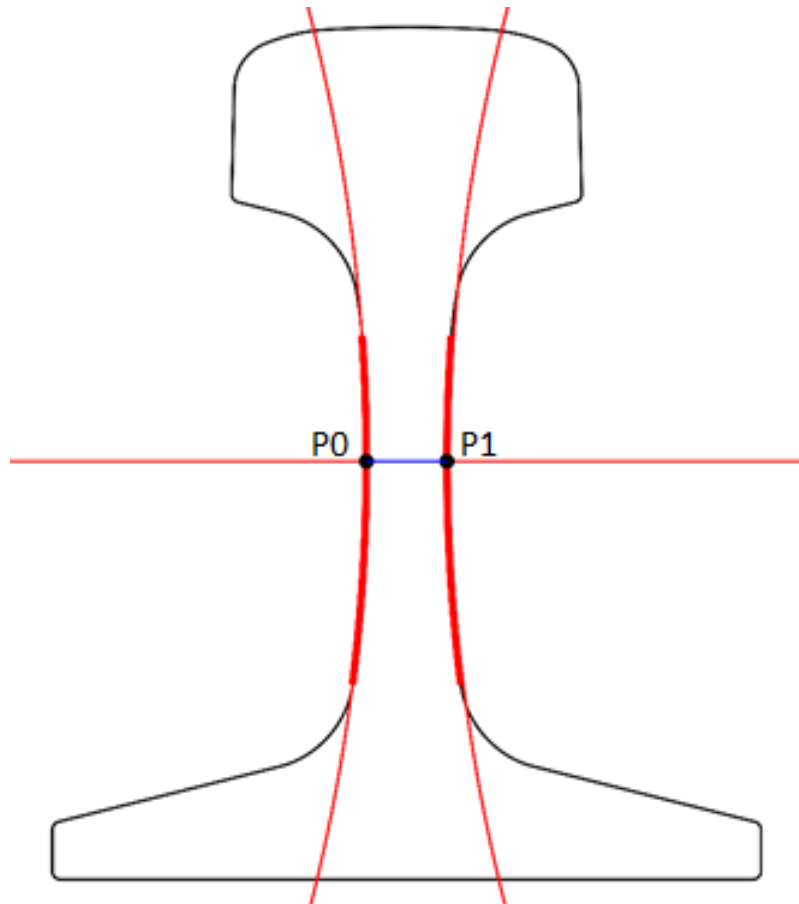


Figura 23: Anchura del alma del carril con dos arcos

En este caso se deberá extraer del diccionario de primitivas del carril los arcos del alma, los cuales son, “*AWL*” y “*AWR*”, y posteriormente obtener el círculo que los contiene.

Se deberá extraer también de la cache, la línea de referencia que pasará por el punto más estrecho del alma, o “*WebThicknessLine*”.

La dimensión buscada en este caso, “*WT*”, será la distancia entre los dos puntos de intersección que serán, el corte de la “*WebThicknessLine*” con las dos circunferencias de cada lado del alma del carril. El punto de corte para el lado izquierdo del alma define el punto “*p0*” y el punto de corte análogo del lado derecho define el punto “*p1*”.

El uso de esta línea la “*WebThicknessLine*” hace que esta dimensión será relativa.

Por otra parte, en caso de que el perfil del carril tenga como parte central del alma dos segmentos paralelos, se tendrá el caso que se puede observar en la Figura 24.

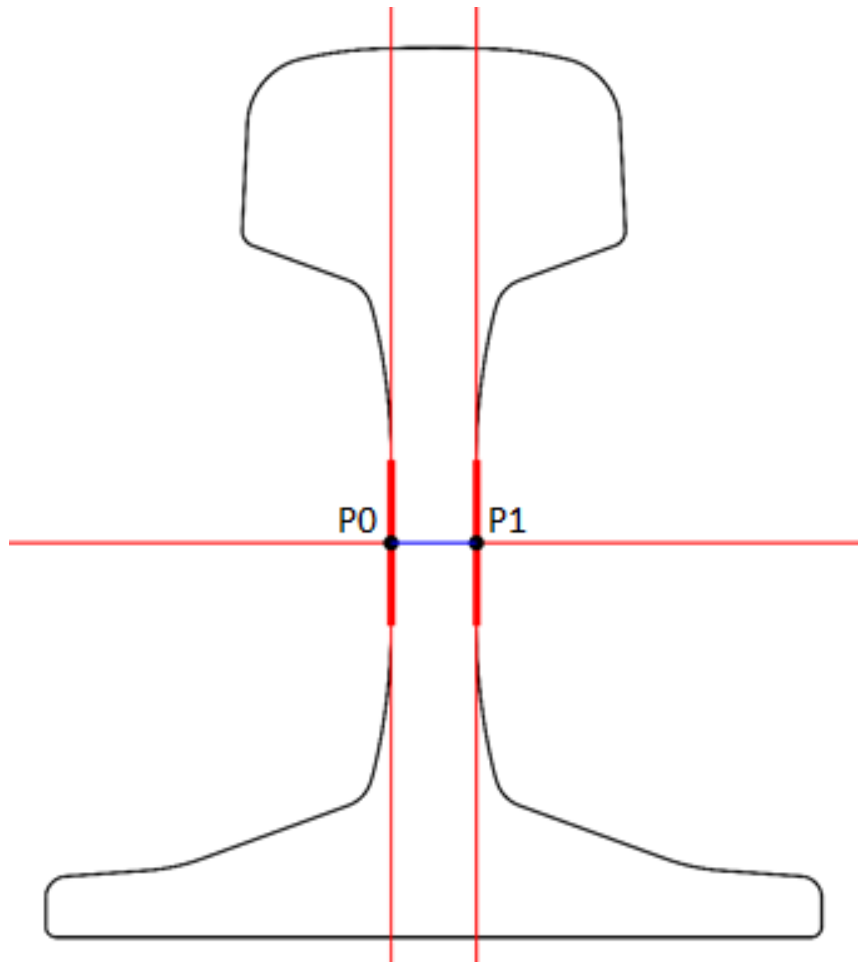


Figura 24: Anchura del alma del carril con dos segmentos

En este caso se llevará a cabo un método similar al explicado antes, y que consiste en extraer del diccionario de primitivas del carril los segmentos del alma, que serán en este caso, “SWL” y “SWR”, y posteriormente obtener las líneas que los contienen.

Se deberá extraer la misma línea de referencia que en el caso anterior, es decir “WebThicknessLine”.

La dimensión buscada en este caso, “WT”, será la distancia entre los dos puntos de intersección que serán, el corte de la “WebThicknessLine” con las dos líneas de cada lado del alma del carril. El punto de corte para el lado izquierdo del alma define el punto “p0” y el punto de corte análogo del lado derecho define el punto “p1”.

2.11. Cálculo de los radios de la cabeza del carril, “HR”

Este caso es ligeramente diferente al resto de dimensiones que se han calculado anteriormente, ya que con este método que se explicará a continuación se pueden calcular todos los radios que conforman la cabeza del carril y que son los siguientes:

- “HR3”, *Head radius 3*, este será el arco central de la cabeza, o arco de rodadura.
- “HR2_r”, *Head radius 2 right*, este será el arco situado a la derecha del arco central de la cabeza “HR3”.
- “HR2_l”, *Head radius 2 left*, este será el arco situado a la izquierda del arco central de la cabeza “HR3”.
- “HR1_r”, *Head radius 1 right*, este será el arco situado a la derecha del arco “HR2_r” de la cabeza, este arco no tiene por qué estar presente en todos los perfiles.
- “HR1_l”, *Head radius 1 left*, este será el arco situado a la izquierda del arco “HR2_l” de la cabeza, este arco no tiene por qué estar presente en todos los perfiles.
- “HR0_r”, *Head radius 0 right*, este será el arco situado a la derecha del arco “HR1_r” de la cabeza, este arco no tiene por qué estar presente en todos los perfiles.
- “HR0_l”, *Head radius 0 left*, este será el arco situado a la izquierda del arco “HR1_l” de la cabeza, este arco no tiene por qué estar presente en todos los perfiles.

En caso de que alguno de los radios anteriores no existan en el perfil del carril que se está midiendo actualmente, se seguirá el mismo criterio que se aplica si no se puede medir alguna dimensión, es decir, asignarle el valor nulo de la clase “*Dimension*”.

Cualquiera de estas dimensiones de los radios de la cabeza, son dimensiones relativas, ya que utilizan elementos de la caché.

2.11.1. Primer método

Este método simplemente extrae del diccionario cada uno de los arcos que se van a medir y coge el radio de cada uno de ellos como valor de la dimensión seleccionada.

Sin embargo este método tiene problemas cuando, en vez de realizarse sobre el modelo se realiza sobre una nube de puntos que ha sido extraída directamente de las cámaras mediante triangulación láser, porque extraerá unos arcos que habrán sido aproximados de una nube de puntos y por lo tanto, tendrán diferente radio, lo cual aumenta el error. Esto se puede corregir mediante el uso del siguiente método.

2.11.2. Segundo método (Implementado)

En la Figura 25 y Figura 26 se muestra el cálculo de esta dimensión, con este segundo método, para un par de arcos de la cabeza de un carril, el arco central o “HR3” y el arco que está a la izquierda de este “HR2_l”, respectivamente.

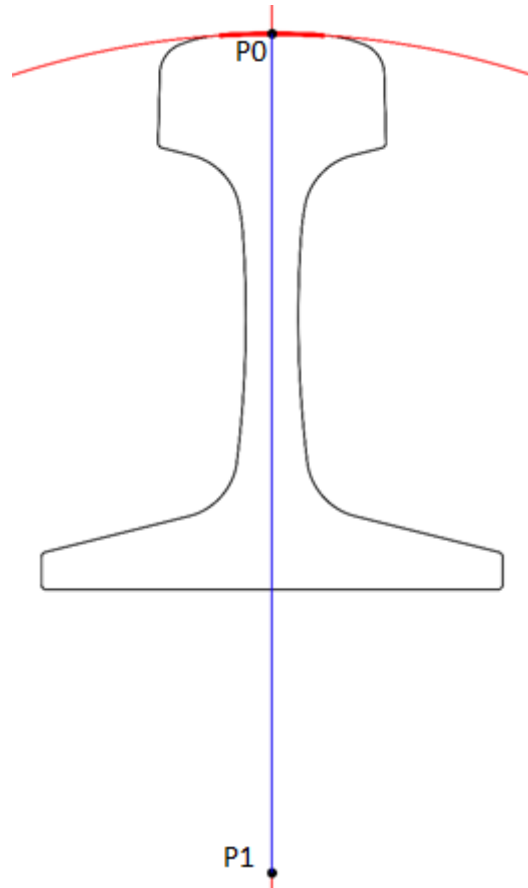


Figura 25: Radio 3 de la cabeza, “HR3”

Para el cálculo de esta dimensión se deberá extraer del diccionario de primitivas el arco llamado “AHT” y hacer pasar por él una circunferencia.

Se deberá obtener también de la cache la línea que une el punto medio del arco con el centro del mismo, esta línea se llamará “R3Axis”, se deberá también obtener un punto de esta cache, el cual será el centro de este arco, este punto se llamará “R3Center”, y estará contenido dentro de la línea que se obtuvo de la cache, este punto será el punto “p1” mostrado en la Figura 25.

Una vez se tiene todo lo anterior, se deberán calcular los puntos de corte que se generan entre la línea que se ha extraído de la cache y la circunferencia que pasa por el arco “AHT” y se escogerá el superior de ambos puntos, obteniendo así el punto “p0”.

La dimensión buscada será la distancia entre este punto de intersección, “p0” y el punto extraído de la cache “R3Center” o “p1”.

A continuación se detalla el proceso de cálculo de la dimensión “HR2_I” que será análogo al explicado antes y será similar para el resto de radios de los arcos de la cabeza del carril.

La Figura 26 muestra el cálculo de la dimensión “HR2_I”.

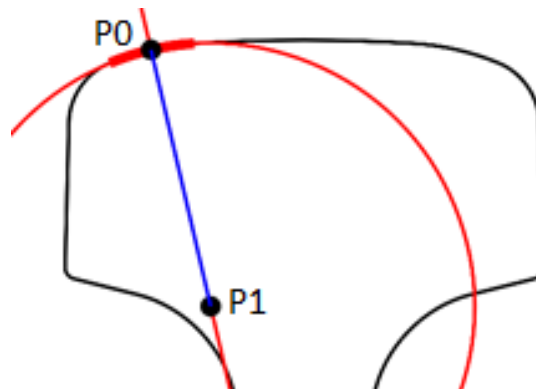


Figura 26: Radio 2 izquierda de la cabeza, “HR2_I”

Para el cálculo de esta dimensión se deberá extraer del diccionario de primitivas el arco llamado “AHTL1” y hacer pasar por él una circunferencia.

Se deberá obtener también de la cache la línea que une el punto medio del arco con el centro del mismo, esta línea se llamará “R2LAxis”, se deberá también obtener un punto de esta cache, el cual será el centro de este arco, este punto se llamará “R2LCenter” (o “p1” en la Figura 26), y estará contenido dentro de la línea que se obtuvo de la cache.

Una vez se tiene todo lo anterior, se deberán calcular los puntos de corte que se generan entre la línea que se ha sacado de la cache y la circunferencia que pasa por el arco “AHTL1” y se escogerá el superior de ambos puntos, obteniendo así el punto “p1”.

La dimensión buscada será la distancia entre este punto de intersección, “p0” y el punto extraído de la cache “R2LAxis” o “p1”.

2.12. Cálculo de la concavidad del pie del patín, “FC”

La concavidad de la base del patín o “FC” se define como el punto más alto de la curvatura que podría llegar a existir por errores o problemas de fabricación en la base de los patines de los carriles, la Figura 27, muestra un patín en cuya base existe una concavidad, exagerada para lograr una mejor comprensión de la figura.

Para el cálculo de esta dimensión se debe obtener del diccionario de dimensiones la base del patín del carril o “SBB”. Este segmento deberá ser dividido en subsegmentos más pequeños, en este caso se ha dividido en 10 segmentos.

Una vez se tenga esta división en segmentos, se crearán, con tan sólo estos, un modelo de carril (RailModel), el cual contendrá por lo tanto, sólo la base, y se aproximará la nube de puntos que habrá sido extraída de las mediciones realizadas con las cámaras, y se posteriormente, se llevará a cabo un fitting a cada uno de estos segmentos, en la Figura 27, se pueden observar como las líneas finas de color negro, son una aproximación a cada uno de los segmentos comprendidos en los rectángulos.

Por último, y una vez se tengan las líneas aproximadas, se buscará el punto medio de cada subsegmento que conforma la base y se buscará el punto que esté en la vertical, de la línea que aproximan los puntos que pasan por la zona del segmento, y se calculará la distancia entre estos puntos.

Una vez se tengan todas las distancias, la concavidad del pie será la mayor de todas las distancias. Esta dimensión es absoluta, ya que no utiliza ningún elemento de los almacenados en la caché del carril.

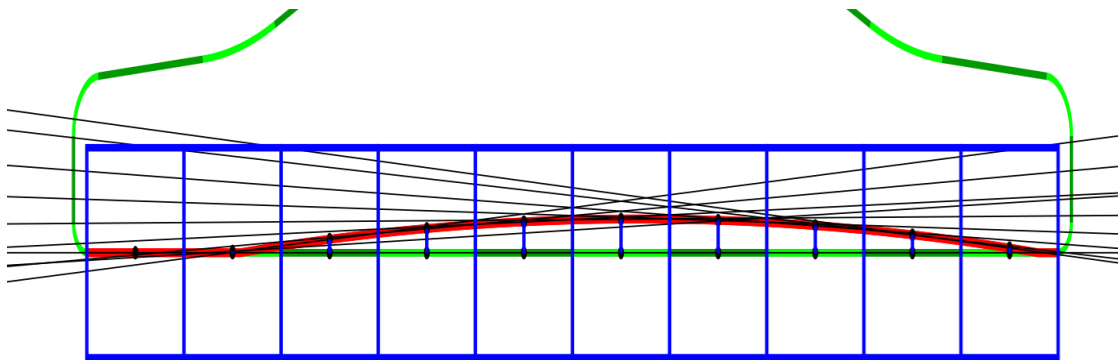


Figura 27: Concavidad de la base del patín

2.13. Cálculo de la torsión del carril, “Twist”

El cálculo de esta dimensión es diferente a todas las anteriores, ya que no se calcula tan sólo sobre el perfil que se está midiendo actualmente, sino que debe tener en cuenta uno o más perfiles medidos anteriormente.

Esta dimensión representa el grado de torsión presente en el que el carril a lo largo de su longitud y por lo tanto, ésta se debe medir cada cierta cantidad de perfiles.

Para realizar la medición de los carriles, se va a realizar un giro y una translación de la nube de puntos del perfil extraído mediante triangulación laser de las cámaras, hasta que esta nube de puntos se adecue al modelo que se tiene de referencia de este carril. Esta translación y esta rotación generarán una serie de parámetros y en este caso nos interesa el ángulo de rotación del perfil.

Por lo tanto, para realizar la estimación del giro se debería tomar el giro que se ha realizado en el primer perfil medido e ir comparándolo con el resto de mediciones para comprobar si se realiza un mayor o menor giro del perfil, sabiendo así los grados de torsión que se presentan en el perfil del carril completo.

Este método puede presentar un problema cuando se realiza fuera del laboratorio, en un escenario real, ya que habría que tener en cuenta la vibración del propio carril al pasar por el sistema de medición.