



ESCUELA UNIVERSITARIA  
DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA

ESTUDIO DE NUEVOS DISEÑOS  
PARA MEJORAR LOS SISTEMAS  
DE PROTECCIÓN PARA MOTORISTAS

MEMORIA

Realizado por:  
ENRIQUE GÓMEZ CISNEROS  
Y  
M<sup>a</sup> JESÚS ACÍN CAUSAPÉ

Dirigido por:  
RAMÓN MIRALBÉS BUIL

Septiembre 2011

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y CONTENIDO

1.1 . Introducción	7
1.2. Contenido	8

### CAPÍTULO II : SPMs EXISTENTES

2.1. Antecedentes	11
2.2. Estado del arte	14

### CAPÍTULO III : OBJETIVOS

3.1. Objetivos del proyecto	19
-----------------------------	----

### CAPÍTULO IV : ACCIONES DESARROLLADAS

4.1. Metodología	22
4.2. Estudio del modelo actual	24
4.3. Estudio de nuevas propuestas	41
4.3.1.1    Modelo 1	41
4.3.1.2    Modelo 2	48
4.3.1.3    Modelo 3	55
4.3.1.4    Modelo 4	62

## CAPÍTULO V : CONCLUSIONES

5.1. Comparación de resultados	72
5.2. Limitaciones y futuras líneas de investigación	74

## CAPÍTULO VI : BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía	76
-------------------	----

## CAPITULO VII : ANEXOS

7.1. Anexo I: Norma UNE 135 900	78
7.2. Anexo II: Modificación orden circular	84
7.3. Anexo III: Planos utilizados para el diseño de la bionda actual	93
7.4. Anexo IV: Modelo simulador de cabeza	95
7.5. Anexo V: Elementos Finitos	98
7.6. Anexo VI: Materiales elastoplásticos	101

## ÍNDICE ILUSTRACIONES

1. Posibles consecuencias en una caída	14
2. Elemento de protección puntual	15
3. Elemento de protección continua	15
4. Sistemas de protección para motoristas	16
5. Perfil bionda superior	24
6. Creación de la geometría	25
7. Geometría completa	26
8. Geometría del separador	26
9. Geometría tierra	27
10. Mallado	28
11. Mallado del separador	29
12. Equivalencia de nodos	29
13. Verificación	30
14. Verificación del separador	30
15. Vista final	31
16. Malla tierra	32
17. Vista frontal del conjunto	33
18. Extremo derecho con condiciones de contorno	34
19. Condiciones de contorno	35
20. Movimiento cabeza	35
21. Dirección, ángulo y velocidad	36
22. Impacto en vano	37
23. Tensión máxima	37
24. Detalle tensión máxima	38
25. Grafica aceleraciones	38
26. Impacto poste	39
27. Tensión máxima	39
28. Grafica aceleraciones	40
29. Bionda inferior nuevo modelo	41
30. Unión	42

31. Verificación	43
32. Impacto centro vano	44
33. Tensión máxima	44
34. Grafica aceleraciones	45
35. Impacto dirección poste	46
36. Tensión máxima	46
37. Grafica aceleraciones	47
38. Modelo 2, bionda plana	48
39. Mallado modelo plano	49
40. Verificación	49
41. Impacto en vano	51
42. Tensión máxima	51
43. Gráfica aceleraciones	52
44. Impacto en poste	53
45. Tensión máxima	53
46. Gráfica aceleraciones	54
47. Modelo 3, bionda S	55
48. Mallado y perfil	56
49. Verificación	57
50. Impacto en vano	58
51. Tensión máxima	58
52. Grafica aceleraciones	59
53. Impacto en poste	60
54. Tensión máxima	60
55. Grafica aceleraciones	61
56. Modelo 4, bionda C inversa	62
57. Unión	63
58. Verificar	63
59. Impacto centro vano	65
60. Tensión máxima	65
61. Detalle tensión máxima	66
62. Detalle tensión máxima en poste	66

63. Grafica aceleraciones	67
64. Impacto en poste	68
65. Tensión máxima	68
66. Detalle tensión máxima	69
67. Detalle tensión máxima	69
68. Grafica aceleraciones	70
69. SPM con resultados positivos	73
70. Lanzamiento 1	78
71. Lanzamiento 2	79
72. Lanzamiento 3	79
73. Índices biomecánicos	81
74. Valla superior	93
75. Valla inferior(SPM)	93
76. Separador y unión	94
77. Poste	94
78. Impactadores	95
79. Impactador cabeza	96
80. MEF	98

## Capítulo I

### INTRODUCCIÓN

## 1.1. INTRODUCCIÓN.

El objeto de este proyecto es el diseño de nuevos modelos que mejoren los nuevos sistemas de protección de motoristas colocados sobre las barreras de seguridad en las carreteras.

Las barreras de seguridad han sido diseñadas principalmente para evitar y reducir el daño provocado en accidentes y salidas de calzada de automóviles. Estos sistemas han ido mejorando con los años, tanto con respecto a los automóviles, como con respecto a los motoristas y ciclistas, añadiendo una segunda barrera inferior, aunque queda claro que es necesario seguir buscando nuevos modelos, mejorando los resultados con respecto a estos últimos; ya que son los mayores perjudicados.

Como es conocido, son numerosos los grupos, especialmente motoristas, que han puesto de manifiesto su opinión respecto de estos sistemas, los cuales en muchos casos, en lugar de salvar vidas, los quitan o provocan daños importantes e irreversibles. Por ello, es necesario buscar nuevas soluciones, que realmente cumplan con su propósito, tanto en accidentes de coche, como sobretodo en el caso de motoristas.

Todo ello ha motivado el presente proyecto fin de carrera en el que se diseñan y analizan nuevos sistemas de protección de motoristas (SPM), partiendo de los modelos actuales con la disminución de los daños en motoristas.

## 1.2. CONTENIDO

El presente proyecto se ha dividido en siete capítulos, en los que se describe el estado del arte de los quitamiedos y de los SPMs y se analiza numéricamente el diseño más habitual de SPM (BMSNA 2/120b); con ello se obtienen los niveles de seguridad de los actuales SPMs que servirán para compararlos con los nuevos diseños propuestos.

Tras ello se han diseñado diversos SPMs que han sido analizados numéricamente utilizando el método de los elementos finitos y se han comparado los resultados obtenidos con los valores de referencia de los SPMs comerciales; en algunos casos se han obtenido resultados más favorables que implican una reducción en la severidad de las lesiones sobre el motorista, por lo que dichos diseños supondrían una mejora sobre los diseños ya existentes.

La estructuración del proyecto queda definida de la siguiente forma:

### Capítulo I : Introducción.

En este apartado se realiza una breve introducción sobre los sistemas de protección, así como una aclaración de la estructura que vamos a seguir.

### Capítulo II : SPMs existentes.

En este capítulo se expone la evolución que han ido sufriendo estos dispositivos, tanto en temas de normativas como los diferentes tipos que podemos encontrar.

### Capítulo III : Objetivos.

En éste, se presentan los objetivos que se pretenden conseguir mediante la realización de este proyecto.

#### Capítulo IV : Acciones desarrolladas.

En este apartado, se explican detalladamente los pasos seguidos e instrumentos utilizados para el estudio y análisis de los diferentes modelos, tanto en el actual como en las nuevas propuestas.

#### Capítulo V : Conclusiones.

Este capítulo incluye una comparativa de los resultados obtenidos en los diferentes análisis, así como las limitaciones que se han encontrado y posibles líneas de investigación para seguir mejorando este tipo de elementos.

#### Capítulo VI : Bibliografía.

Este penúltimo apartado recoge las diferentes fuentes de información utilizadas a lo largo de la realización de este proyecto.

#### Capítulo VII : Anexos.

Por ultimo, este capítulo recoge información adicional, a tener en cuenta relacionada con el estudio de los sistemas de protección para motoristas.

## Capítulo II

### SPMs EXISTENTES

## 2.1. ANTECEDENTES

Inicialmente las barreras de seguridad se diseñaban y analizaban para ofrecer unos niveles óptimos, en lo que se refiere a salidas de calzada, de seguridad en accidentes donde estaban implicados vehículos de cuatro ruedas o más (automóviles, camiones, autobuses, etc.), pero no se contemplaba la protección de los motoristas y ciclistas.

Este problema no era exclusivo de España, por lo que otros países como Alemania (1990), Francia (1998) y Portugal (2001), desarrollaron e implantaron normativas referentes a estos sistemas de protección para motoristas, con anterioridad.

Actualmente, España es el país más avanzado en cuanto a normativa, regularizaciones e implantación de estos sistemas con la norma UNE 135900:

UNE 135900-1:2008: *Evaluación del comportamiento de los sistemas para protección de motociclistas en las barreras de seguridad y petriles. Parte 1: Terminología y procedimientos de ensayo.*

UNE 135900-2:2008: *Evaluación del comportamiento de los sistemas para protección de motociclistas en las barreras de seguridad y petriles. Parte 2: Clases de comportamiento y criterios de aceptación.*

Los ensayos y criterios de esta norma, se describen en detalle en el anexo I, de este mismo documento.

Los procedimientos de aprobación técnica u homologación de SPMs, se realizan conforme a la UNE 135900 por la administración de carreteras.

Por ultimo aparecen algunos criterios de implantación de SPM, como son la orden circular 18bis/2008 del ministerio de fomento que han sido recogidos en el anexo II.

Durante los últimos diez años se han desarrollado numerosas actividades como concentraciones y protestas que han generado una respuesta por parte de la administración en forma de nuevas leyes y reformas:

2001: Colectivos de motoristas interponen demandas solicitando protección para ellos frente a las barreras metálicas.

2002: La administración crea un grupo de trabajo para elaborar una norma que evalúe el comportamiento de los motoristas frente a las barreras.

2003: En septiembre se publica el informe de la norma UNE 135 900

2004: Se publica la Orden Circular 18/2004, sobre criterios de implantación de los SPMs y la obligación de instalar sistemas continuos que cumplan la norma UNE 135900.

La dirección general de carreteras junto con entidades privadas, realizan numerosos ensayos en laboratorio acreditado que permiten examinar, poner a punto y mejorar el informe de norma UNE.

2005: Se publica la norma UNE 135900.

2008: Se revisa la norma, y se introduce una nueva velocidad de impacto (70 Km/h) y medición de momentos y fuerzas en tórax.

Se instalaron más de 500000 metros de SPMs.

Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

2009: Se publica la orden circular 28/2009 sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas.

Algunas comunidades autónomas como la comunidad foral de Navarra o Castilla y León también tienen sus propios criterios de implantación.

## 2.2. ESTADO DEL ARTE

El problema que se presenta con los motoristas al caer es el siguiente: Generalmente cuando el motorista pierde el control y cae a la carretera, la moto y el mismo siguen trayectorias distintas. La salida de la calzada del motorista puede dar lugar a dos casos: que este choque directamente contra la barrera o que pase por debajo de la misma, impactando con algún objeto o cayendo por algún desnivel. Para evitar todo ello se estudian diferentes modelos que puedan evitar estas situaciones.

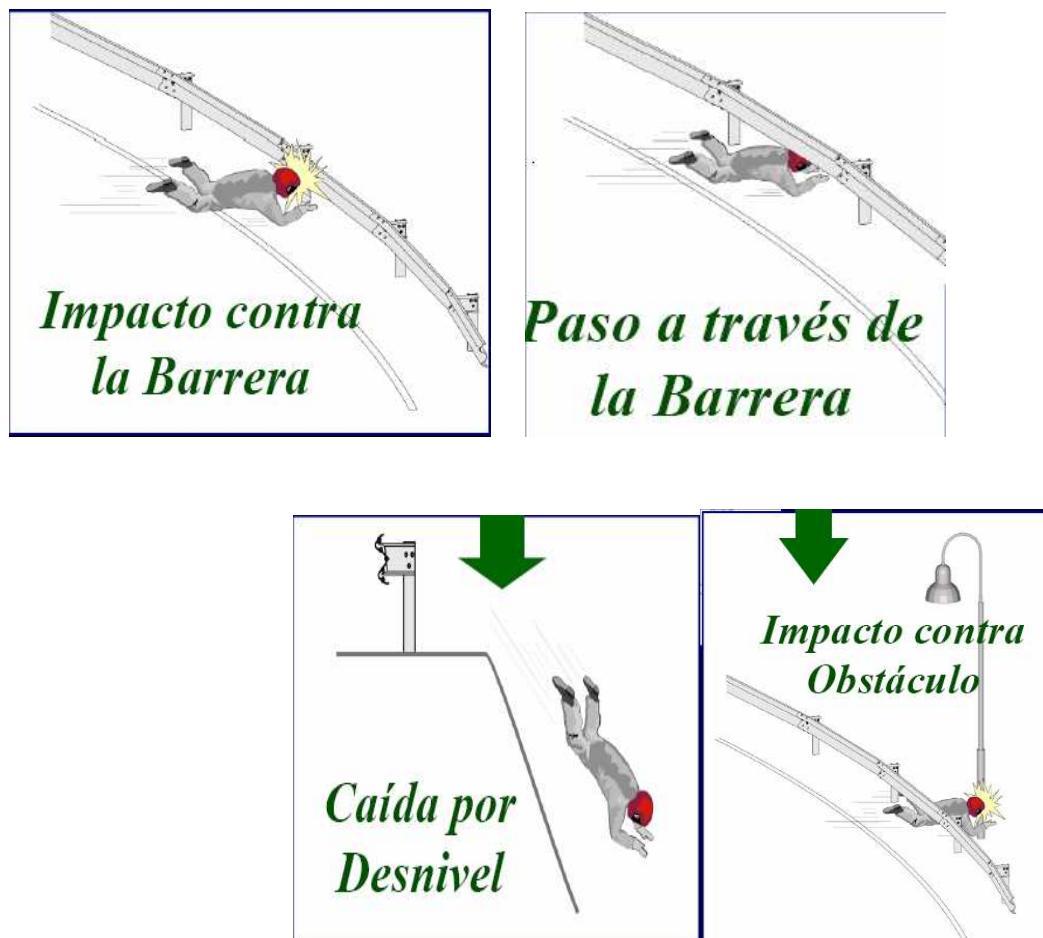


Figura 1. Posibles consecuencias en una caída.

Actualmente se pueden encontrar diversos sistemas de protección, de diferentes formas, materiales... No es de extrañar, ya que se podría definir los sistemas de protección para motoristas en la barrera metálica como cualquier objeto situado en la propia barrera o su entorno, cuya finalidad es la de reducir las consecuencias sobre el cuerpo del motorista ya sea por el impacto contra esta o por la salida de la calzada.

Por todo esto existen dos tipos de protección.



- Protecciones puntuales: dispositivos colocados alrededor del poste que sujet a la barrera; únicamente se consigue disminuir la fuerza del impacto entre el motorista y el poste. Actualmente este sistema está en desuso y no se instalan este tipo de sistemas ya que los niveles de protección son bajos.

Figura 2. Elemento protección puntual

Figura 3. Elemento de protección continua

- Protecciones continuas: sistemas dispuestos de manera continua, a lo largo de la barrera, que evitan que el motorista atraviese la barrera. No solo protegen al motorista del impacto directo con el poste, sino que



como se ha dicho impiden la salida de la calzada, evitando tanto caídas por desniveles, como la invasión del sentido contrario en el caso de las barreras centrales de autovías y autopistas.

Los que realmente interesan, son las protecciones continuas; por ello los nuevos diseños se centrarán en este tipo.

Se pueden encontrar diferentes tipos y diseños de SPM, pero recomendados por el Gobierno, y recogidos en la orden circular 18bis/2008 son los siguientes:

DENOMINACIÓN	NOMBRE COMERCIAL	FICHAS	NIVEL DE CONTENCIÓN	ÍNDICE DE SEVERIDAD
<b>SISTEMAS CONTINUOS</b>				
BMSNA2/120b		A.2.13/1 a A.2.13/4	N2	I
BMASNA2/120c	SPM-ES2	A.2.18/1 a A.2.18/4	N2	I
BMSNA4/120d	BASYC	A.2.16/1 a A.2.16/5	N2	II
BMSNA4/120c	SPM-ES4	A.2.15/1 a A.2.15/4	N2	I
BMSNA4/120f	SCCM	A.2.19/1 a A.2.19/4	N2	II
BMSNA4/120g	SPM-ES4TUB	A.2.20/1 a A.2.20/4	N2	I
<b>SISTEMAS PUNTUALES</b>				
BMSNA4/120e	SPM-AE01	A.2.17/1 a A.2.17/3	N2	II

Figura 4. Sistemas de protección para motoristas.

En el anexo II se puede ver los detalles que contempla esta orden circular.

El índice de severidad son los niveles de severidad admisibles establecidos por el Gobierno: el nivel I es más restrictivo, máximas garantías de protección frente al impacto contra el SPM; el nivel II dispone de un nivel inferior al nivel I, y aunque garantice la vida del motorista en las condiciones de ensayo, podría derivar en un resultado lesivo más severo.

Para clasificar un sistema para protección de motociclistas como nivel I todos los valores de los índices de los tres ensayos deben ser “nivel I”, si alguno no cumple como nivel I pero todos cumplen como nivel II se considerara al sistema para protección de motociclistas como nivel II. En el caso de que alguno de los valores de los índices en los tres ensayos no cumpliera como nivel II se considerara inadmissible dicho sistema de protección.

## Capítulo III

### OBJETIVOS

### 3.1. OBJETIVO

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de nuevos SPMs, que cumpliendo con la norma existente en nuestro país, proporcionen unos niveles de seguridad mejores que los de los actuales quitamiedos con lo que se suponen que se reducirán los posibles daños que se puedan producir en un accidente.

Para ello se han desarrollado nuevos SPMs siguiendo las siguientes estrategias:

- Identificar los diseños más apropiados para mejorar la seguridad de los motoristas.
- Reducir al máximo todas las aristas cortantes, para evitar cortes y en caso de fuerte impacto, la amputación.
- Reducir las fuerzas del impacto que sufriría el motorista en caso de choque; intentando que sea la barrera la que absorba el máximo posible de energía y no el propio motorista. En este caso, se medirá la aceleración que sufre el motorista en “g's”, por lo tanto el principal objetivo es conseguir disminuir cuanto sea posible dicho valor.

Además, si se consigue reducir también la deformación que sufre la barrera, disminuirá la posibilidad de que se produzca una rotura en ésta, por excesiva deformación.

Para todo ello, también se tendrán en cuenta otros factores, como pueden ser, la viabilidad de fabricación de dichos elementos, o el coste que podría suponer, ya que se puede intuir que cuanto más complicada sea la

geometría del diseño, supondrá una mayor dificultad para a la hora de su fabricación, lo que incrementará el coste del producto.

En este proyecto se va a estudiar, en primer lugar, el modelo ya existente (el BMSNA 2/120b), y posteriormente se realizaran cuatro nuevos modelos, los cuales se analizarán de la misma manera que el actual; como se explica en el apartado siguiente.

El ensayo a realizar para la obtención de datos, y por tanto poder hacer una comparativa, va a ser el lanzamiento de un simulador de una cabeza humana con un acelerómetro en su interior contra los diferentes modelos a estudiar. Este ensayo se repetirá en dos ocasiones, una simulando el choque contra el centro del vano y otra simulando este contra el poste como especifica la normativa UNE 135 900. Esta es la normativa referente a estos ensayos y se encuentra detallada en el Anexo I, al final de este documento. Finalmente, los datos obtenidos de los lanzamientos anteriores, que se van a analizar son las aceleraciones medidas por el acelerómetro, que simulan las que sufriría en esos casos la cabeza de un motorista.

## Capítulo IV

### ACCIONES DESARROLLADAS

#### 4.1. METODOLOGÍA

Primero, definiremos lo que se conoce como un sistema de protección o contención de motoristas:

*Se define como, todo dispositivo que, instalado en el margen o la mediana de la carretera, tiene por objeto reducir la gravedad de los incidentes originados por vehículos erráticos que abandonan la calzada. Estos sistemas actúan reemplazando la eventual colisión del vehículo contra un obstáculo o contra un tercero, la caída por desnivel o la invasión de una vía adyacente, por impacto, más controlado, contra el propio sistema.*

En el conjunto, referido a seguridad vial, se puede encontrar desde las barreras metálicas, petriles; postes; etc.

Con este proyecto se pretende encontrar alguna mejora en los actuales SPMs instalados sobre los quitamiedos; mediante el diseño de nuevos modelos.

Para ello, los pasos que se han seguido son los siguientes:

1. Realizar una búsqueda de toda la información posible. La normativa que deben cumplir estos elementos, la evolución que han ido sufriendo a lo largo de los años, los problemas que presentan, las quejas que muestran los motoristas, los modelos reglamentados y los modelos patentados...
2. Tener una primera toma de contacto con los programas a utilizar. Estos son MSC Patran y LS-Dyna. Realizar los tutoriales de ambos programas, para aprender a manejar y poder trabajar con estos programas más cómodamente. La principal ventaja de utilizar programas de elementos

finitos es el tener unos resultados iniciales bastante fiables sobre el comportamiento de la barrera en el impacto de una persona. Así como no necesitar realizar ensayos empíricos con todos los diseños de barreras, lo cual conlleva un encarecimiento del presupuesto.

3. Comenzar con el modelo actual. Dibujar dicho modelo en el programa MSC Patran, para posteriormente modelarlo mediante elementos finitos, aplicándole las propiedades adecuadas y analizarlo, para con el programa LS-Dyna, hacer la simulación del impacto de la cabeza del motorista contra la barrera según la normativa vigente.
4. Estudiar los resultados obtenidos, para saber que se puede mejorar.
5. Pensar en nuevos diseños, que se pueda intuir mejoren dichos resultados.
6. Dibujar estos nuevos modelos, siguiendo los mismos pasos que se han seguido con el modelo actual, primero dibujándolo en Patran y luego importándolo a LS-Dyna. Siguiendo el mismo proceso, estudiar los nuevos resultados, y ver si se obtienen mejoras, o si se puede modificar algo, que dé todavía mejores resultados.

El material utilizado en todos los casos es el acero S355JO (st52).

Las principales características que necesitamos para analizar estos modelos son las siguientes:

- Densidad : 7850 kg/m<sup>3</sup>
- E : 210000 MPa
- Resistencia a rotura : 520 MPa
- Coef. Poisson : 0.3
- Límite elástico 355 MPa

#### 4.2. ESTUDIO DEL MODELO ACTUAL

Partiendo de los planos que se muestran en el anexo III, la barrera superior por un lado, y de la barrera inferior por otro, se dibujará esta en MSC Patran.

Primeramente, se modela el modelo básico sin protección para motoristas, es decir, el poste, el separador y la barrera superior, ya que estos elementos serán los mismos en todos los casos.

1. GEOMETRÍA: Partiendo por ver los puntos clave de la geometría y su posición respecto de un centro de coordenadas, se aprecia como es una geometría simétrica a lo largo de su eje longitudinal, por lo que para facilitar el trabajo, y por comodidad, se puede trabajar solo con una parte. A partir de ahí, se busca el punto de referencia y su eje de coordenadas en la pantalla, y se van posicionando los diferentes puntos adecuadamente, partiendo por la vista de perfil.

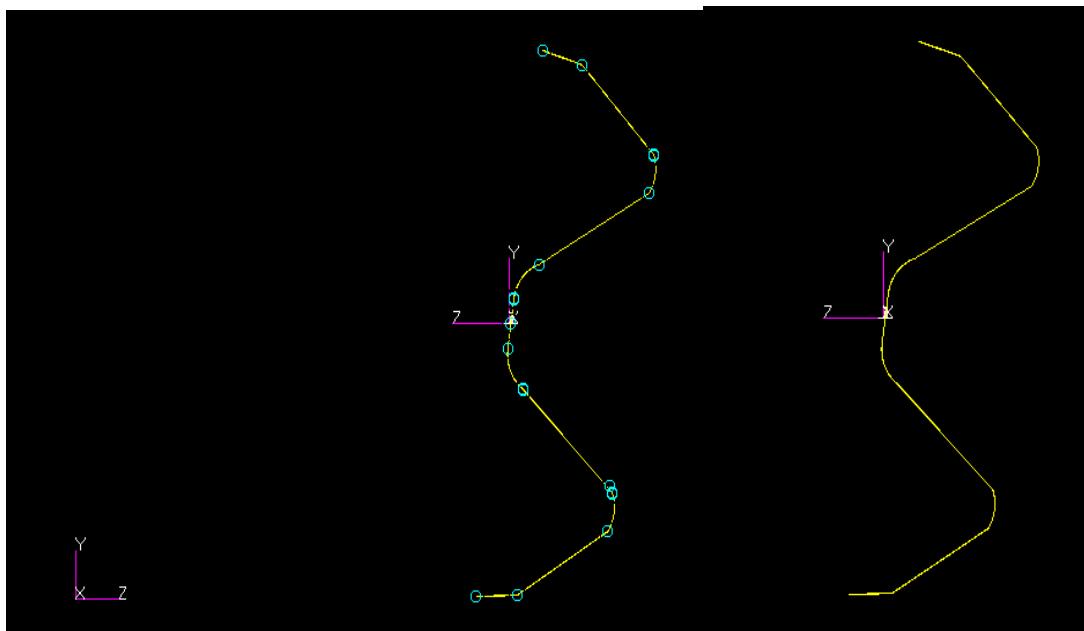


Figura 5. Perfil de la bionda superior.

A partir de estos puntos, se crean las distintas líneas que unen dichos puntos, tanto rectas como arcos, creando así las curvas que dan forma a la barrera.

Una vez se tiene este primer perfil, trasladamos / copiamos ese mismo perfil una distancia de 2000mm ( longitud de cada tramo de barrera), de este modo se obtienen los dos perfiles de la barrera. Así, se unen dichos perfiles, punto a punto, mediante líneas rectas, obteniendo la geometría lineal de la barrera.

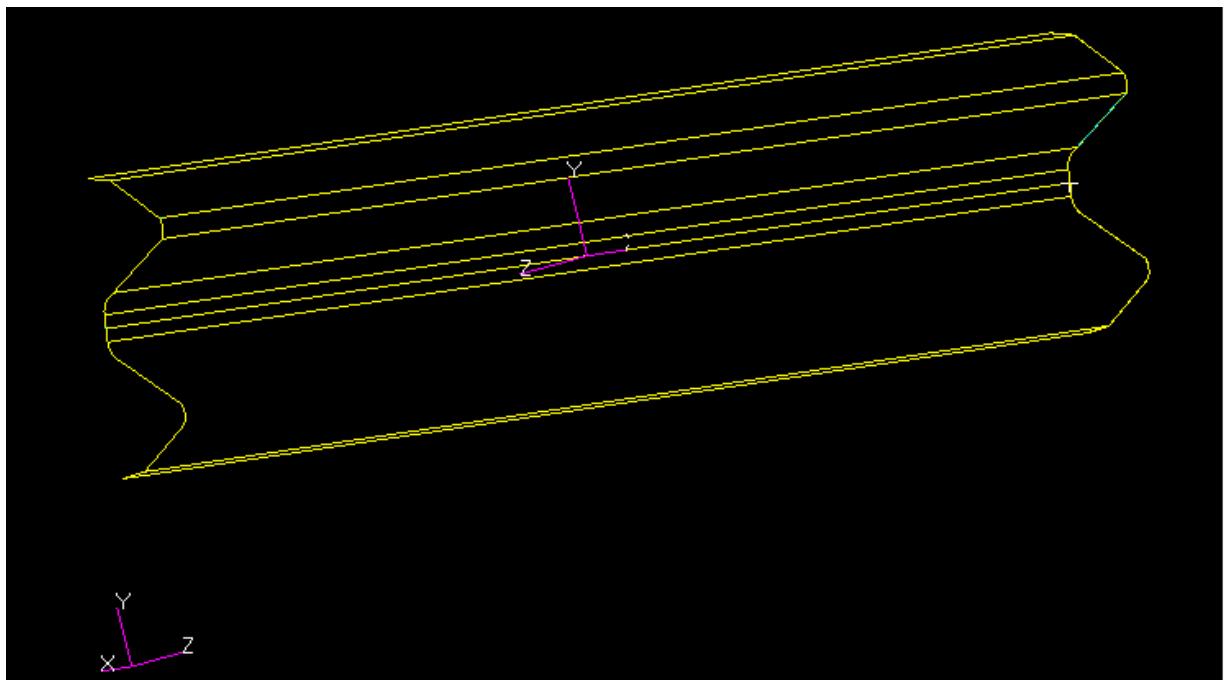


Figura 6. Creación de curvas para unir ambos extremos.

Dado que el espesor de la chapa frente a las demás medidas es muy reducido, a la hora de diseñar se desprecia esta medida quedando reducido el modelo a un elemento 2D, por lo que se considera la barrera como una lámina, tipo "shell". Una vez que están listas las líneas que definen las diferentes superficies, se crean estas, utilizando el comando crear superficie entre 2 curvas, así se consigue tener la barrera creada y lista para seguir trabajando.

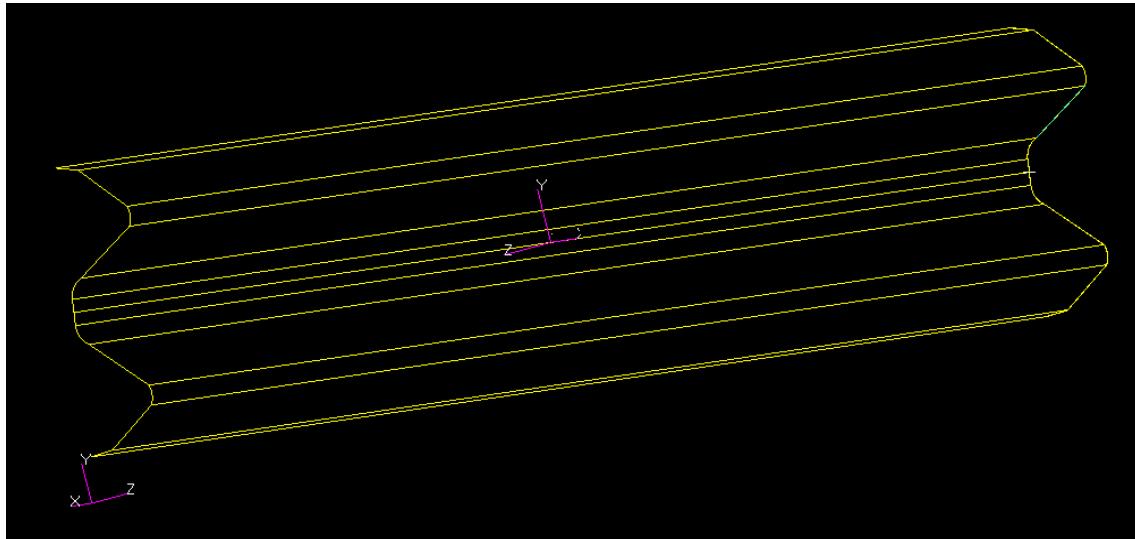


Figura 7. Geometría con todas las curvas y superficies creadas.

En este punto se puede ya aplicar la simetría a las superficies, y continuar trabajando con la geometría completa; o bien, seguir trabajando y aplicarla después de mallar. Del mismo modo que se ha creado esta barrera, se diseñará el separador. Como éste va unido a la barrera mediante tornillos, se simulan éstos con unos puntos en cada elemento y unidos mediante una curva. Primero se crean ambos puntos, tanto en la barrera como en la unión, considerando una distancia de 1mm. A partir de ese punto se crean todos los puntos, luego las líneas y finalmente las superficies del separador.

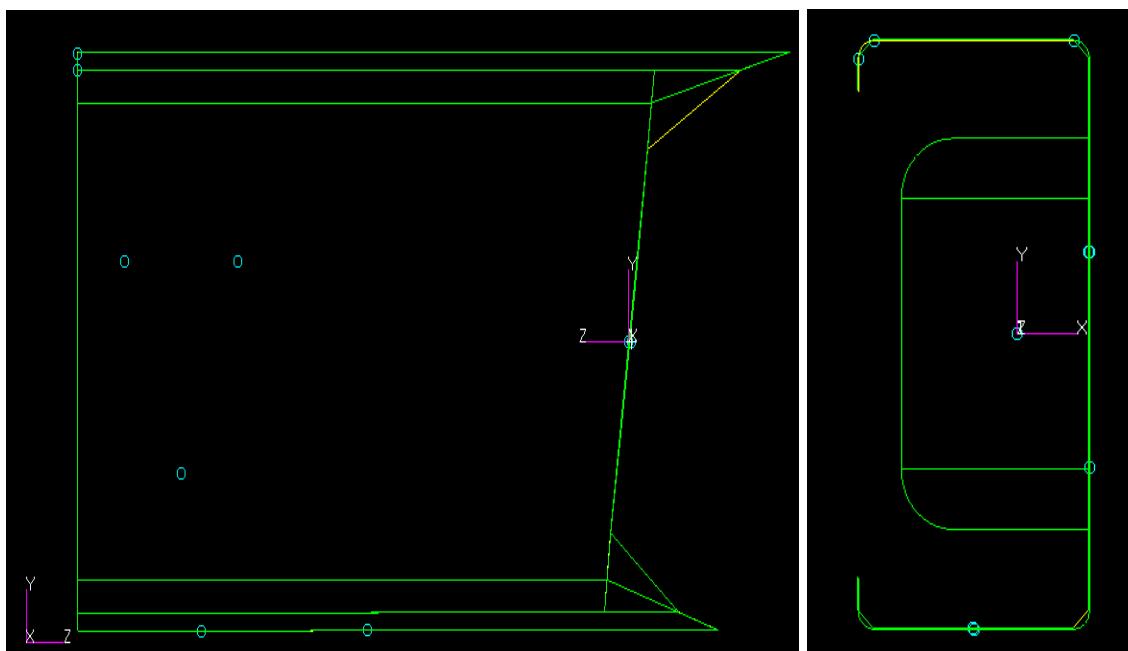


Figura 8. Geometría del separador.

A partir de éste, se crean los puntos de unión del separador con el poste, y de la misma forma el poste. El separador quedaría unido al poste mediante tres tornillos, como se pueden apreciar en al figura anterior.

Para simular la tierra que rodea el poste, se creará un cilindro de 1 metro de diámetro y 2 metros de profundidad. En el apartado de geometría se dibuja una circunferencia de diámetro 2 metros, y en el centro, donde iría el poste, se realiza un rectángulo con la medida aproximada del poste( un milímetro mayor).Por el momento, para la tierra bastará con esto, ya que a la hora de mallar, se hace de manera especial.

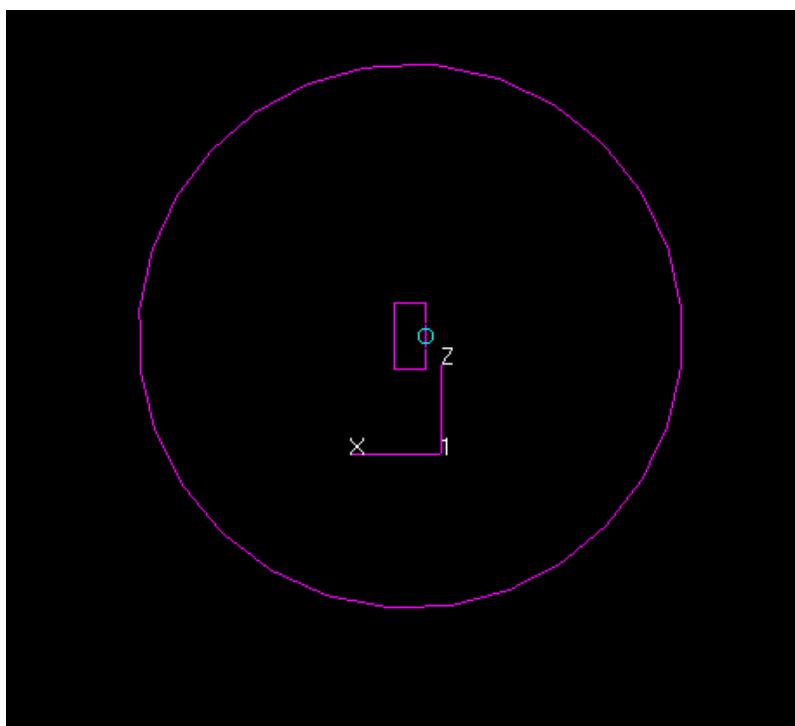


Figura 9. Geometría tierra.

Para poder trabajar de forma más cómoda con todos los elementos, se crea un grupo distinto para cada uno de ellos, y se les asignan los elementos correspondientes, así se puede trabajar con cada elemento individualmente, lo cual a la hora tanto de mallar como de asignar propiedades resultará mucho más cómodo.

2. ELEMENTOS FINITOS: Con esta parte del modelo realizada, se puede empezar a crear los elementos finitos. En las piezas que más interesan

estudiar se utilizará un número mayor de elementos de tamaño más reducido, ya que interesa que la simulación sea lo más parecido posible a la realidad, mientras que para los elementos menos importantes se utilizará un tipo de mallado, de mayor tamaño. Antes de comenzar a mallar, se comprueba si hay alguna superficie, o característica por la que fuera mejor comenzar, ya que es más cómodo comenzar por las superficies más pequeñas y geometrías complejas. Para crear la malla, se utilizará la opción crear->malla->superficie. Una vez en el menú, se selecciona isomesh, elementos cuadráticos (quad), se introduce la longitud del elemento deseada, y se selecciona la superficie a mallar.

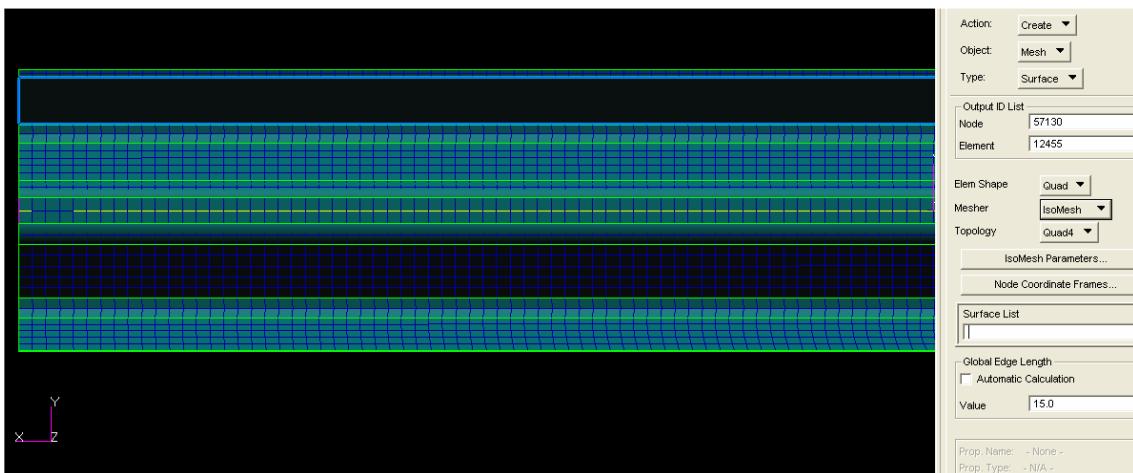


Figura 10. Mallado.

Para el poste se utiliza un tamaño de elemento de 60, para el separador de 60, y para la valla y la unión de 15. En las zonas curvas, antes de realizar la malla, se realiza la “semilla de malla”, MESH SEED, creando varios nodos en la curva, para que la malla tome la forma curva, sino se crea un elemento entre los extremos de esta. Llegados a este punto, han comenzado a surgir las primeras complicaciones, como por ejemplo la dificultad a la hora de mallar el separador, por la geometría tan especial que posee.

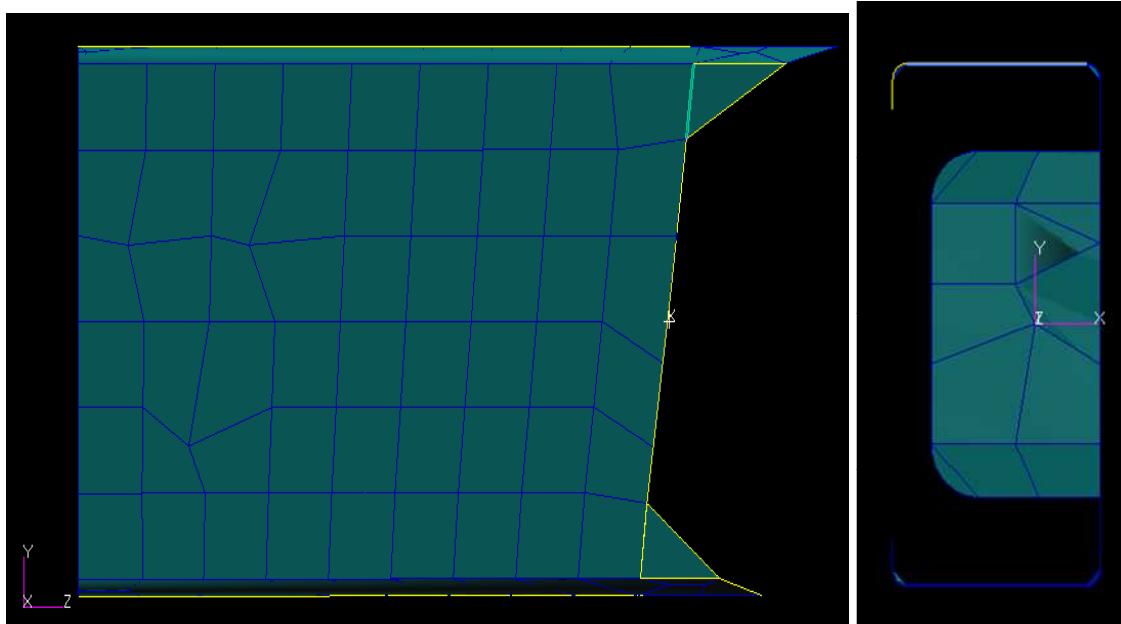


Figura 11. Mallado del separador.

Una vez se tiene mallada toda una pieza, con la opción equivalencia, se seleccionan todas las aristas, que hay entre dos superficies distintas; ya que se han creado nodos distintos para cada una de las superficies, y lo que se pretende conseguir una malla continua; por lo que, con dicha opción, se consigue que haya un solo nodo para ambas superficies.

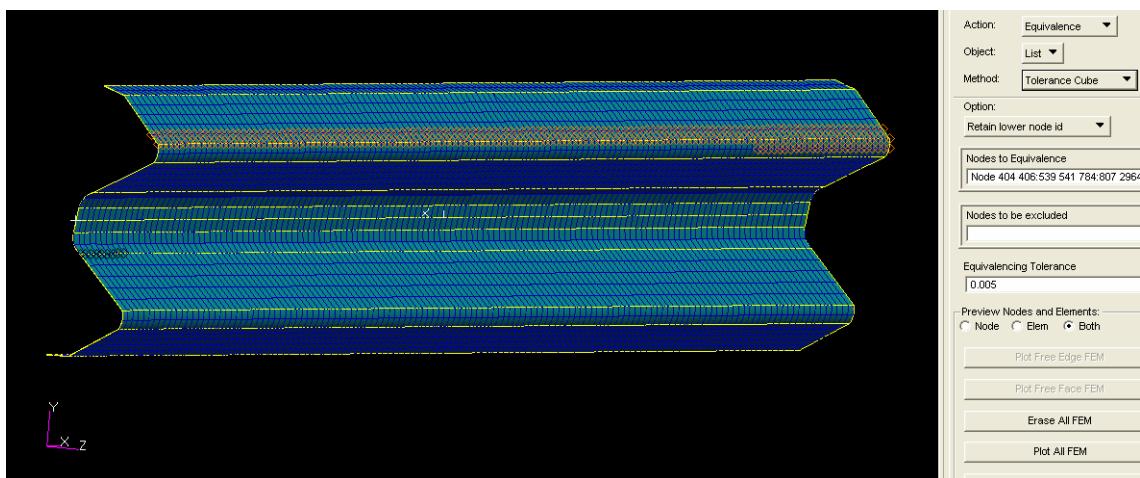


Figura 12. Equivalencia de nodos.

Para comprobar que el resultado de esa acción es correcto, se utiliza la herramienta verificar (VERIFICAR->BONDARIES->FREE EDGES) ,si el

resultado es correcto lo que debería aparecer en pantalla es simplemente las líneas de contorno.

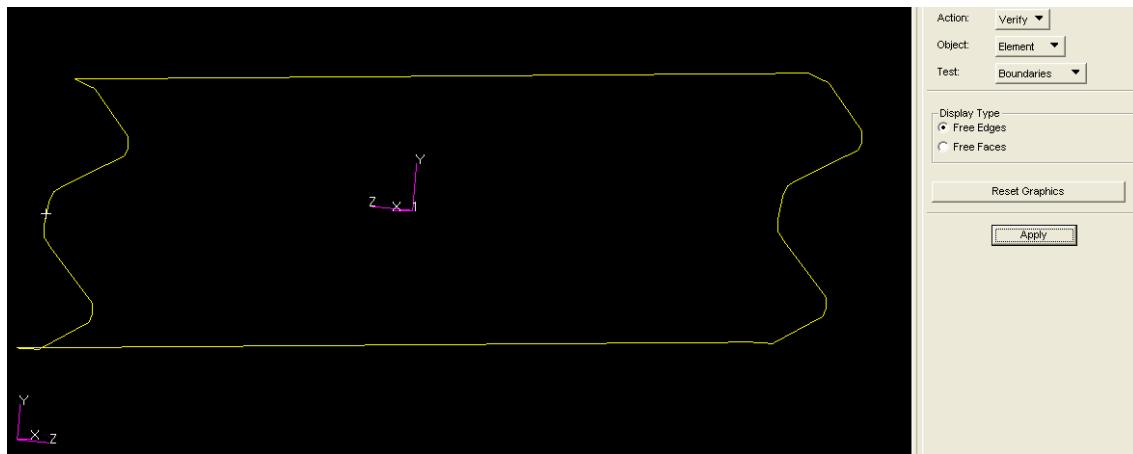


Figura 13. Verificación.

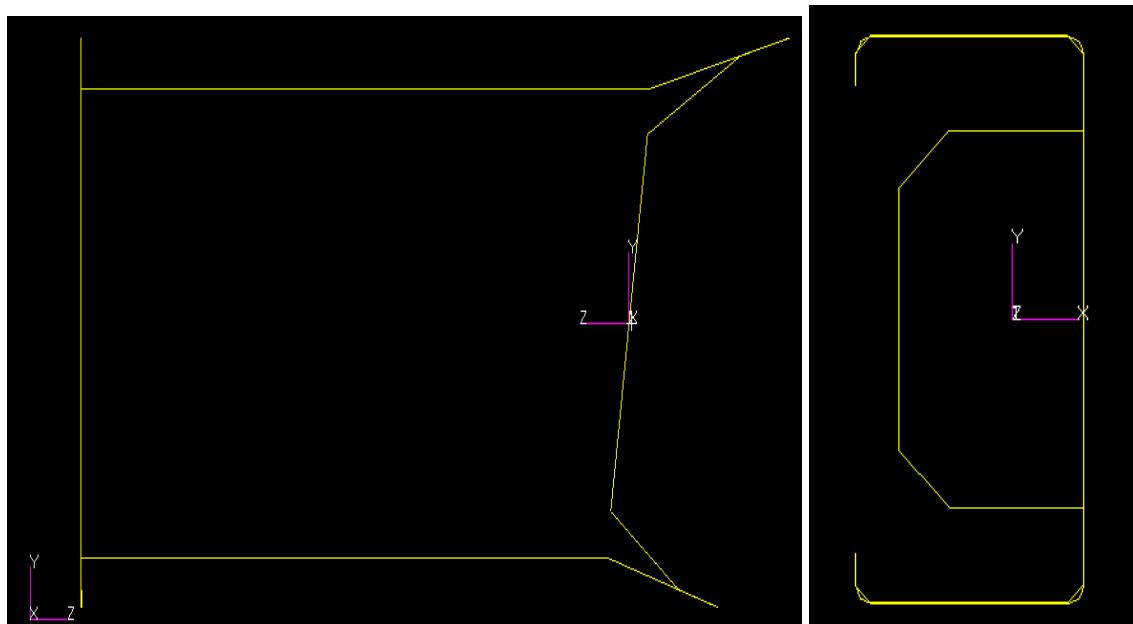


Figura 14. Verificación separador.

Una vez que ya se tiene esta parte mallada, volviendo a geometría, se aplica la simetría correspondiente para obtener la bionda completa, de esta forma es más rápido trabajar que con la geometría completa, sino se ha hecho antes de pasar a mallar.

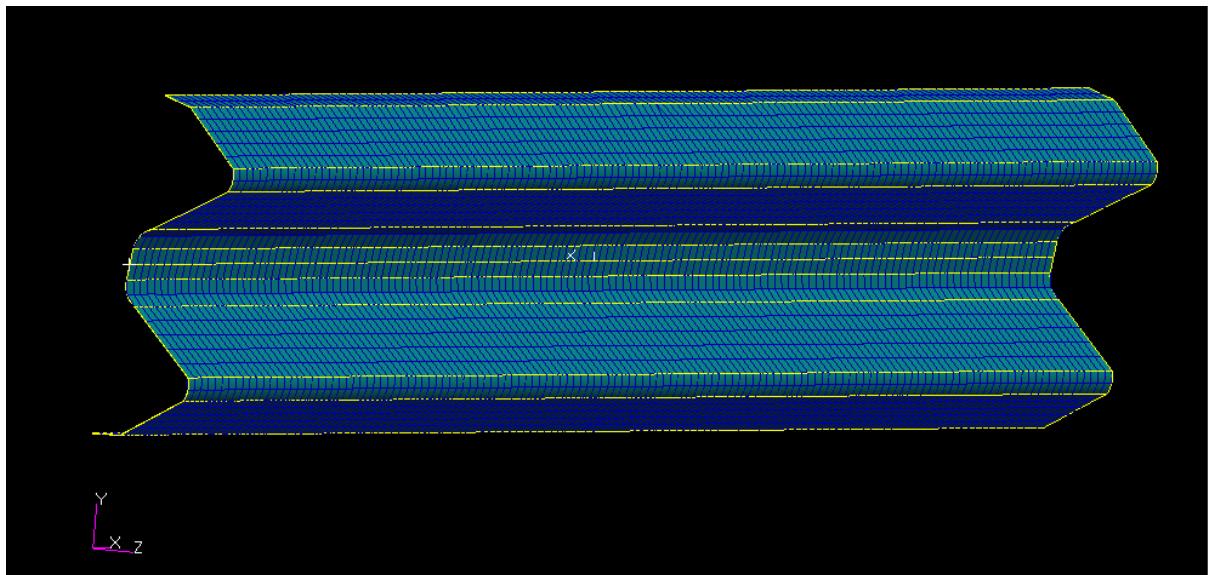


Figura 15. Vista final de la parte superior de la bionda.

Llegado a este punto, ya se tiene el modelo simple que hay instalado en la mayoría de las carreteras. Para continuar, se van añadiendo los elementos de la doble bionda. Siguiendo los mismos paso que con los elementos anteriores, primero se dibujaría la unión, que mediante tornillos se une al separador por un lado, y a la bionda inferior por la otra. Ahora ya se puede dibujar la valla inferior, del mismo modo que se ha realizado la superior, ya que también tiene varios planos de simetría. Una vez que se tiene todo dibujado y mallado, solo faltaría dibujar la tierra. A modo de aproximación, se dibujará, como se ha dicho antes, la tierra como un sólido alrededor del poste. A la hora de mallar, hay que tener en cuenta, que por la geometría que tiene, va a resultar complicado mallarlo como una única superficie, por lo se debe dividir en varias superficies. Con ayuda del rectángulo central, se crearan 6 superficies; se mallaran cada una de ellas, por separado, utilizando la semilla de malla, como se ha hecho en algún caso anterior y finalmente con la opción “composite” se “unirán”. Una vez, está mallada la superficie superior, extruimos la malla hacia abajo y se creará el sólido.

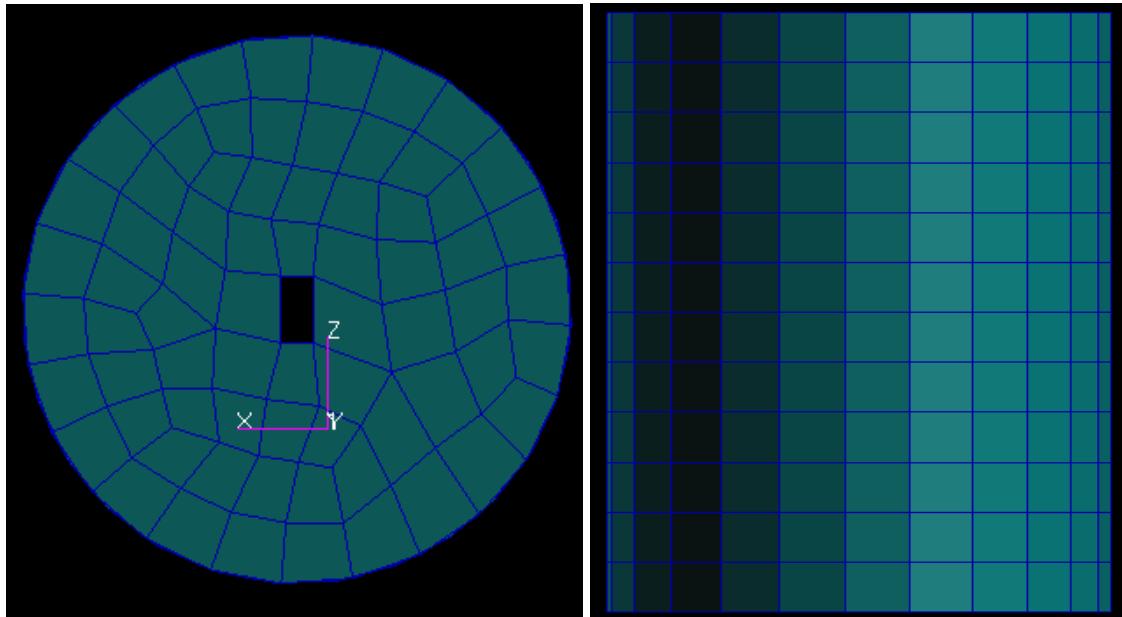


Figura 16. Mallado tierra

Con todo dibujado, solo faltaría mallar la tierra y los tornillos. La tierra, como se ha dicho, la consideramos un sólido, por tanto, es un elemento 3D, así pues a la hora de mallar seleccionaremos la opción 3D y con la opción de seleccionar sólido se selecciona la tierra. Del mismo modo para los tornillos; se selecciona 1D, ya que se han creado como un elemento barra “beam”

3. PROPIEDADES: Una vez se tiene todo dibujado y mallado, se aplican las propiedades. Primero se deben introducir los materiales con sus propiedades, importantes son: la densidad, el modulo de Young y coeficiente de poison; aquí también se considerará el espesor que deberían tener los distintos elementos. Primero, en materiales, introducimos el acero con las propiedades mecánicas comentadas anteriormente, posteriormente en el apartado de propiedades, asignamos a los grupos correspondientes, teniendo en cuenta el espesor de cada elemento. Aquí, es donde se aprecia la utilidad de los grupos, ya que ahora simplemente para seleccionar los miembros que se deseen asignar a las propiedades correspondientes es mucho más sencillo. Por ejemplo, a la hora de seleccionar los tornillos, como son los únicos elementos tipo barra/ viga, se seleccionan directamente, del modelo completo, con la opción de seleccionar objeto 1D,

así solo se seleccionan dichos elementos, ya que son los únicos elementos 1D de todo el modelo. Del mismo modo, para las propiedades de la tierra, como es el único elemento 3D, con la opción elemento 3D, se selecciona rápidamente. Ahora ya está todo el modelo dibujado, mallado, y con las propiedades asignadas.

4. ANÁLISIS: Ya con el modelo acabado, solo faltaría generar un archivo.key, para poder seguir trabajando con el modelo en el siguiente programa. Por tanto, con la opción analyse, se crea dicho archivo y pasariamos a utilizar el siguiente programa.

5. LS – DYNA: Con este programa se va a simular el impacto de la cabeza con la barrera. Una vez en el programa, primero se abre el archivo que se ha creado anteriormente, con la opción: file ->open->LS-Dyna Keyword, así se puede ver el modelo. Para ver la parte que simula la cabeza, se hace lo mismo, pero en vez de con la opción open, con la opción import. Ahora si, tenemos nuestro modelo y la cabeza. Con respecto a las características de dicha cabeza, se adjunta el anexo V.

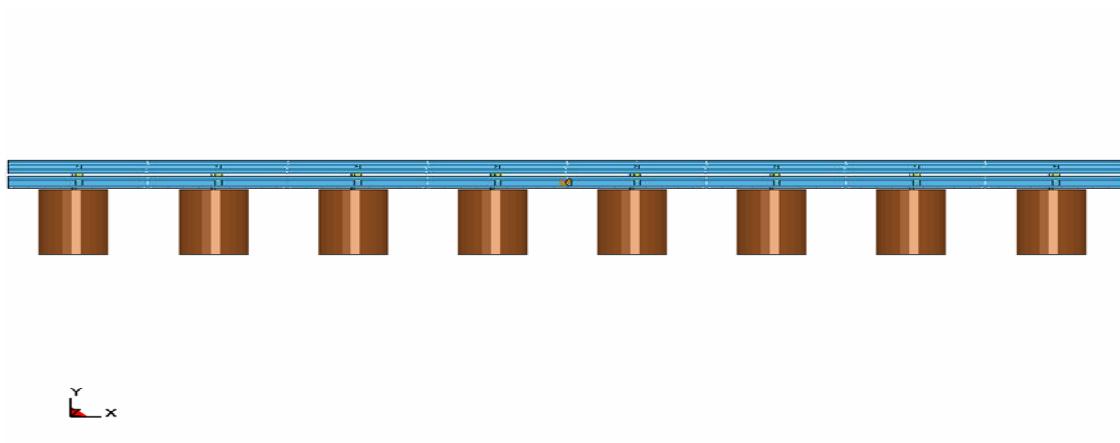


Figura 17. Vista frontal de todo el conjunto(Quitamiedos y cabeza)

Posteriormente, se aplican las condiciones de contorno. Se restringe el desplazamiento y giro respecto de los tres ejes, esta restricción se aplica en los extremos, tanto izquierdo como derecho, de las vallas, tanto la inferior

como la superior, en la base inferior de la tierra, y en todo el área exterior de la tierra. Para ello, se utiliza la pestaña numero 5, en la opción SPC, se selecciona crear, nodo, y todas las restricciones que aparecen.

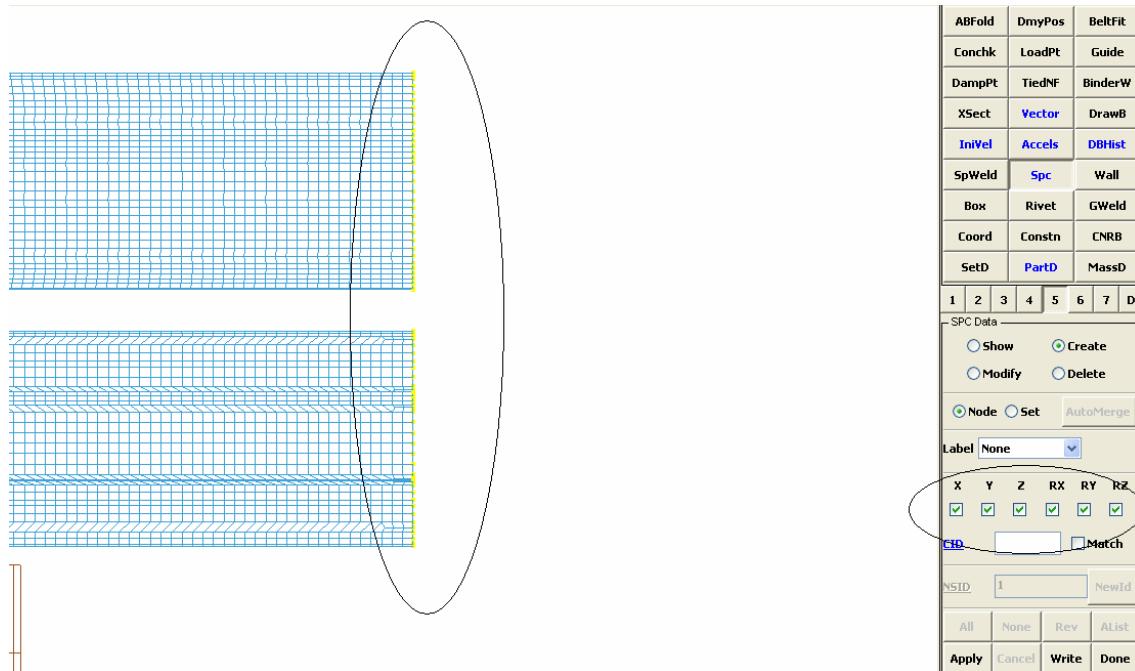


Figura 18. Extremo derecho con las condiciones de contorno

En este caso la selección es muy rápida, ya que con la opción área, se crea un área dentro de la cual está este extremo.

Para la base inferior de la tierra sucede lo mismo, la cosa se complica a la hora de seleccionar la parte exterior de la tierra. Para ello, se busca la vista planta, y se ocultan todos los elementos salvo la tierra. Una vez ahí, se selecciona solo el perímetro de dicho elemento, en este caso, se utiliza la opción “poly”, y se va creando una línea en la que quede encerrado el perímetro.

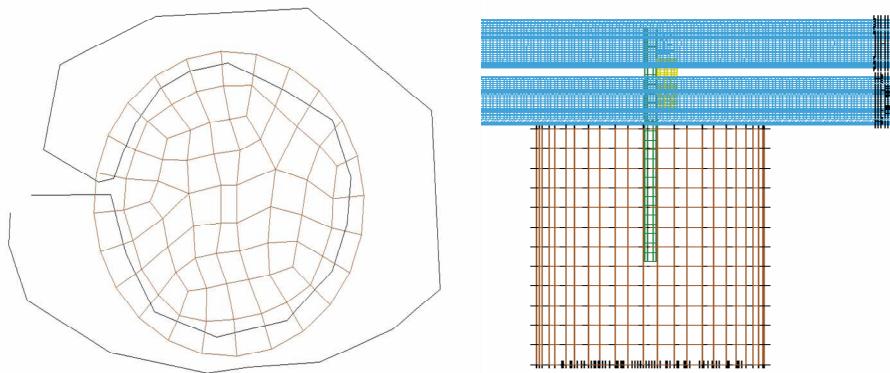


Figura 19. Condiciones de contorno

Con esto, ya se tienen las condiciones de contorno aplicadas.

Ahora vamos con las velocidades de la cabeza. En el caso de la velocidad, como el elemento móvil es la cabeza, se aplicarán las condiciones de movimiento a la cabeza. Para ello, como la velocidad del ensayo es de 60km/h, primero se tiene que pasar a las mismas unidades, es decir mm/s:  $60\text{km/s} \approx 16666.66\text{ mm/s}$ . Una vez que listo, hay que ver como se mueve en los ejes, ya que se simula el choque con  $30^\circ$  de inclinación, por lo que se debe descomponer la velocidad en las dos componentes correspondientes en sus respectivos ejes.

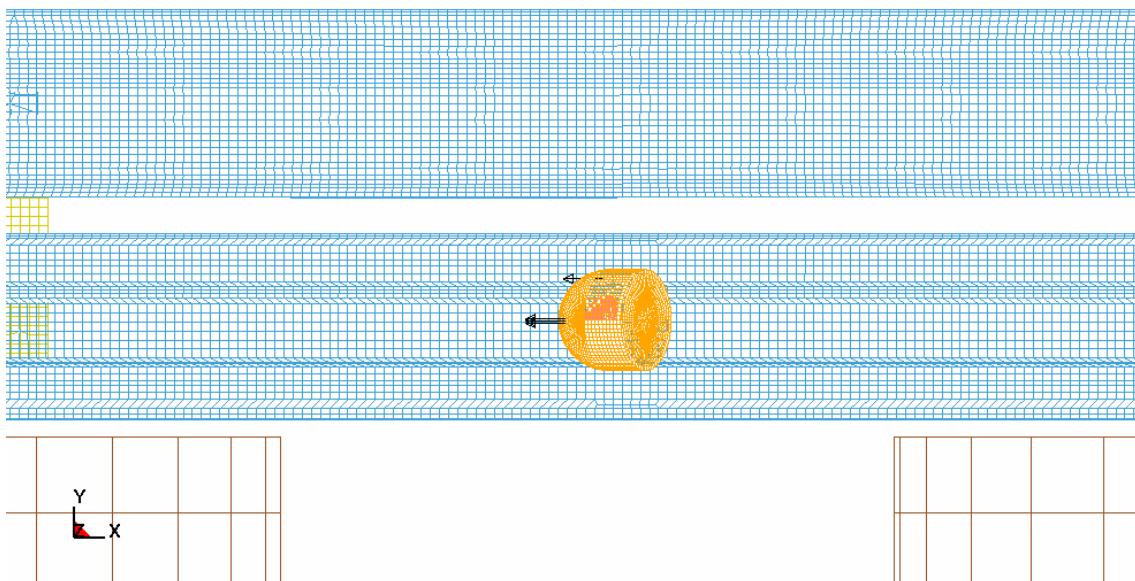


Figura 20. Movimiento cabeza.

En éste, como se aprecia en la imagen, la cabeza se desplazará hacia la izquierda de la imagen, (en dirección X negativa) y hacia “dentro” del papel, es decir hacia la barrera, (dirección Z negativa).  
Por tanto, el vector velocidad que va a definir el movimiento de la cabeza es el siguiente: ( -14333.33 , 0 , -8333).

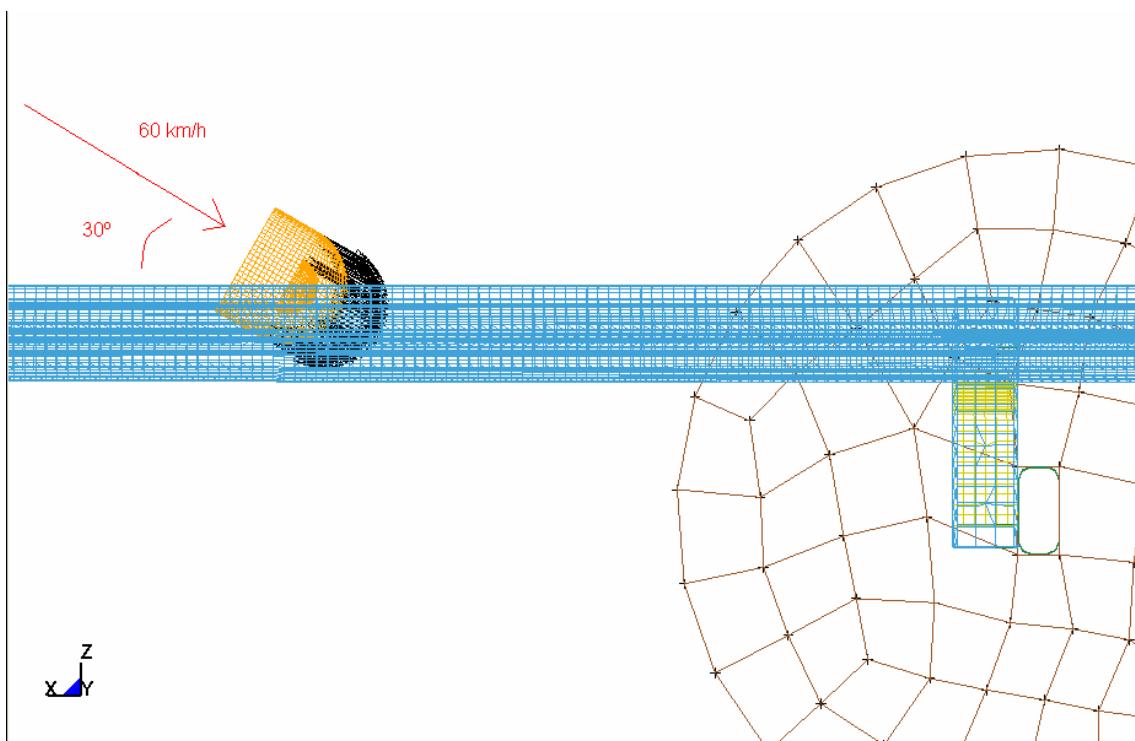


Figura 21. Dirección, ángulo y velocidad

Como se puede observar en la imagen, el impacto de la cabeza se realiza con un ángulo de inclinación de 30º.

Para el análisis de la bionda se deben obtener los datos de dos tipos de impactos que contempla la normativa, uno situado en el centro del vano, y el otro, el poste debe de estar situado en la dirección de la cabeza.

## IMPACTO EN VANO

El primer lanzamiento se efectúa con impacto en el centro del vano, como se aprecia en las imágenes anteriores. Para este caso se obtienen los siguientes resultados.

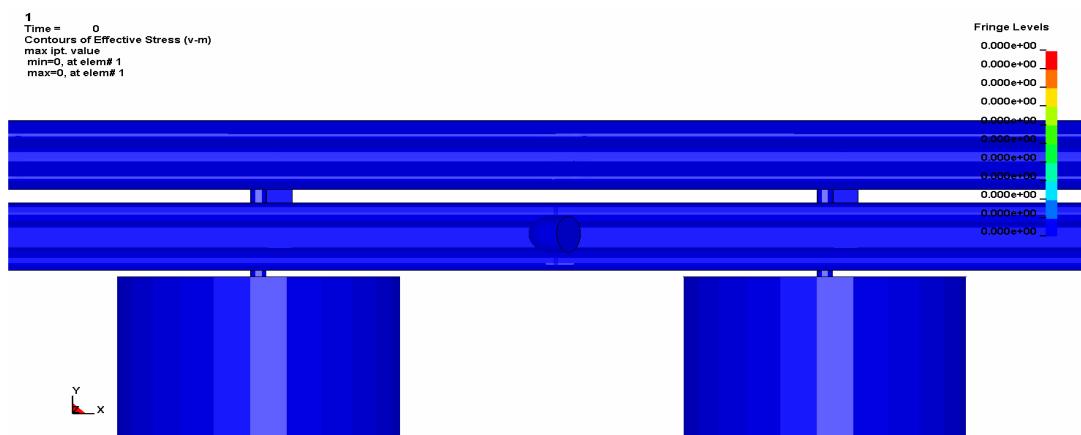


Figura 22. Impacto en vano

Primero se comprueba que realmente el modelo no rompe en ningún lugar. Para ello, se obtiene una tensión máxima que tiene un valor de 427 MPa, mientras que el límite de rotura de este acero es de 520 MPa, por tanto queda comprobado que este modelo no sufre ninguna rotura.

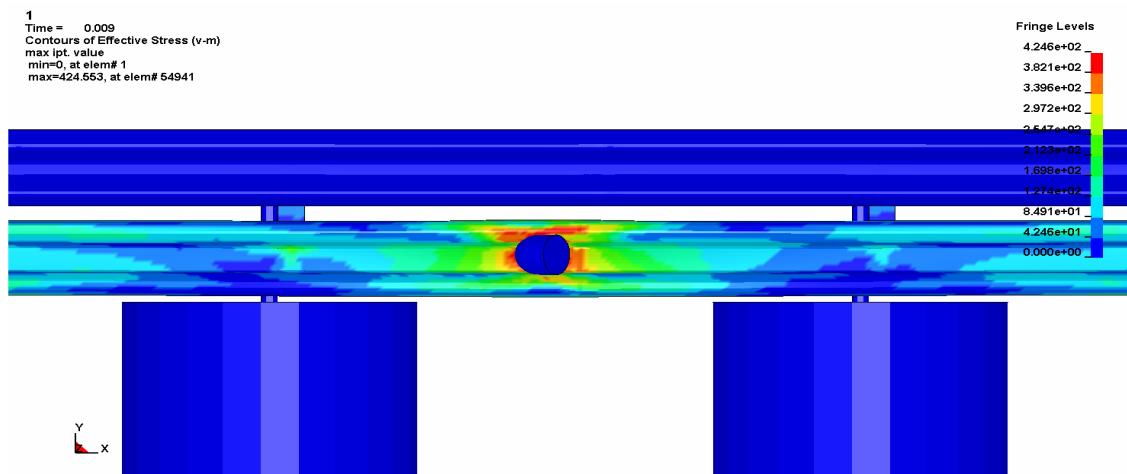


Figura 23. Tensión máxima.

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

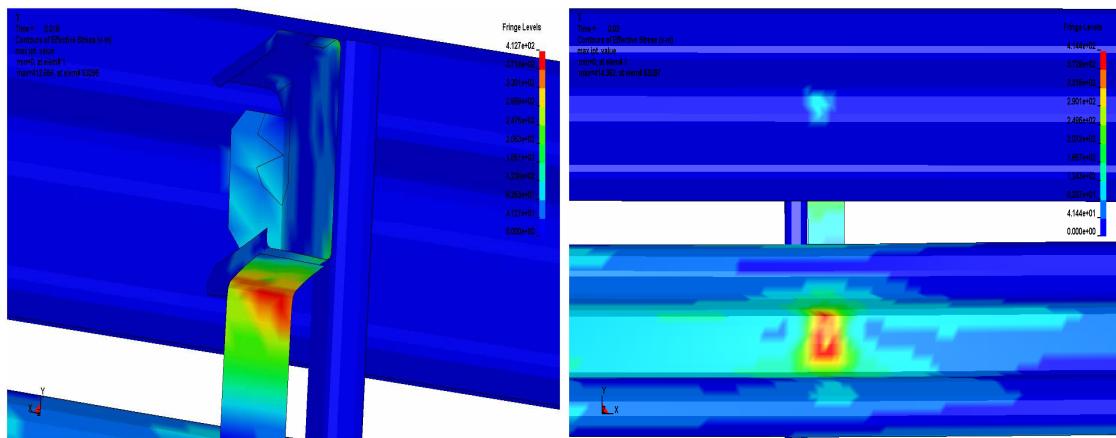


Figura 24. Detalle tensión máxima.

En la imagen anterior se observa como en el momento de mayor impacto, todos los elementos sufren algún tipo de tensiones y deformaciones. Como ya se ha comprobado no sufre rotura, por tanto se pasa a comprobar las aceleraciones que sufre la cabeza.

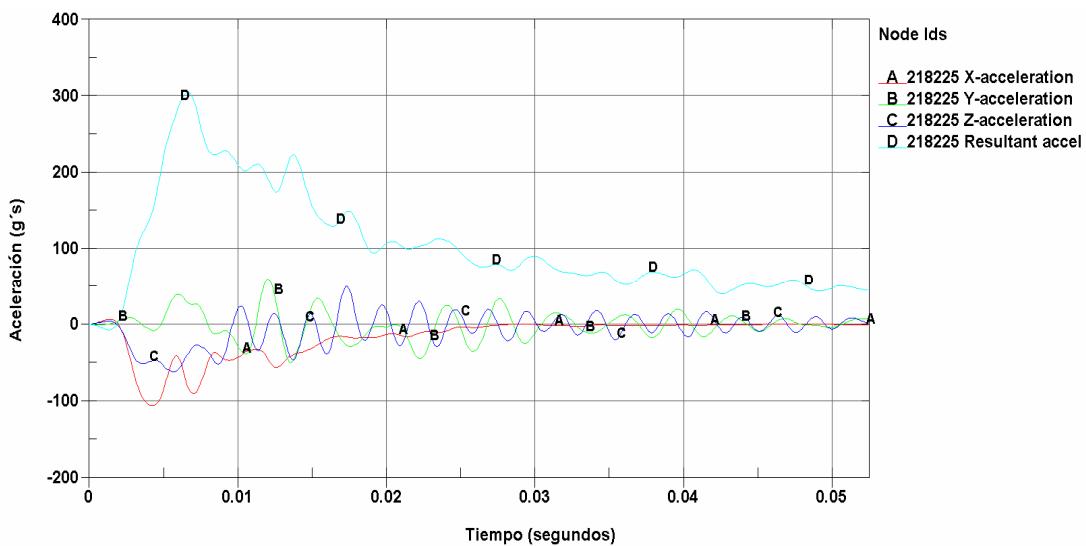


Figura 25. Gráfica aceleraciones.

Como se puede observar, la aceleración máxima que sufre la cabeza es de 300 g. para este caso.

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

## IMPACTO EN POSTE

El segundo lanzamiento fue con el impacto en el poste.

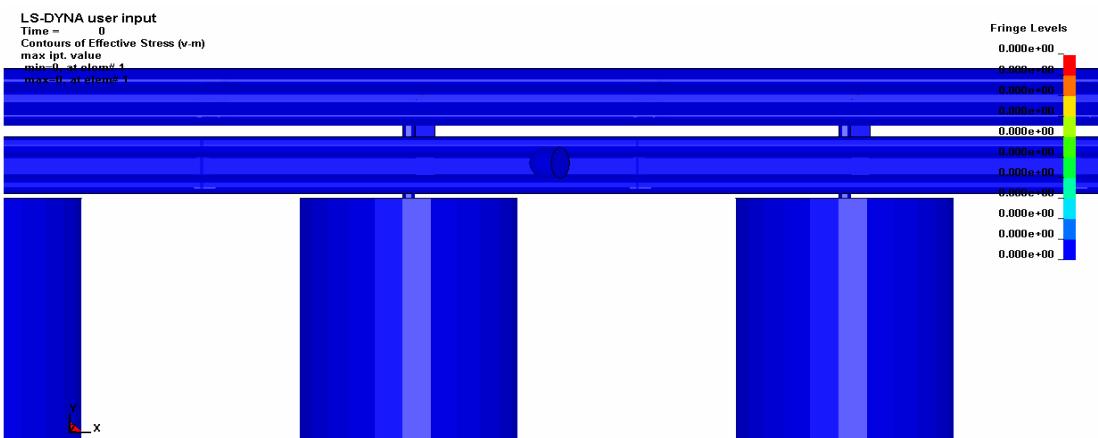


Figura 26. Impacto contra poste.

Se comprueba también que no rompa en ningún lugar. En este caso la tensión máxima es 428 MPa, como se ha dicho anteriormente, este valor es inferior a los 520 MPa del acero por lo que tampoco sufre ninguna rotura.

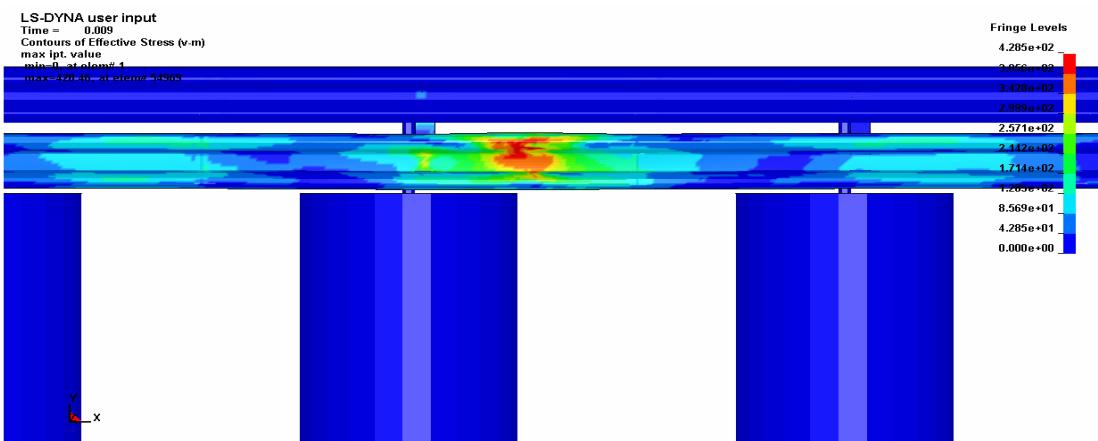


Figura 27. Tensión máxima.

En esta imagen se aprecia, de la misma manera que en el caso anterior, las deformaciones y tensiones que sufren los diferentes elementos.

Por ultimo, se comprueban los valores que salen de las aceleraciones sufridas en este caso. Para este caso, se alcanzan aceleraciones superiores a las anteriores, de 400 g.

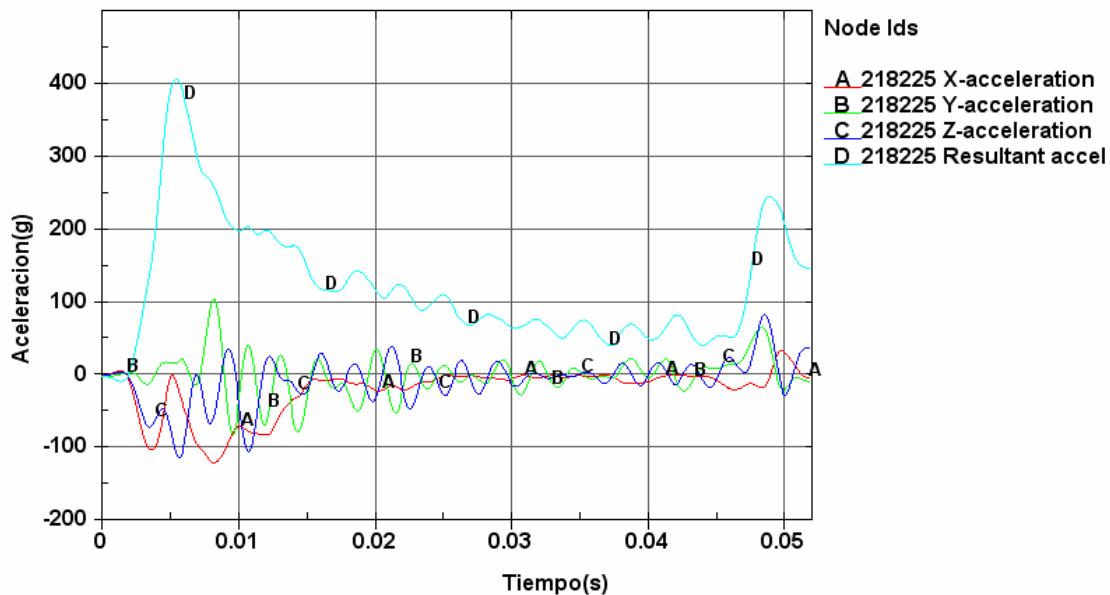


Figura 28. Gráfica aceleraciones.

## 4.2. ESTUDIO NUEVAS PROPUESTAS

### 4.3.1. MODELO CURVA

Para este primer diseño se piensa que para que la bionda pudiera absorber energía debería de tener un diseño totalmente distinto al existente, ya que este tiene una zona intermedia, donde choca la cabeza que no tiene forma. Por lo que el primer paso es dibujar una forma sencilla, pero que en la zona del impacto tuviese forma para poder absorber energía.

El diseño se seguirá realizando con el programa MSC-Patran, en el cual la bionda superior, el separador, el poste y la tierra se podrá utilizar del diseño inicial, por lo que solo se tiene que realizar la unión y la bionda inferior. La valla a diseñar tendrá una forma circular, como se puede ver a continuación. Estará formada por varios planos de chapa con distinto ángulo para poder conseguir un cuarto de círculo de manera que sea fácilmente fabricado.

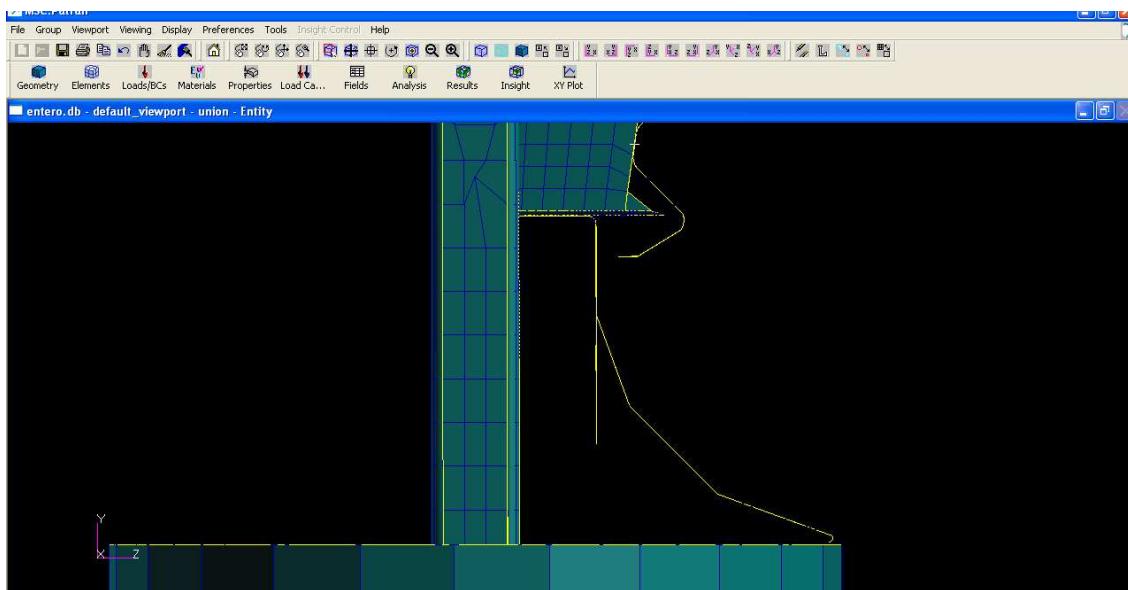


Figura 29. Bionda inferior nuevo modelo

El diseño de la unión se ha realizado con un ángulo de 90º, para facilitar su fabricación y su montaje. Dicha pieza conserva la unión con el separador ya existente, y se une a la bionda inferior mediante un tornillo, los cuales serán diseñados como el modelo inicial como un elemento barra.

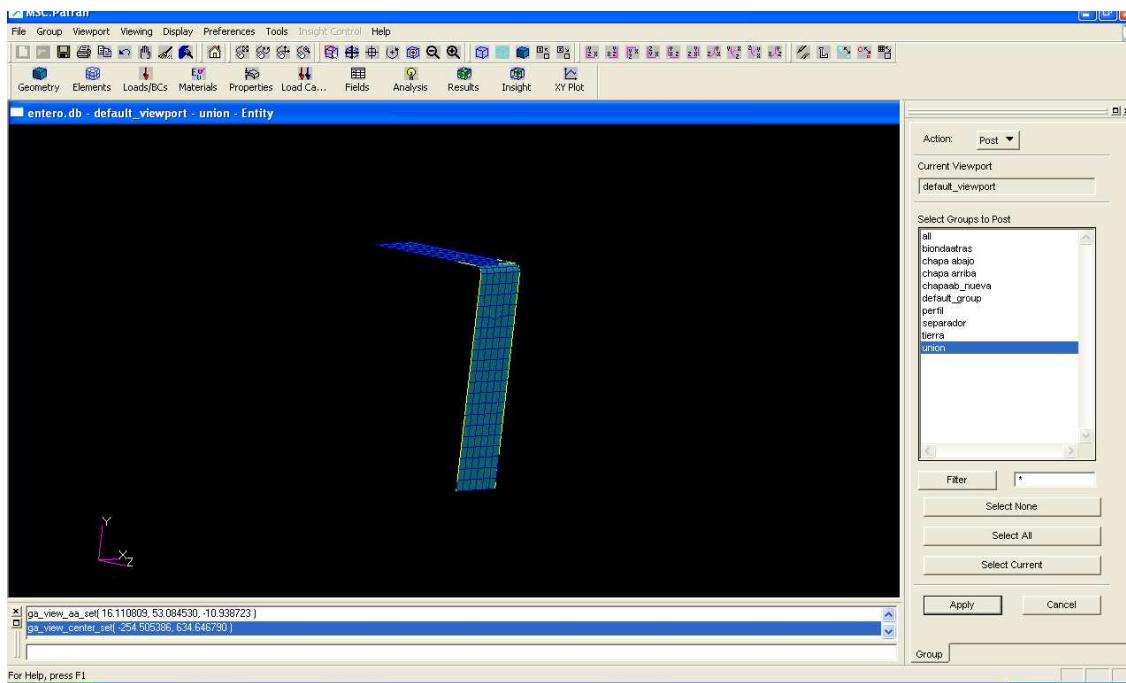


Figura 30. Unión

Después de estar diseñado el nuevo modelo, se debe mallar las partes modificadas, como en el caso anterior, se mallará superficie a superficie. En el caso de la bionda y la unión se utilizará una malla de una longitud de elemento de 15 milímetros.

Una vez están malladas todas las superficies, el siguiente paso es conseguir que los nodos situados entre las uniones sean uno solo, ya que existe un nodo de cada superficie. Para ello se utiliza la función equivalencia, en la que se indicarán cuáles son los nodos que deben quedar unidos, se indica una tolerancia, es decir la distancia máxima que puede haber entre dos nodos para convertirlos en uno solo. Terminado esto, solo queda verificar la malla en Verify.

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

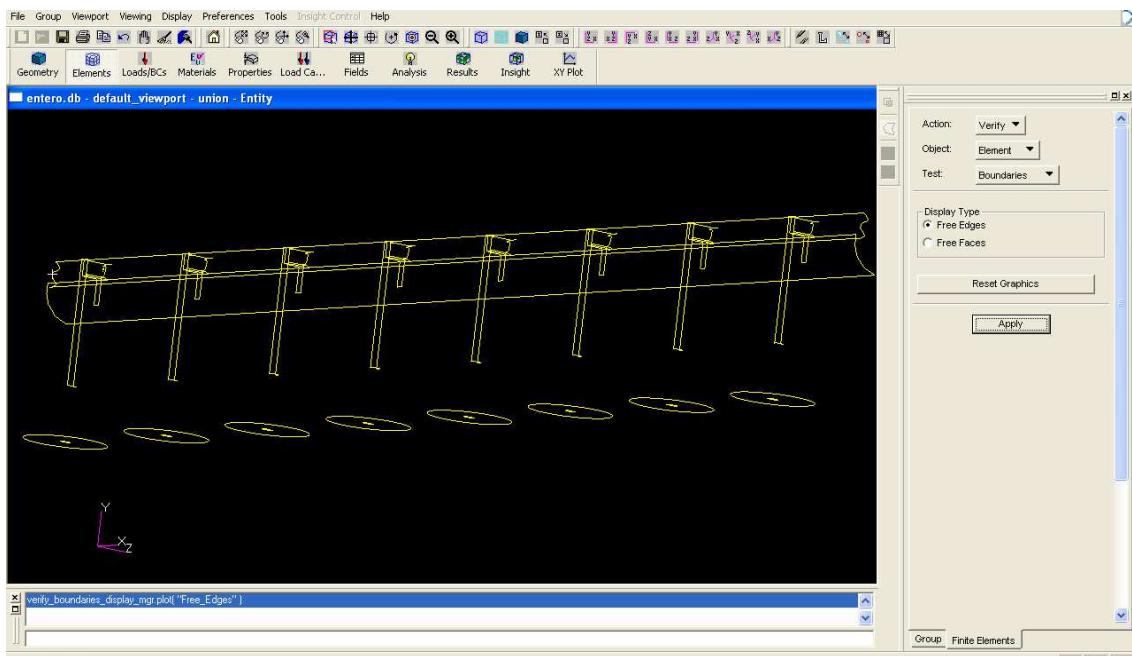


Figura 31. Verificación

A continuación se asignarán las propiedades del material que a Los elementos modificados, en esta caso no es necesario crear los materiales, ya que están creados de los elementos que se han conservado.

Después de esto, se analizará el modelo en Análisis, para trasformarlo en un modelo.key. Una vez hecho esto se puede pasar el archivo.key al programa LS-dyna donde se pondrán las características del lanzamiento de la cabeza del dummy.

Lo primero a introducir serán los empotramientos a ambos lados de las dos vallas y los empotramientos de la tierra, como se ha explicado anteriormente.

Después se definirá la aceleración gravedad, y las condiciones de contacto de la bionda y de la cabeza.

A continuación se definen el ángulo y la velocidad de impacto, los cuales vienen definidos en la norma como ángulo e 30º y velocidad de 60 Km/h.

Como última característica habrá que definir donde se realizara el impacto, ya que según la norma hay que realizar dos tipos de impactos, el que tiene choque en el centro del vano, y el que tiene el poste en la dirección de la cabeza. Por lo que de aquí saldrán dos modelos distintos, y dos resultados distintos que se analizarán a continuación.

## IMPACTO CENTRO VANO

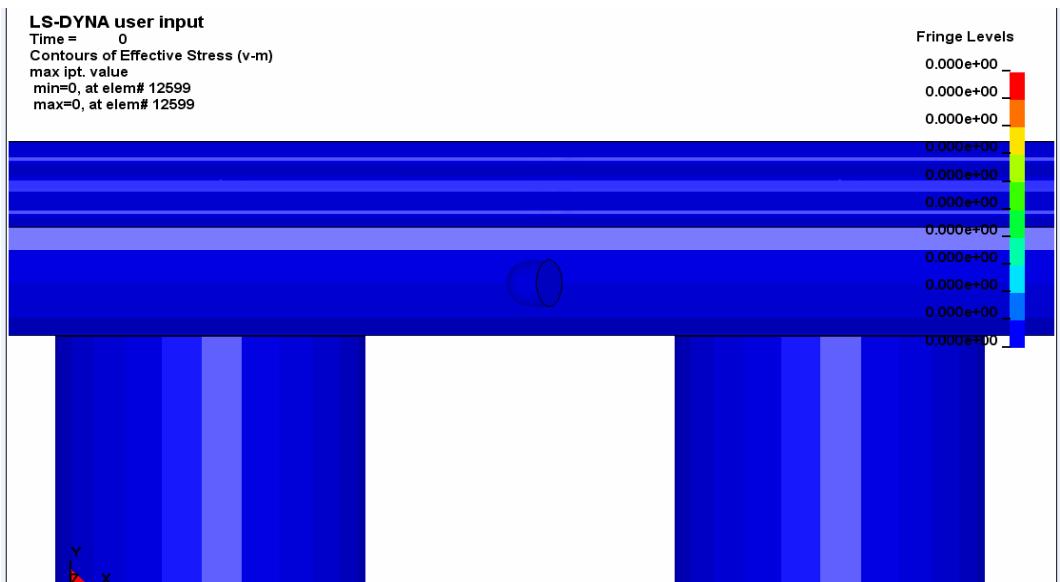


Figura 32. Impacto centro vano

Lo primero que se debe hacer será verificar que el modelo no rompe por ningún punto. En el momento en el que la tensión es máxima, esta tiene un valor de 178 MPa, la cual es muy inferior al límite de rotura del material, que se encuentra a 520 MPa. También es muy inferior a la tensión encontrada en la bionda ya existente.

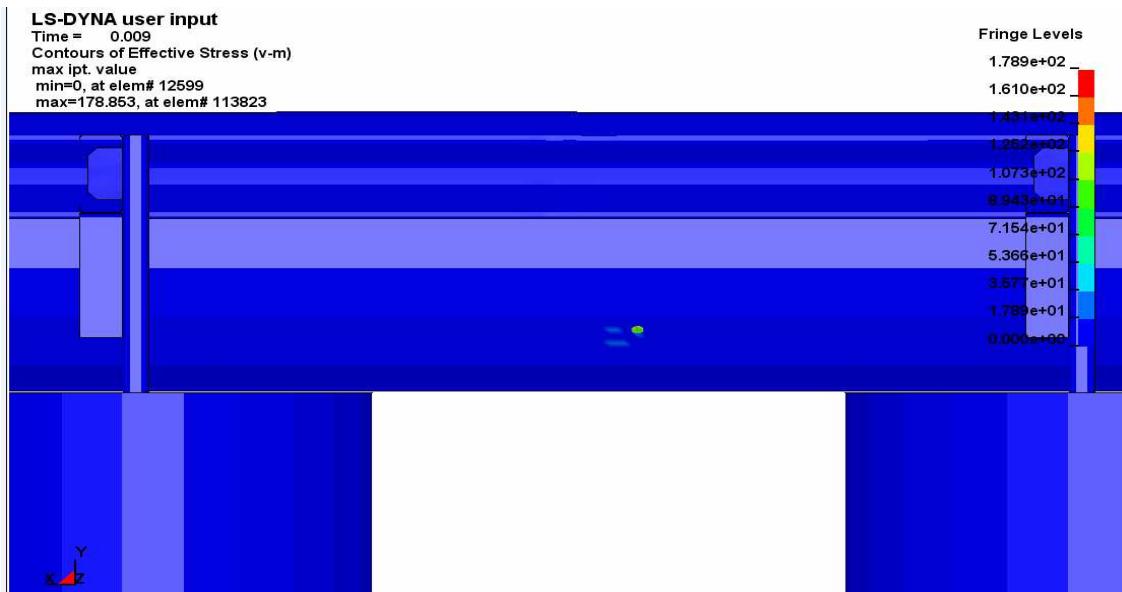


Figura 33. Tensión máxima

En la imagen anterior se puede observar como en el momento de mayor impacto, ni el poste ni la unión sufren tensiones significativas.

Una vez se ha comprobado que el modelo no rompe por ningún punto se pasará a comprobar las aceleraciones que sufre la cabeza.

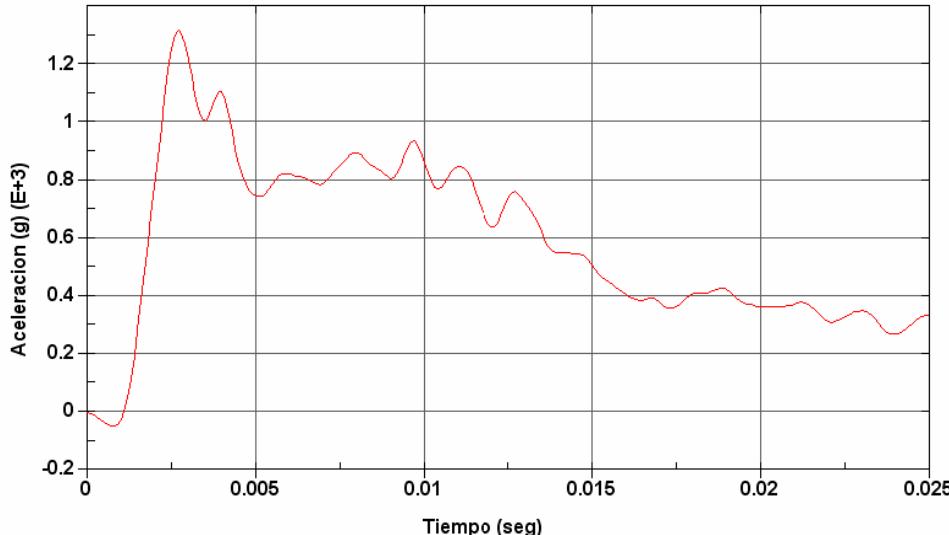


Figura 34. Grafica aceleraciones

Como se puede observar, la aceleración máxima que sufre la cabeza es de 1300 g un valor muy por encima del obtenido en el modelo inicial.

Además la disminución de la aceleración se produce muy lentamente en función del tiempo por lo que la cabeza estará sometida a grandes aceleraciones durante un gran periodo de tiempo.

## IMPACTO DIRECCIÓN POSTE

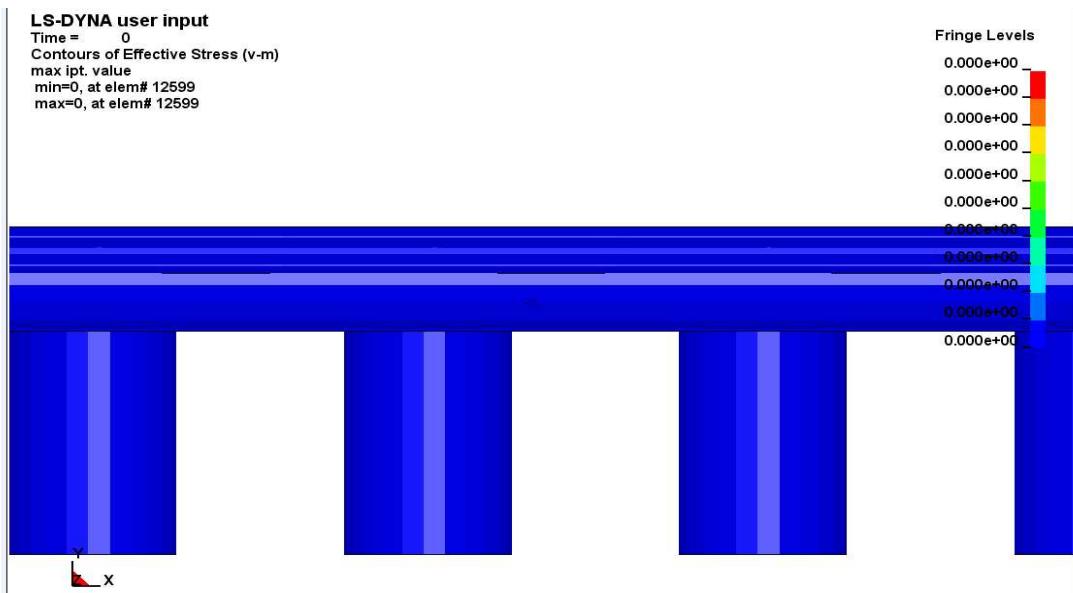


Figura 35. Impacto dirección poste

Como el impacto contra el vano, lo primero que se analiza es si el modelo rompe por algún punto. En la imagen inferior se puede ver que en el momento de máxima tensión el modelo alcanza una tensión de 118 MPa, un valor muy inferior a la tensión de rotura, y también muy inferior a la tensión que se alcanza en el modelo inicial.

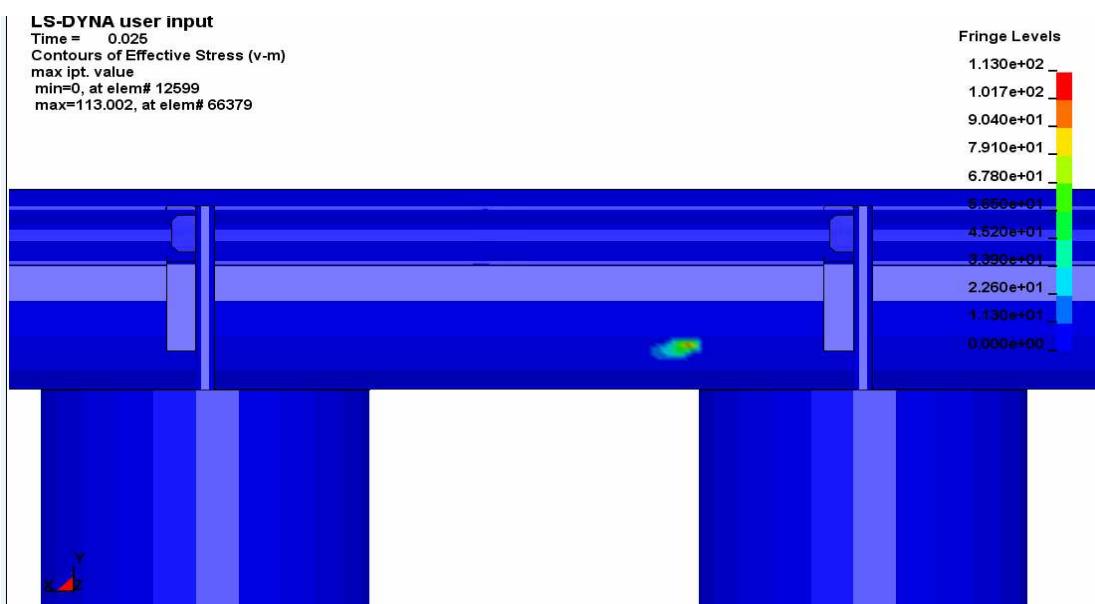


Figura 36. Tensión máxima

En la imagen superior se puede observar que en el momento de mayor impacto el poste y la unión no adquieren una tensión relevante como para que el material pueda romper.

Una vez se ha visto que el modelo no rompe a causa del impacto, se estudiará las aceleraciones que recibirá la cabeza lanzada contra la bionda.

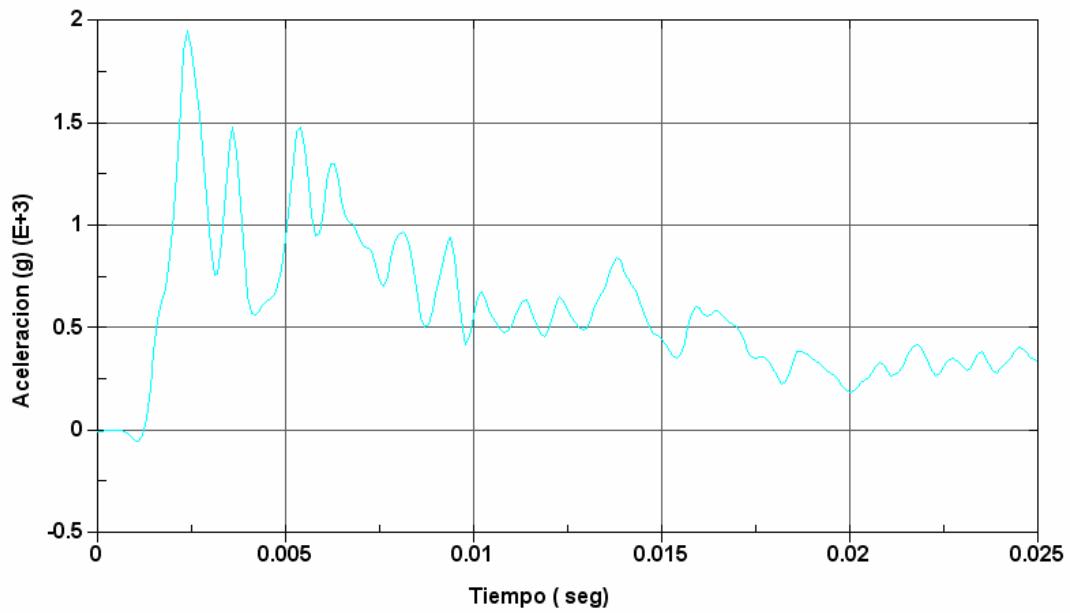


Figura 37. Grafica aceleraciones

En la gráfica superior se puede observar como la aceleración máxima recibida es de casi 2000 g, muy superior al valor obtenido en el caso inicial.

También se observa una alta aceleración durante un periodo bastante prolongado, lo cual ha de ser evitado.

Como conclusión de este modelo, la valla no romperá debido al impacto, pero debido a su rigidez hace que la cabeza sufra unas aceleraciones muy superiores a las del modelo actual.

Por lo que este modelo no mejora al ya existente.

#### 4.3.2. MODELO PLANO

Viendo los resultados obtenidos con el primer caso, siguiendo con el criterio pensado en un primer momento, se diseñó un SPM cuyas dimensiones y en parte también la forma, no difiriera mucho del actual. Por lo que se pensó en una bionda plana.

Como en el primer caso, se utiliza la misma bionda superior, el separador, el poste y la tierra, únicamente se modifica la unión y el SPM.

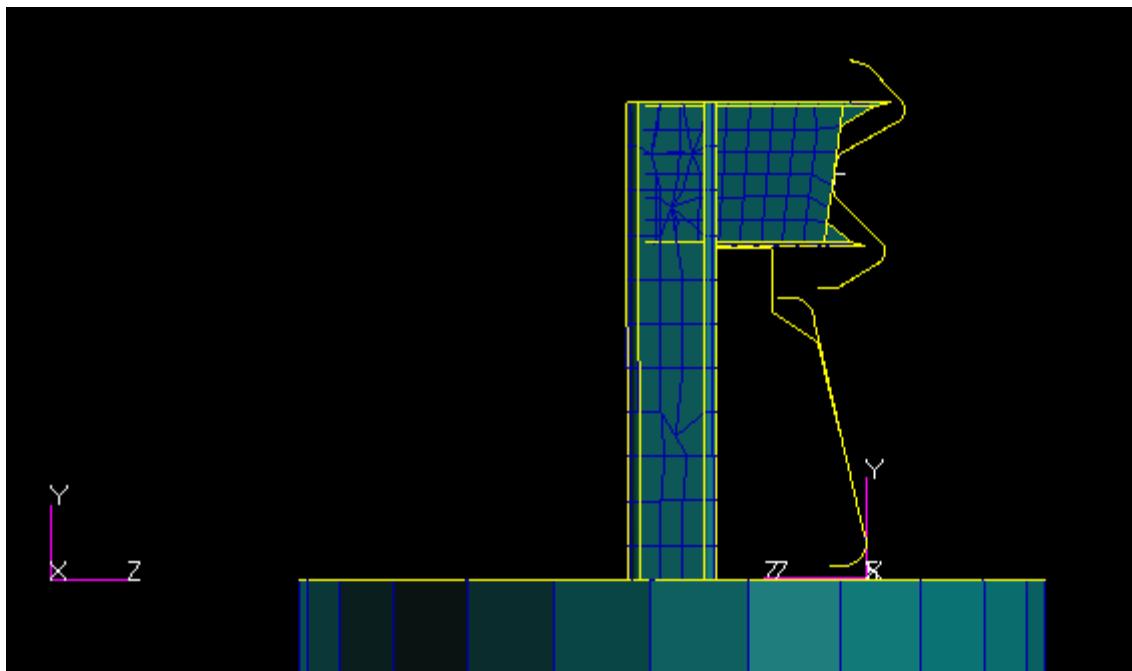


Figura 38. Modelo 2, bionda plana

La bionda, tendría un único plano, con una ligera curvatura en los extremos para evitar que quedaría una arista de corte de corte pronunciada. La unión en este caso iría unida también al separador, sería similar a la actual, pero tendría dos ángulos para adaptarse a la bionda. Por lo que, la unión al separador sería la misma que en el primer caso, y la unión a la bionda sería mediante un tornillo.

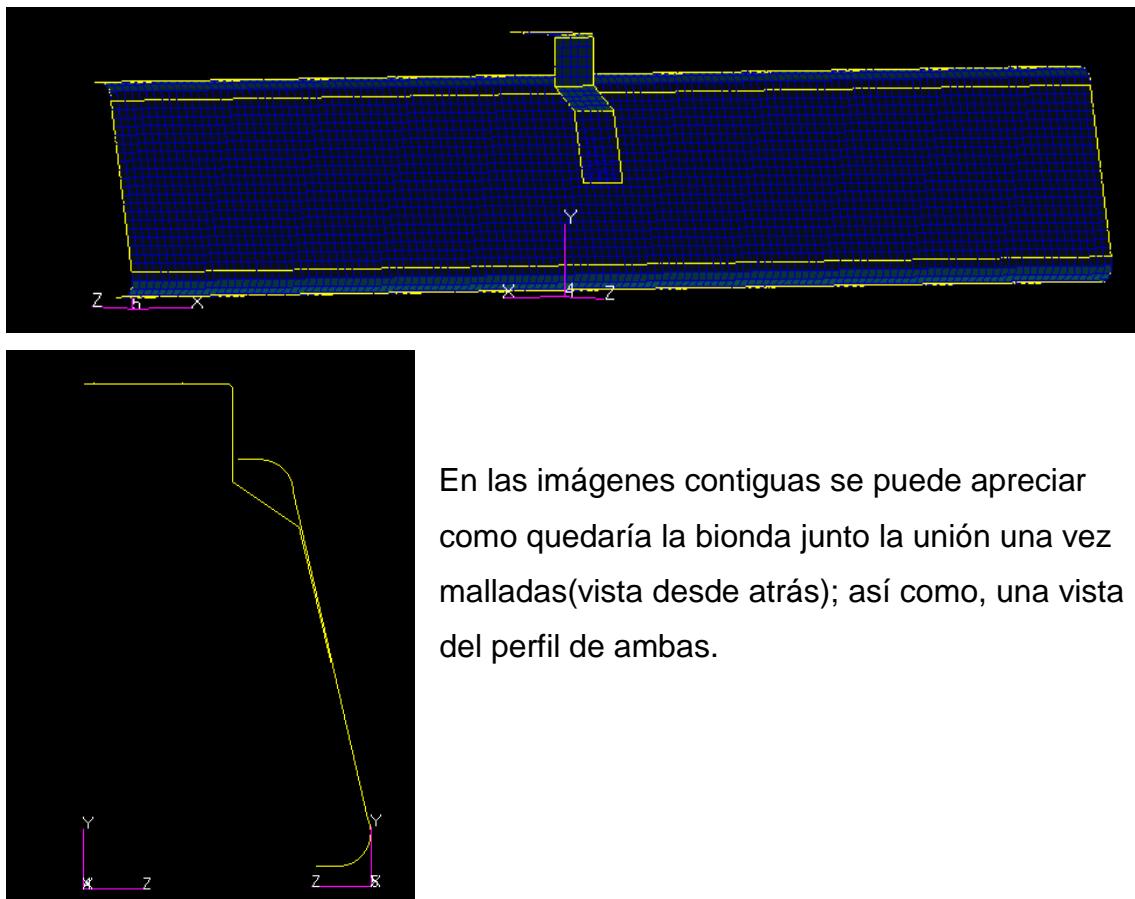


Figura 39 . Mallado modelo plano.

Una vez tenemos la geometría lista, se pasa a crear la malla de la misma manera que se ha hecho en los anteriores casos. Y se comprueba mediante verify que todo está en orden.

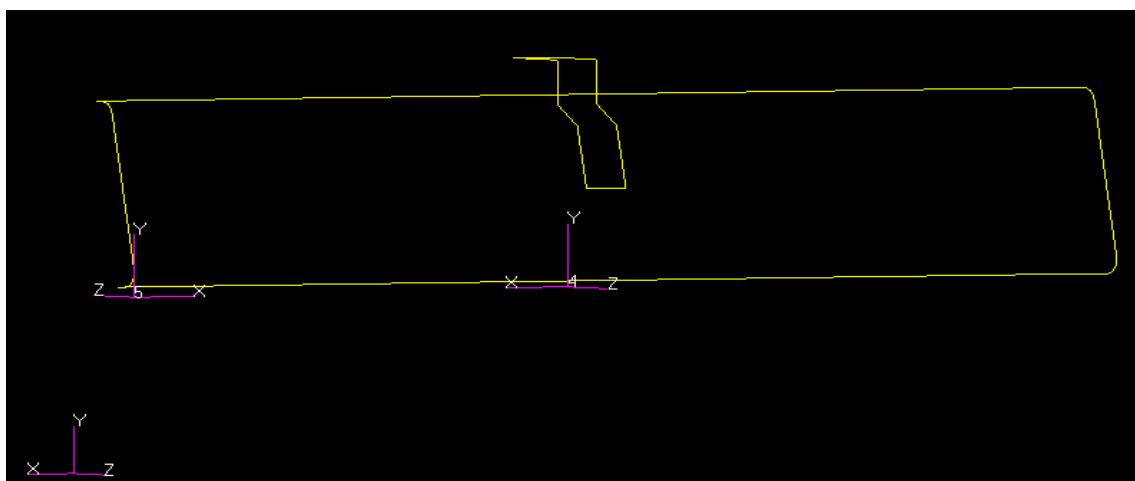


Figura 40 : Verificación

Ahora ya solo quedaría, aplicarle las propiedades a los nuevos elementos; en este caso, se utilizan las mismas propiedades que tenían la bionda inferior y la unión en el caso actual. Para finalizar, se analiza el modelo, y se obtiene el archivo .key, que posteriormente se utilizará en LS-Dyna. Pasando al siguiente programa,

Como en los casos anteriores, se deben establecer las condiciones de contorno, la gravedad, la velocidad del impacto, el ángulo y la posición de impacto. De esta forma se obtendrán también dos resultados.

## IMPACTO EN VANO

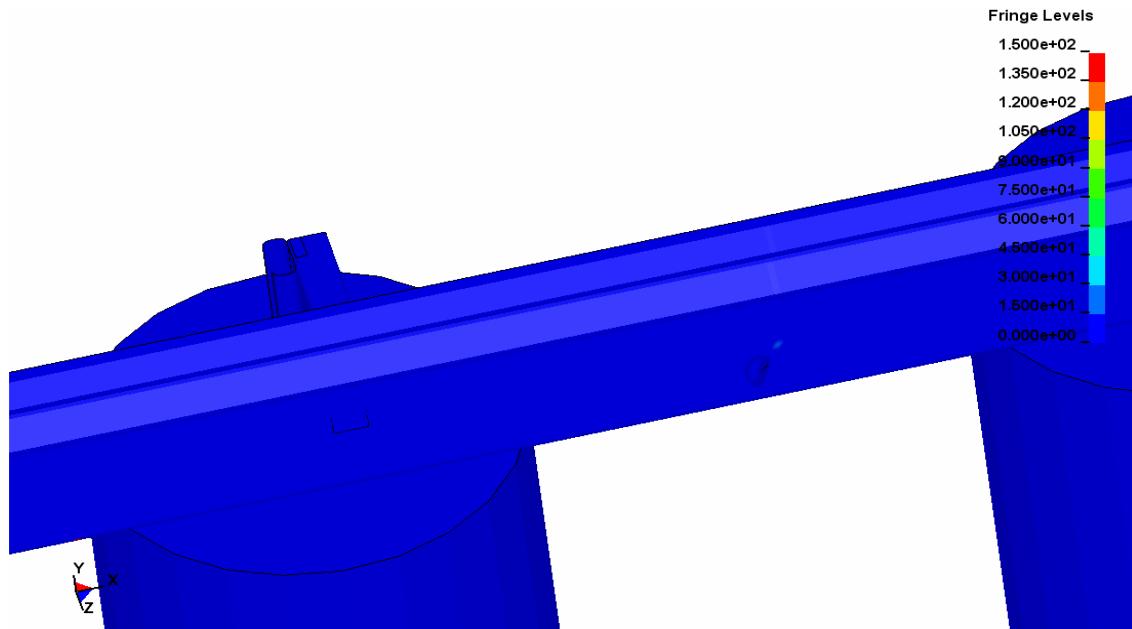


Figura 41. Impacto en vano

Se ven las tensiones que sufre este modelo, y se comprueba si sufre rotura o no. En este caso la tensión máxima que se obtiene es de 150 MPa, por lo que no sufre rotura siendo esta menor que el límite de rotura del material.

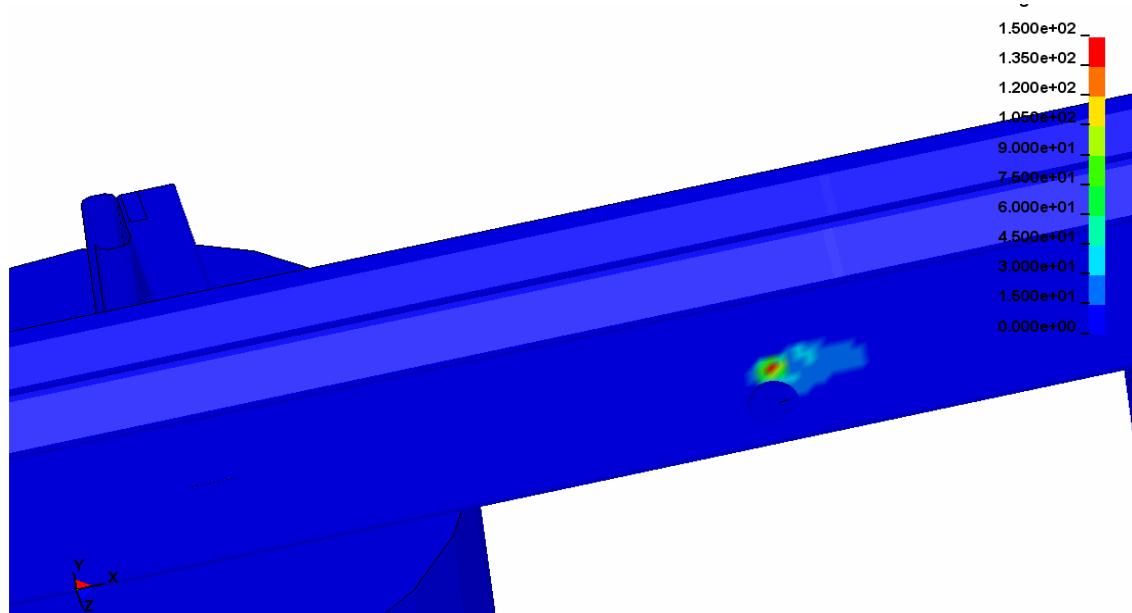


Figura 42 . Tensión máxima.

Se puede ver que en el momento de máxima tensión apenas se ve afectado el modelo.

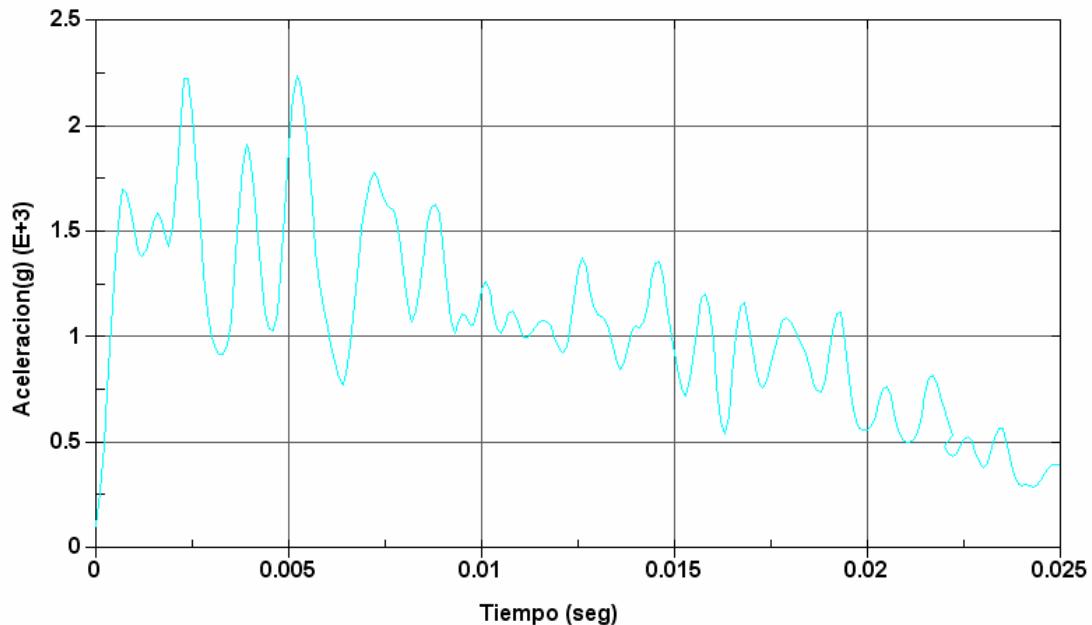


Figura 43 . Grafica aceleración.

Viendo que el modelo no rompe, se prosigue con las comprobaciones de las aceleraciones. En este caso se ve que son muy superiores a las obtenidas en el modelo actual, por lo que el daño sufrido por la cabeza es muy elevado.

## IMPACTO EN POSTE

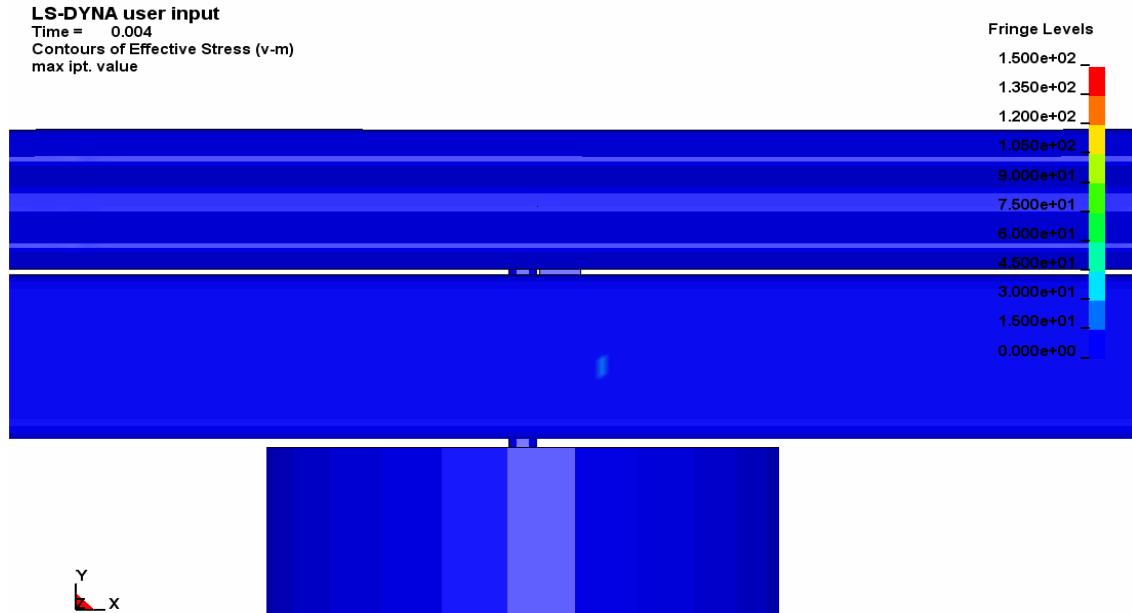


Figura 44. Impacto en poste

Se comprueban las tensiones sufridas, y se ve que tampoco sufre rotura, ya que el valor máximo obtenido es como el caso anterior, y se comporta de la misma manera, apenas viéndose afectado por el impacto.

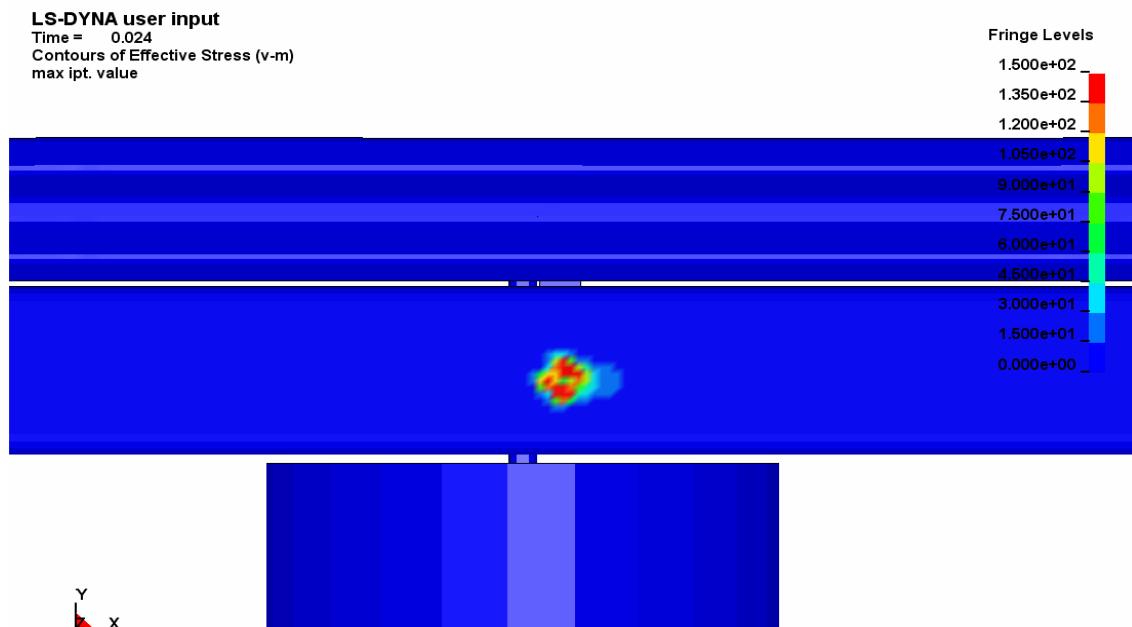


Figura 45. Tension maxima en poste.

En la grafica se observa, como ocurría con el impacto en el vano, que las aceleraciones sufridas son mucho más elevadas que en el modelo actual.

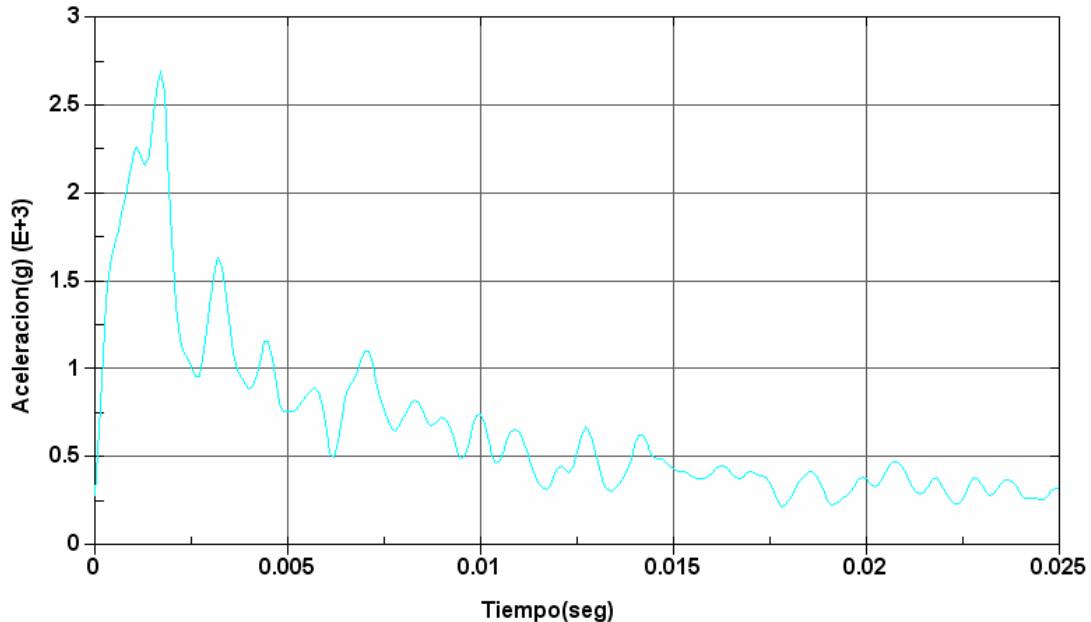


Figura 46. Grafica aceleraciones

Como ocurrió en el primer modelo planteado, se ve que la bionda no rompe por el impacto, pero debido a la baja absorción de energía, las aceleraciones sufridas por la cabeza son mucho mayores, por lo que este modelo no sería valido.

#### 4.3.3. MODELO S

Viendo los resultados obtenidos con los casos anteriores, y siguiendo con el criterio pensado en un primer momento, se diseñó un SPM con unas formas parecidas al actual SPM, es decir, manteniendo las curvas que presenta éste, pero aplicándolas de distinta manera.

Como en los casos anteriores, se utiliza la misma bionda superior, el separador, el poste y la tierra, únicamente se modifica la unión y el SPM.

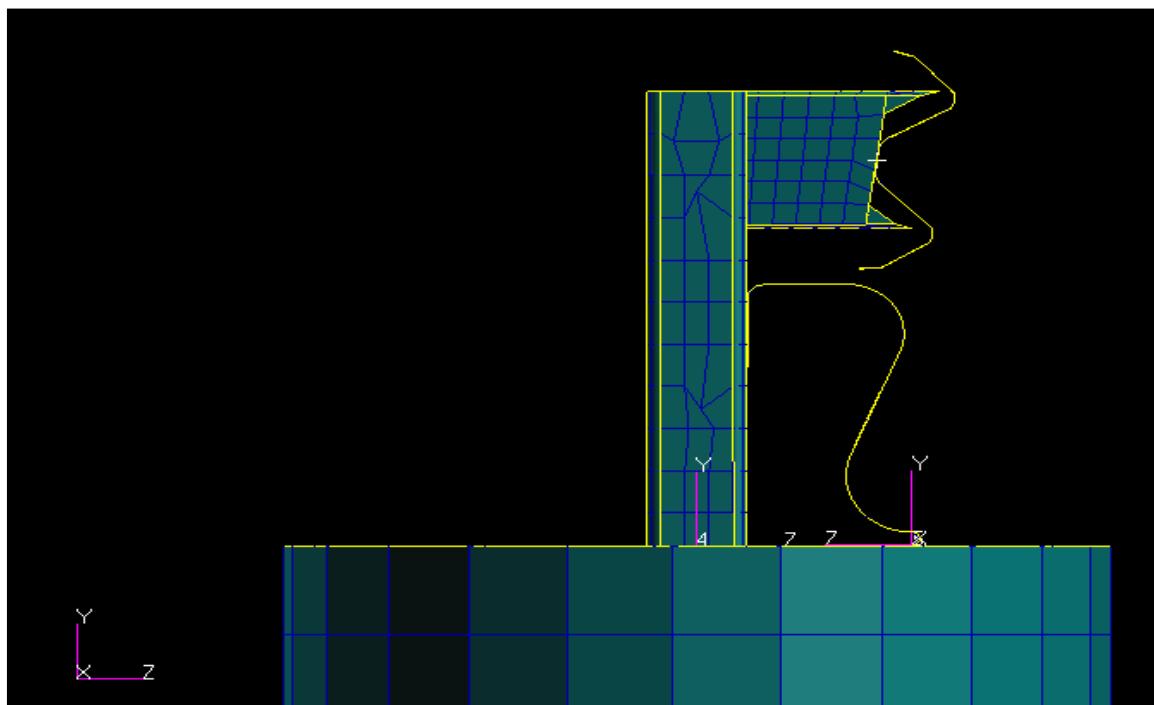


Figura 47. Modelo 3, bionda S

La bionda, tendría una superficie uniforme con dos curvas más amplias y una menor para evitar que el final de la superficie fuera una arista cortante en el sentido en que se produciría el impacto. La unión en este caso iría unida directamente al poste, sería similar a la actual, ya que tendría la misma forma pero en este caso formaría un ángulo de  $90^\circ$ . La unión al poste sería mediante un tornillo, y la unión a la bionda con dos tornillos.

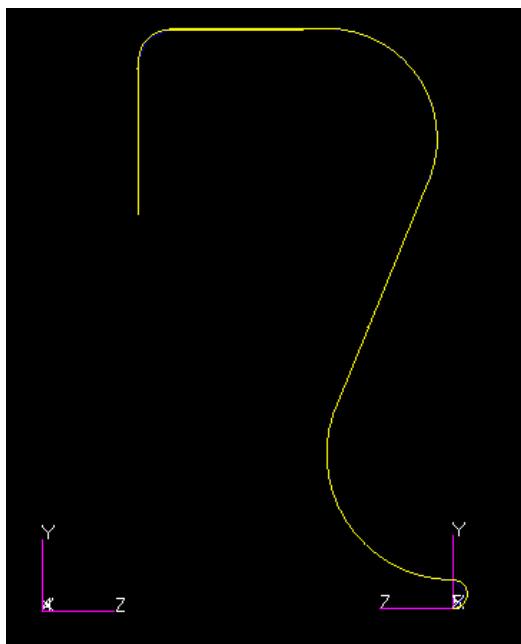
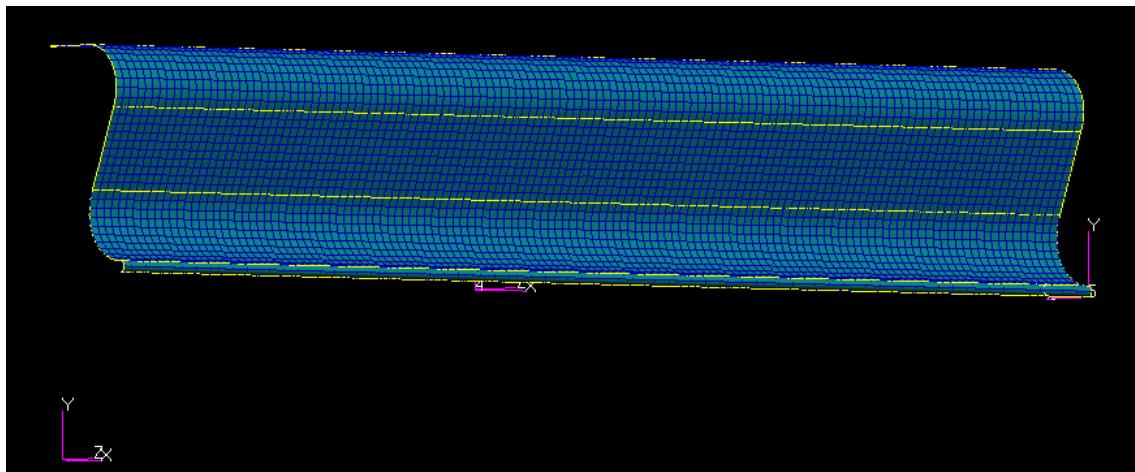


Figura 48 . Mallado y perfil.

En estas imágenes se puede apreciar como quedaría una vez mallado, así como el perfil del SPM y la unión.

Una vez tenemos la geometría lista, se pasa a crear la malla de la misma manera que se ha hecho en los anteriores casos. Y se comprueba mediante verify que todo está en orden.

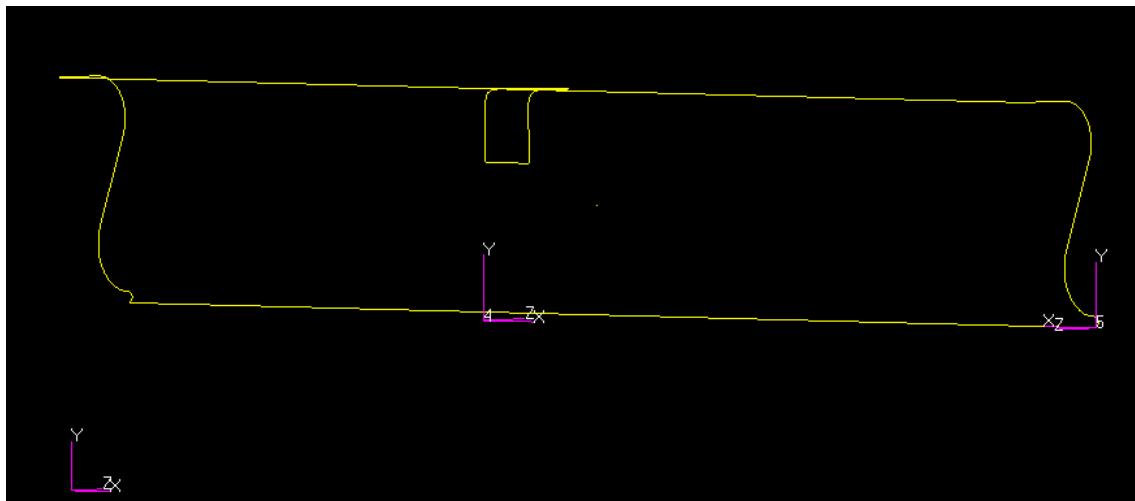


Figura 49 . Verificación

Ahora ya solo quedaría, aplicarle las propiedades a los nuevos elementos; en este caso, se utilizan las mismas propiedades que tenían la bionda inferior y la unión en el caso actual. Para finalizar, se analiza el modelo, y se obtiene el archivo .key, que posteriormente se utilizará en LS-Dyna. Pasando al siguiente programa,

Como en los casos anteriores, se deben establecer las condiciones de contorno, la gravedad, la velocidad del impacto, el ángulo y la posición de impacto. De esta forma se obtendrán también dos resultados.

## IMPACTO EN VANO

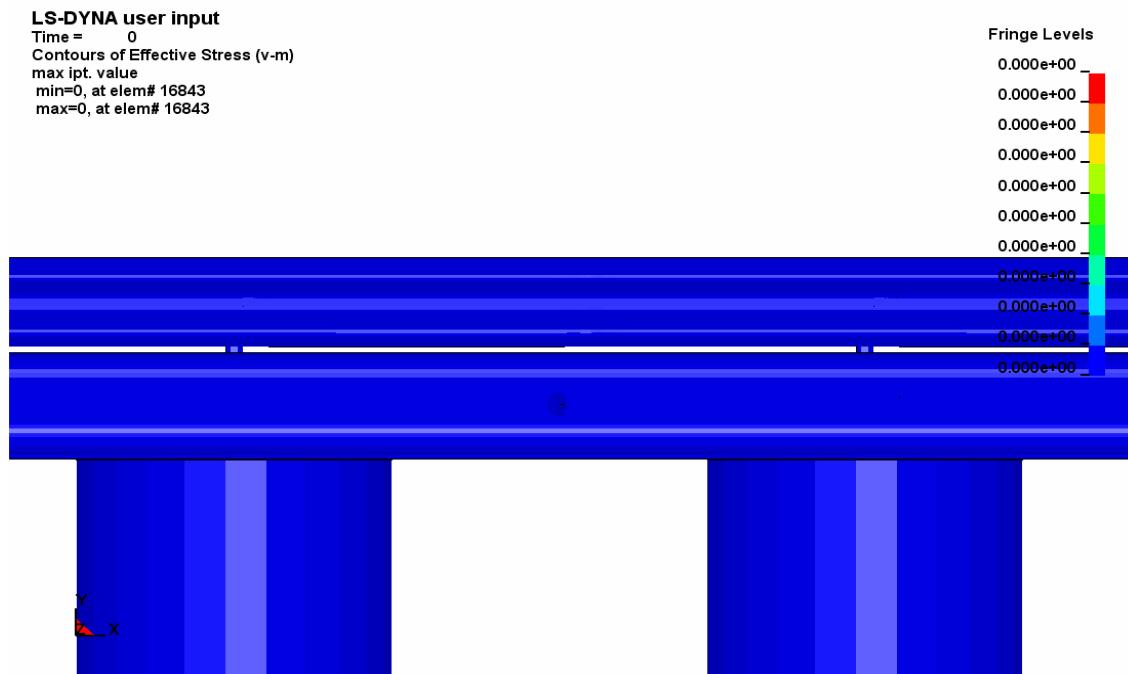


Figura 50. Impacto en vano

Se ven las tensiones que sufre este modelo, y se comprueba si sufre rotura o no. En este caso la tensión máxima que se obtiene es de 220 MPa, por lo que no sufre rotura siendo esta menor que el límite de rotura del material.

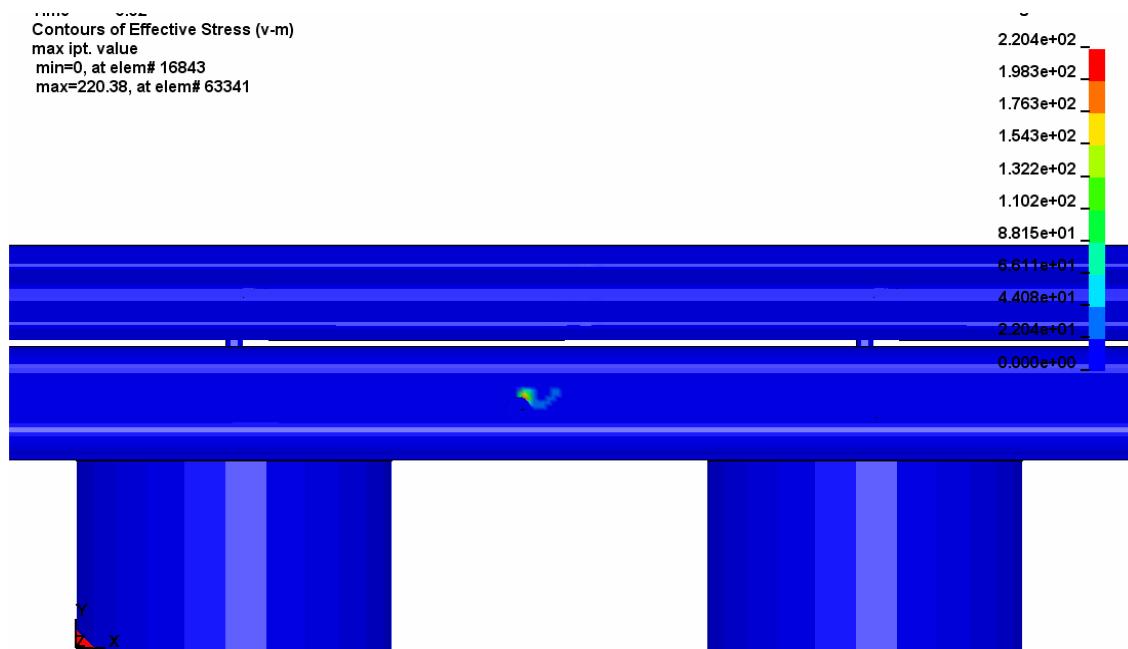


Figura 51 . Tensión máxima.

Se puede ver que en el momento de máxima tensión apenas se ve afectado el modelo.

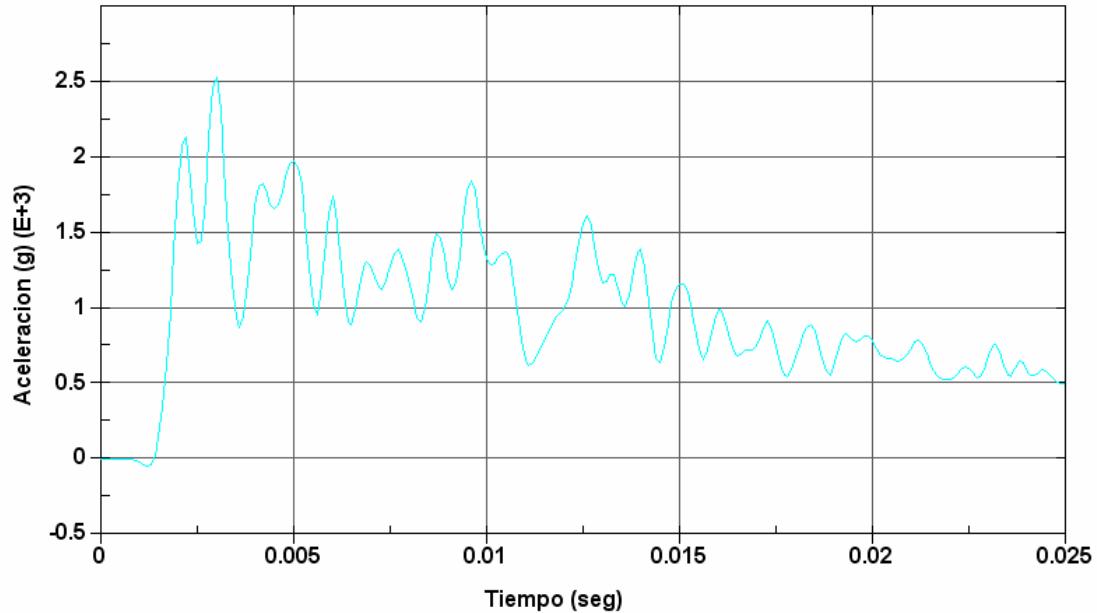


Figura 52 . Grafica aceleración.

Viendo que el modelo no rompe, se prosigue con las comprobaciones de las aceleraciones. En este caso se ve que son muy superiores a las obtenidas en el modelo actual, por lo que el daño sufrido por la cabeza es muy elevado.

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

## IMPACTO EN POSTE

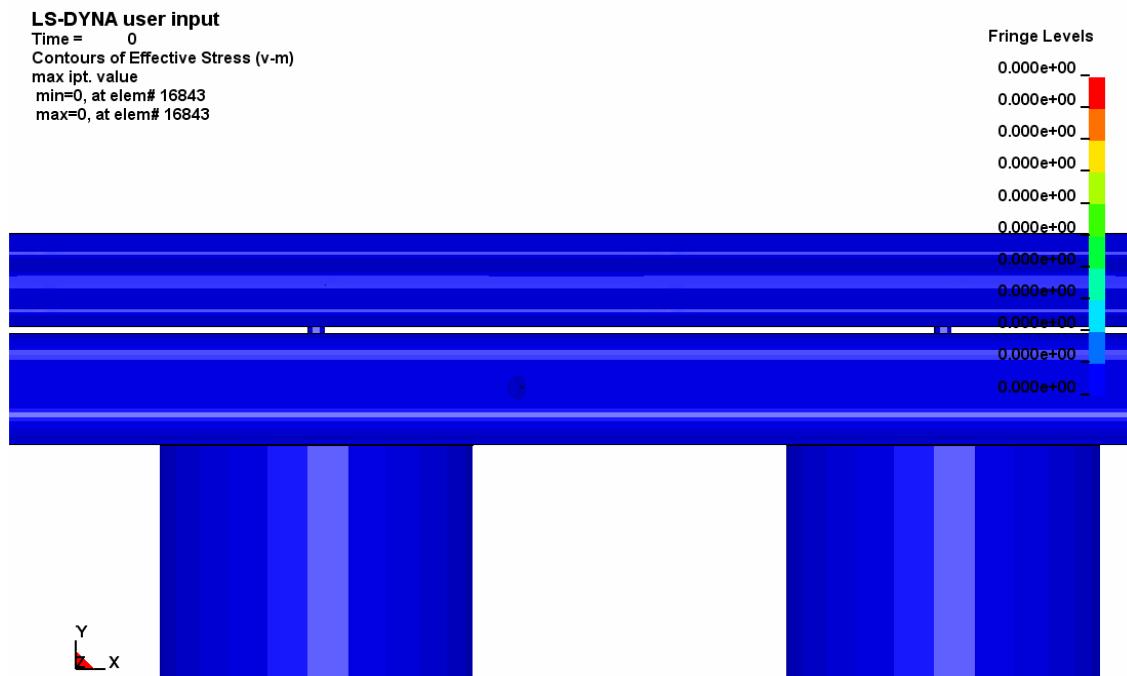


Figura 53. Impacto en poste

Se comprueban las tensiones sufridas, y se ve que tampoco sufre rotura, ya que el valor máximo obtenido es de aproximadamente 300 MPa y se comporta de la misma manera, apenas viéndose afectado por el impacto.

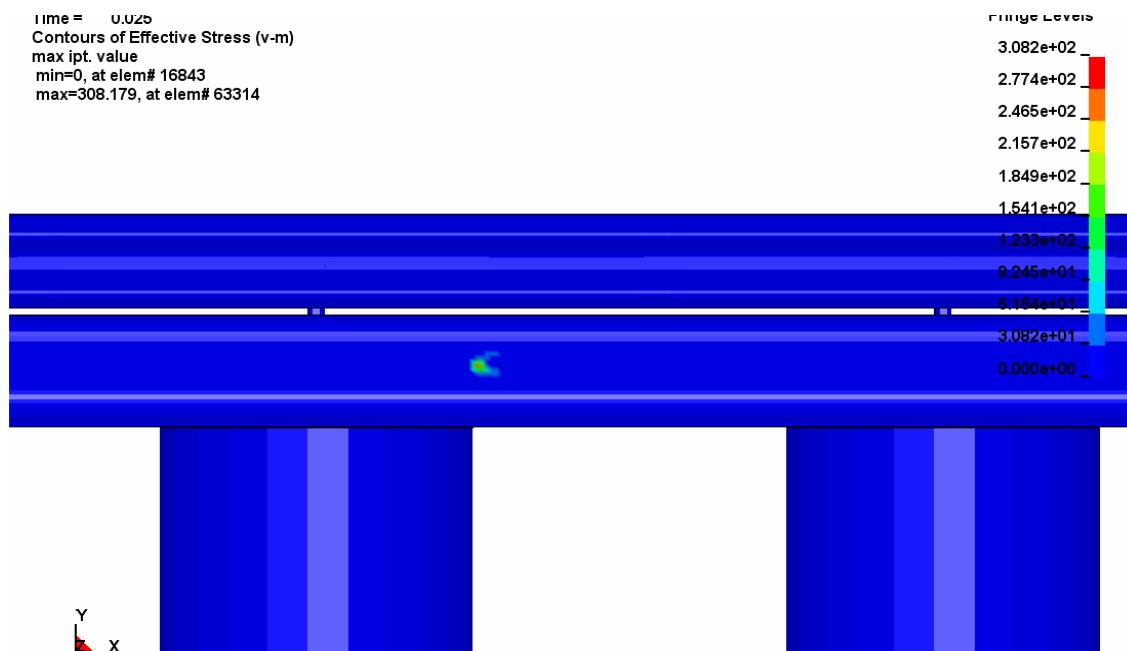


Figura 54. Tension maxima en poste.

En la grafica se observa, como ocurría con el impacto en el vano, que las aceleraciones sufridas son mucho más elevadas que en el modelo actual.

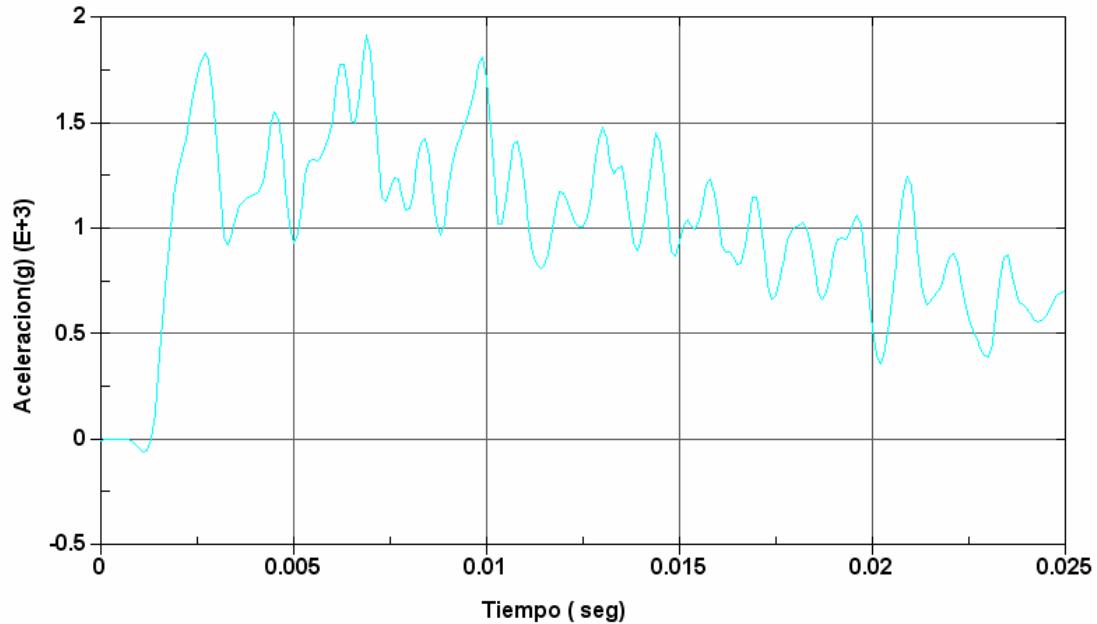


Figura 55. Grafica aceleraciones

Como ocurrió en el primer modelo planteado, se ve que la bionda no rompe por el impacto, pero debido a la baja absorción de energía, las aceleraciones sufridas por la cabeza son mucho mayores; por lo que este modelo no sería valido.

#### 4.3.4. MODELO C INVERSA

Viendo los resultados de los análisis anteriores, se hace algo totalmente distinto a lo realizado anteriormente, ya que los resultados no son satisfactorios.

Se realizará un diseño en el que la bionda este hacia fuera en vez de hacia dentro, con la intención de que en el impacto haya material para deformarse y absorber energía.

El diseño como en los modelos anteriores, se realiza en MSC Patran, por lo que lo único que se tiene que diseñar será el modelo de la bionda inferior y la unión con el separador.

El diseño de la bionda inferior será de dos superficies planas con un ángulo de inclinación de  $45^{\circ}$  unidas por una tercera superficie con forma redondeada que hará de unión de las dos anteriores.

Esta diseñada para que el impacto se realice en la superficie superior o en la redondeada, donde la absorción de energía será mayor.

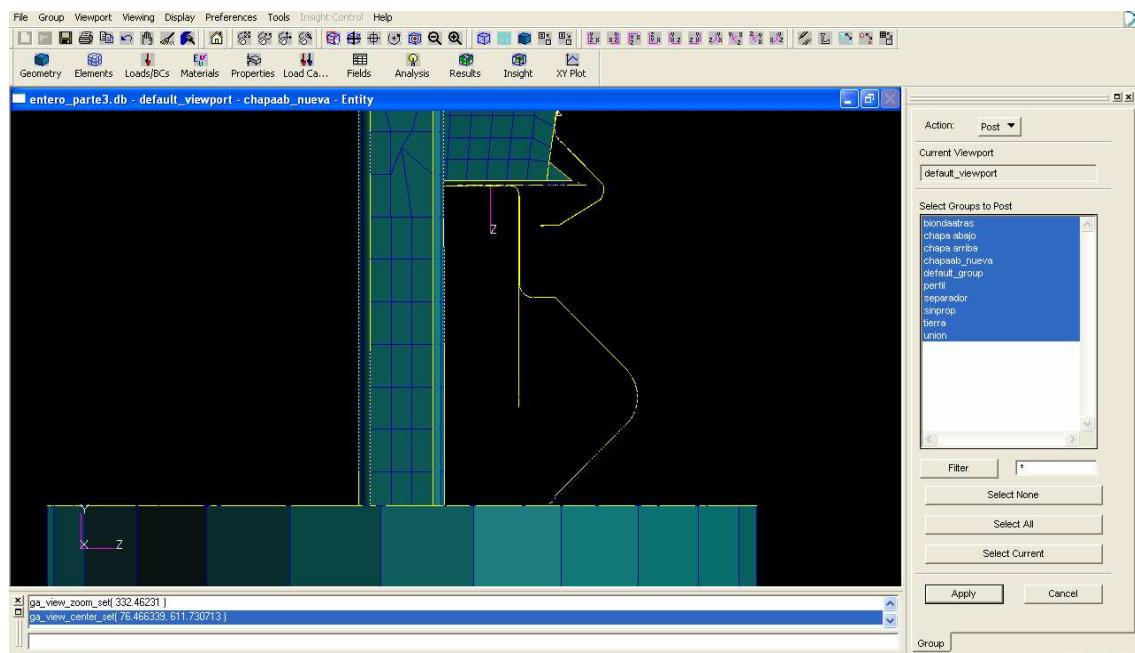


Figura 56 . Bionda

El diseño de la unión será muy parecido al anterior, con un ángulo de 90º para mayor sencillez, manteniendo la unión con el separador como en el caso inicial mediante dos tornillos, y mediante un tornillo a la bionda inferior. La única diferencia es el mayor tamaño de esta unión para poder resistir mejor el impacto.

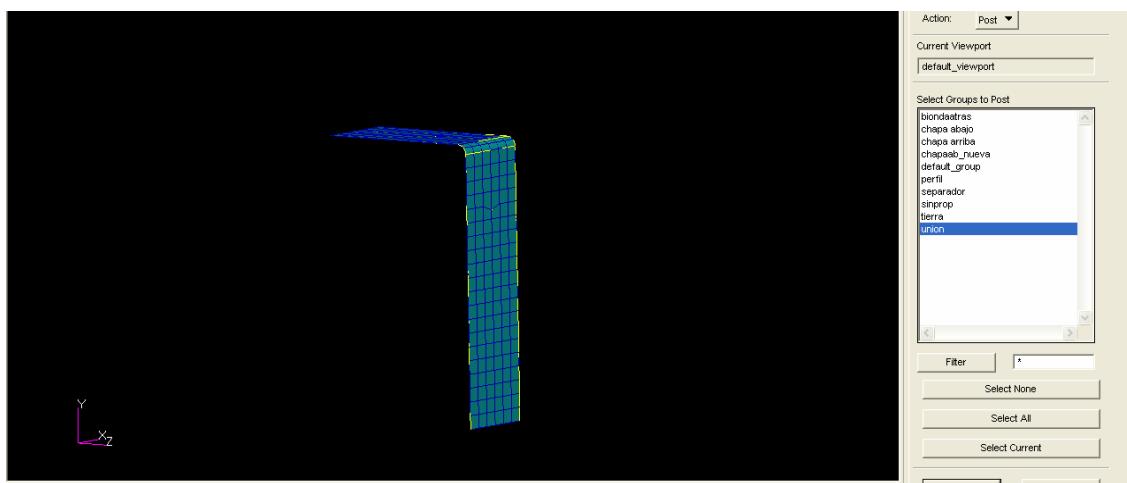


Figura 57 . Unión

Después de terminar con el diseño, habrá que mallar las superficies con los mismos tamaños que en los casos anteriores. Una vez hecho esto habrá que unificar las superficies en contacto para que solo exista una única malla y verificar mediante el comando verify, tras hacer todo esto el resultado debe ser una malla uniforme como la que se muestra a continuación:

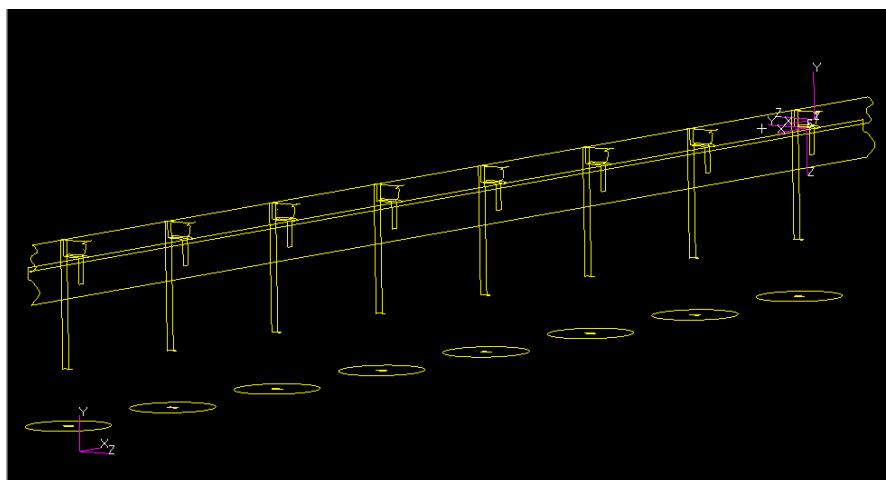


Figura 58 . Verificar.

Lo siguiente que se realiza será introducir las propiedades del material y analizar el archivo Patran por si hubiese algún error y para conseguir trasformarlo a un archivo.key.

Una vez se ha hecho esto, se puede continuar en el Ls\_Dyna, donde se introducirá la aceleración gravedad, el contacto entre las superficies del Dummy y la barrera, la velocidad y ángulo de impacto de la cabeza, los empotramientos de la barrera, que se realizaran en los extremos de ambas barreras y en la tierra, y se tomaran dos impactos uno en el centro del vano y otro en el poste.

Una vez hecho esto, solo queda comenzar el lanzamiento de la cabeza contra la barrera. Esto sacará dos resultados.

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

## IMPACTO EN EL VANO:

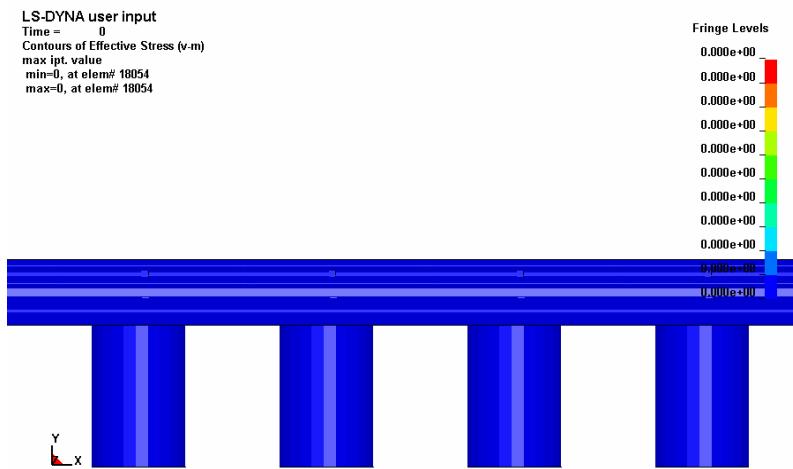


Figura 59 . Impacto en centro vano.

Lo primero que se va a observar es si la barrera rompe con el impacto de la cabeza, por lo que se busca el momento del impacto en el que la tensión será mayor, y se observa que el valor de dicha tensión es de 424 MPa, Valor muy inferior a la tensión máxima de rotura que es de 520 MPa. Y también es ligeramente inferior a la tensión existente en la bionda inicial.

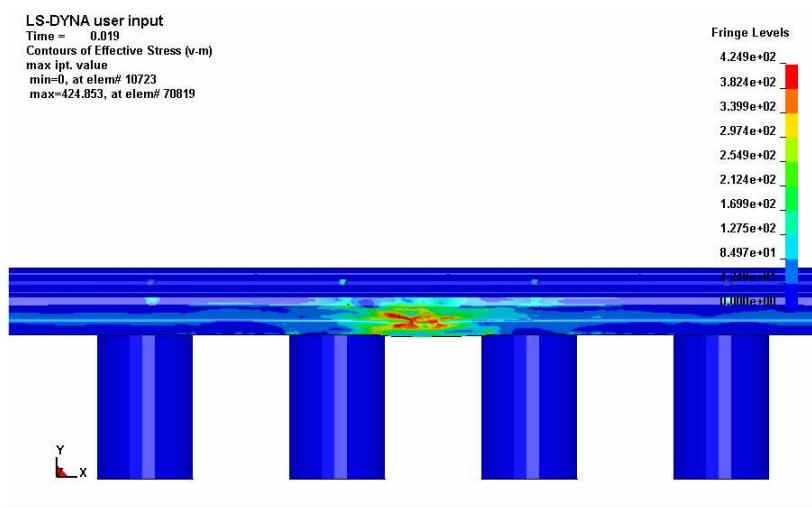


Figura 60 . Tensión máxima.

Cabe señalar algunos puntos, como puede ser la unión, donde se puede observar que en el momento de mayor tensión, esta es muy inferior a la máxima que puede recibir, por lo que la unión tampoco romperá.

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas

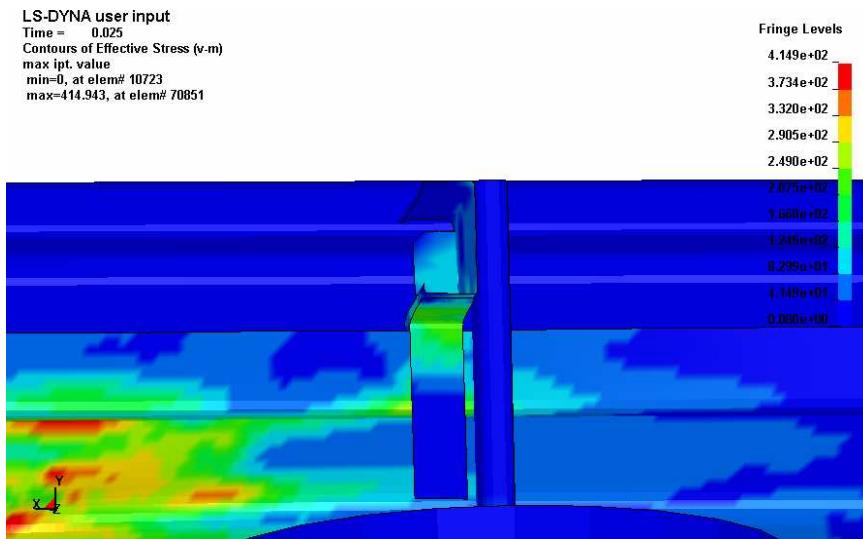


Figura 61 . Detalle tensión máxima

En este caso el poste alcanza una tensión máxima de 84 MPa, la cual sigue siendo muy inferior a la tensión de rotura.

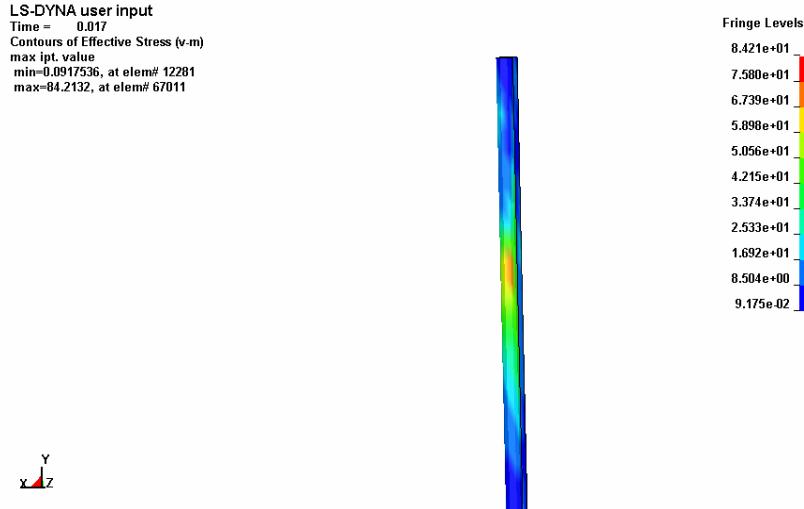


Figura 62. Detalle tensión en poste

Una vez se comprueba que no supera en ningún momento la tensión máxima de rotura, se pasará a ver los resultados de la aceleración que sufre la cabeza del dummy en el impacto.

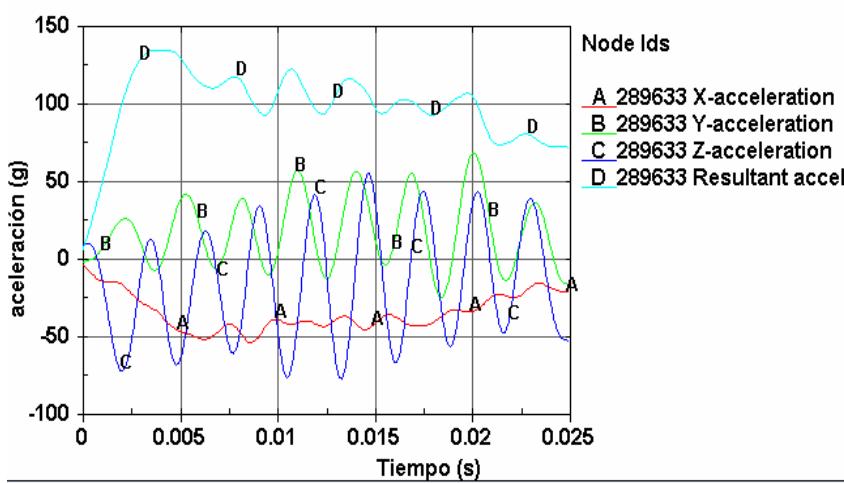


Figura 63 . Grafica aceleraciones.

Se puede observar que la aceleración máxima que recibe es de 130 g, muy inferior a las 300 g que nos daba el sistema inicial en este mismo impacto. Esto significa que hay una reducción del 56.7%. También se puede observar que la aceleración disminuye muy lentamente, lo cual no es aconsejable, pero si se mira en la gráfica de la bionda inicial se observa que cuando llega al valor de 130 g la disminución de la aceleración se atenúa, y disminuye de igual forma a esta última. Por lo que se ha conseguido eliminar la parte inicial del impacto donde la aceleración es mayor.

## IMPACTO EN DIRECCIÓN POSTE:

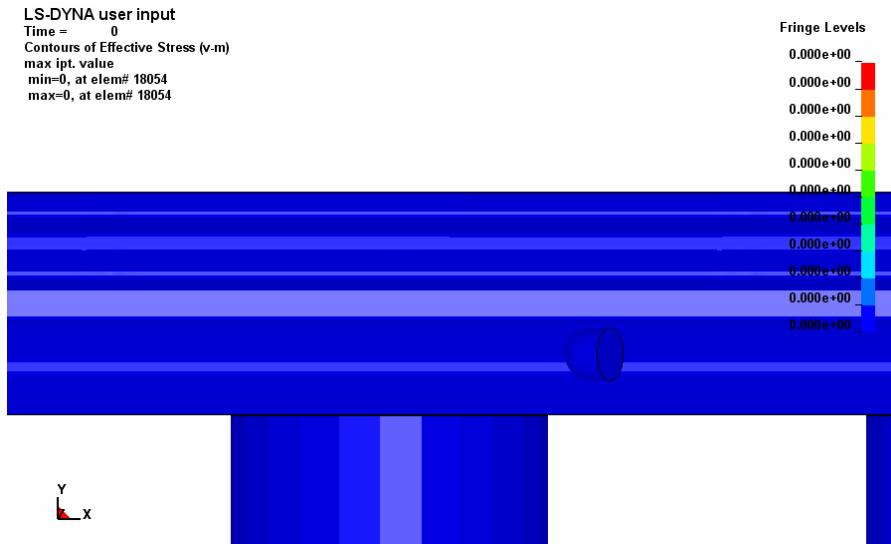


Figura 64 . Impacto contra poste.

Como en el caso anterior lo primero que se va a observar es si la bionda rompe por algún punto, por lo que se buscará el momento del impacto en el que la tensión será mayor. En este caso dicha tensión es de 419.8 MPa, muy inferior al límite de rotura de este material que se encuentra en 520 MPa. La tensión máxima también es inferior a la que se consigue en la bionda inicial.

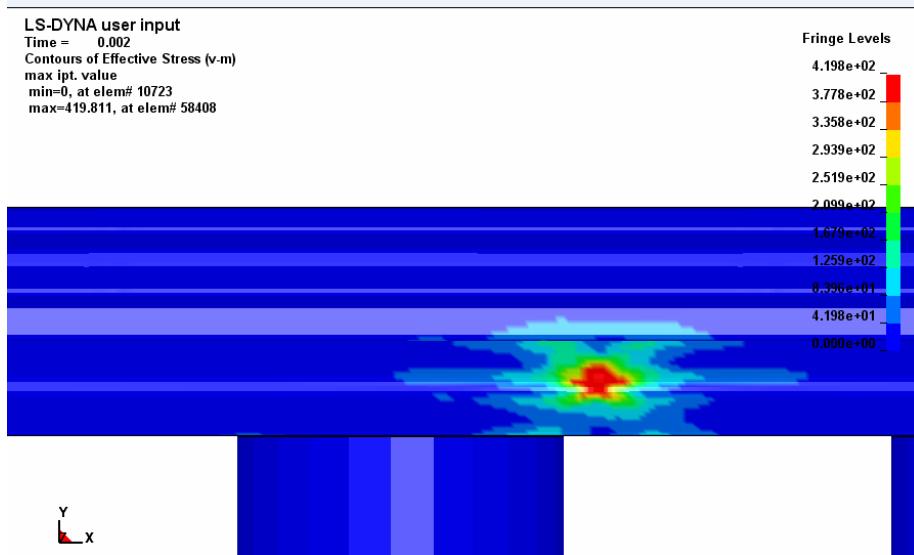


Figura 65 . Tensión máxima.

La tensión que se obtiene en la unión es de 94.3 MPa, muy inferior a la tensión máxima de rotura.

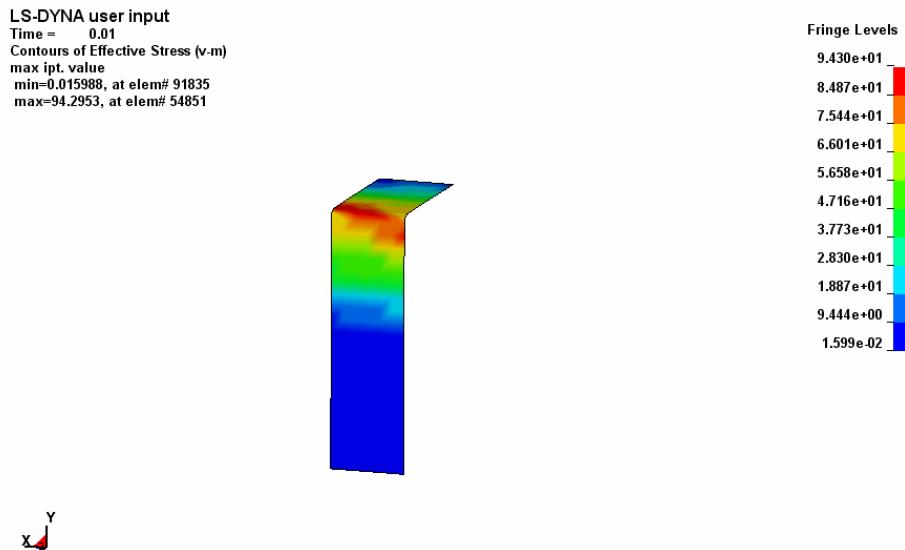


Figura 66 . Detalle tensión máxima.

El último caso que se debe observar es el del poste, donde se obtiene una tensión máxima de 19 MPa.

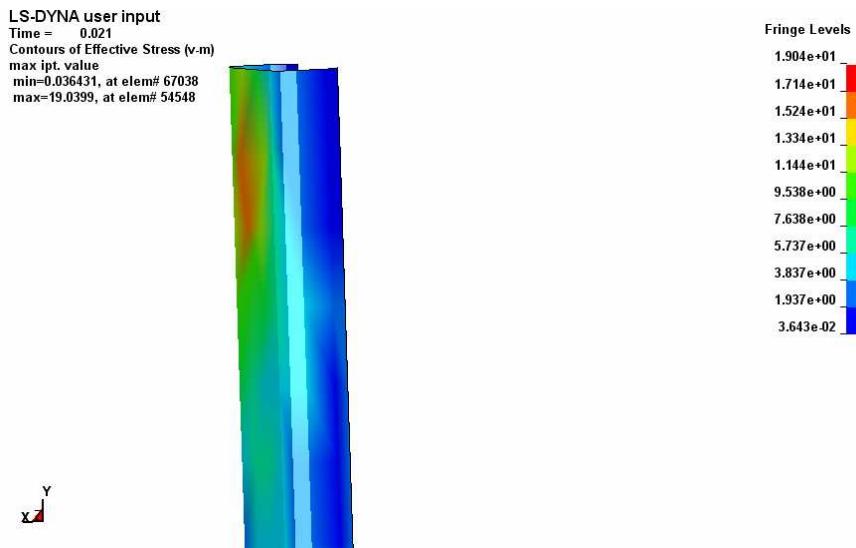


Figura 67 . Detalle tensión máxima

Una vez se ha visto que el modelo no rompe en su momento crítico por ningún punto pasaremos a estudiar las aceleraciones que sufre la cabeza.

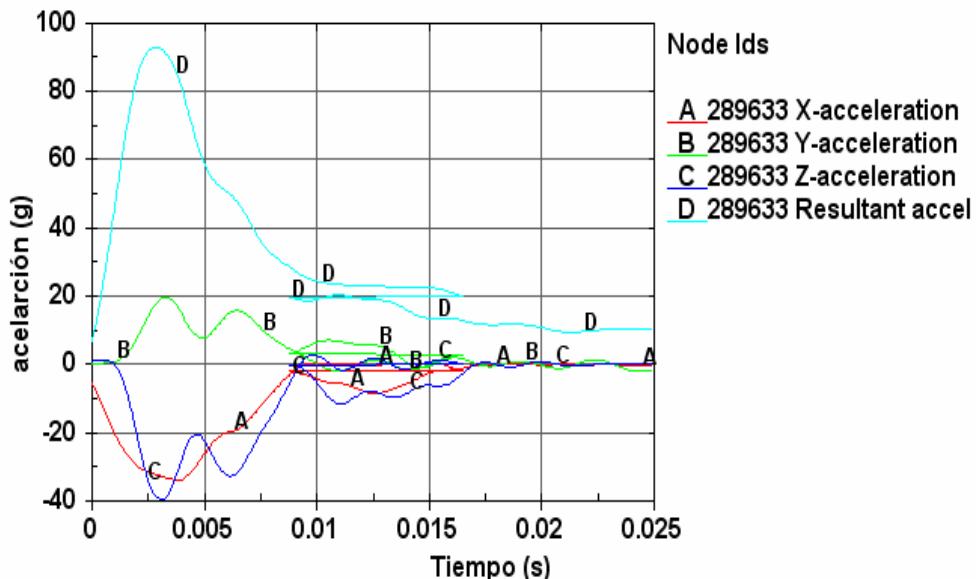


Figura 68 . Grafica aceleraciones.

En este caso la aceleración resultante máxima es de 90 g, un valor muy inferior al dado en el impacto en dirección poste del caso inicial, el cual era de 400g. esto significa que hay una reducción del 77,5%. Además la disminución de aceleración es muy rápida por lo que el área que engloba es mucho menor que en el caso inicial.

Viendo los resultados para ambos impactos de este modelo, se puede observar que se reducen las aceleraciones máximas que pudieran recibir un posible motorista en su salida de la calzada, así como el tiempo que mantiene una aceleración alta. Por lo que en este modelo se han conseguido resultados muy satisfactorios, mejorando el comportamiento de las actuales biondas, sin que estas se rompan.

## Capítulo V

### CONCLUSIONES

## 5.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

	Impacto vano tensión máxima ( MPa)	Impacto poste tensión máxima ( MPa)
Caso existente	427	428
Diseño 1	178	118
Diseño 2	150	150
Diseño 3	220	300
Diseño 4	424	419,8

Lo primero a tener en cuenta es que en ninguno de los diseños analizados, tanto en el existente como en los nuevos diseños, el material alcanza la tensión de rotura de 520 MPa, esto es lo primero que se exigía a los nuevos diseños.

Llegando en algunos casos a tensiones de 118 MPa, con una reducción del 72% respecto al caso ya existente.

En este caso no es tan importante la reducción, ya que con que el material no rompa será suficiente, siendo los valores a reducir los de las aceleraciones que se muestran en la tabla siguiente.

	Aceleración impacto vano (g)	Aceleración impacto poste (g)
Caso existente	300	400
Diseño 1	1300	1900
Diseño 2	2200	2700
Diseño 3	2500	1800
Diseño 4	130	90

En la tabla anterior se muestra las distintas aceleraciones que se han obtenido en los diferentes ensayos analizados, tanto en los casos existentes como en los nuevos diseños.

Se puede observar como en los tres primeros diseños se obtienen unos resultados muy superiores al del caso existente, llegando a aumentar la aceleración de la cabeza en un 675% en el impacto al poste, y de un 730% en el impacto al vano.

En el último diseño se obtiene un resultado muy inferior al resto, incluso al de la bionda ya existente, reduciendo en un 56,7% las aceleraciones sufridas por la cabeza en el impacto contra el vano, y en un 77,5% menor, en el ensayo del impacto contra el poste.

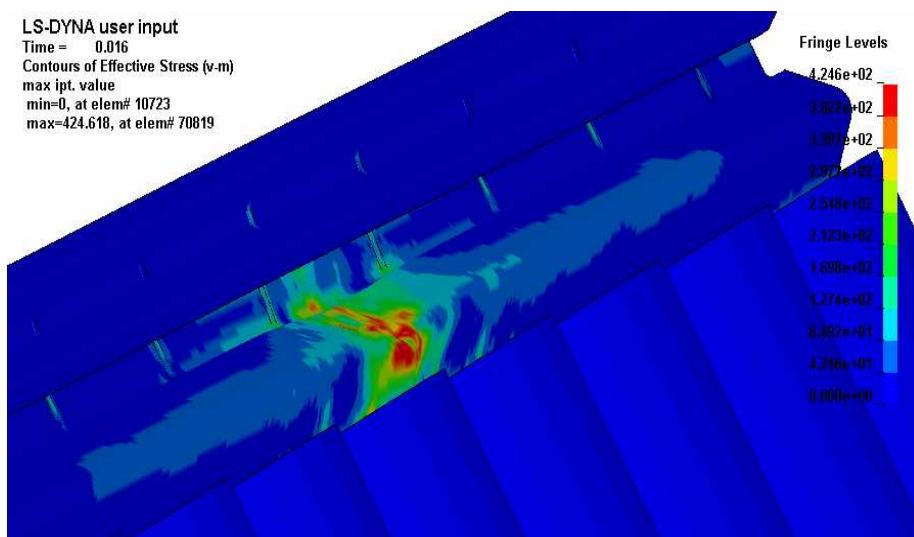


Figura 69. SPM con resultados positivos.

Se puede apreciar que se han conseguido los objetivos del proyecto, ya que en el diseño número 4, la bionda no rompe por ningún punto tras el impacto. Y además se han conseguido unas reducciones de las aceleraciones sufridas por la cabeza muy significativas, lo que reduce la severidad del impacto de la cabeza contra la bionda. Siendo este el objetivo principal de este proyecto.

## 5.2. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La primera y principal limitación con la que uno se encuentra es el material a usar, siendo este el acero.

Pudiendo utilizar solo el acero, dejaba dos únicas posibilidades para poder trabajar en la búsqueda de mejoras.

La primera es la modificación del diseño de la bionda inferior, intentando conseguir un perfil que absorbiese mayor energía que el existente.

La segunda era la variación de los espesores, hasta conseguir uno, que siendo mínimo consiguiese que el material no sufriese rotura tras el choque.

La línea de trabajo seguida se decantó por la modificación del diseño, ya que era la que más libertad daba a la hora de conseguir una bionda que mejorase las características de la ya existente.

Sin embargo, con la posibilidad de utilizar otros materiales, tanto como complemento al acero, como por ejemplo la posibilidad de recubrir la bionda con algún tipo de material que absorbiese energía; como para la fabricación en si del SPM o de las partes más “sensibles” con dicho material, darían lugar a un numero mayor de posibilidades que podrían llegar a ser validas.

## Capítulo VI

### BIBLIOGRAFÍA

## 6.1. BIBLIOGRAFÍA

Guión prácticas Elasticidad y Resistencia de los materiales.

Manuales Patran y LS-Dyna.

Wikipedia.

[www.asebal.com](http://www.asebal.com)

[www.fomento.es](http://www.fomento.es)

[www.hiasa.com](http://www.hiasa.com)

[www.oepm](http://www.oepm) Oficina Española de Patentes y Marcas.

[www.carreteros.org](http://www.carreteros.org)

[www.mutuamotera.es](http://www.mutuamotera.es)

Foros sobre los quitamiedos

## Capítulo VII

### ANEXOS

## 7.1. ANEXO I: NORMA UNE 135 900

### 1.1 ENSAYOS

Se considera que el cuerpo del motorista y la motocicleta describen trayectorias diferentes al sufrir una caída.

Esta norma describe la realización de, al menos, tres ensayos consistentes en el lanzamiento de un dummy normalizado provisto con el traje, botas... típicas de motorista, y por supuesto el casco. Dicho maniquí se lanza siempre tumbado boca arriba en posición horizontal, completamente extendido y apoyado sobre la espalda. La velocidad de la cabeza en el instante del impacto debe ser de 60 Km/h y la trayectoria formará siempre un ángulo de 30º con la barrera de seguridad. Los tres ensayos requeridos son los siguientes:

- PRIMER lanzamiento. El impacto se realiza en el centro del vano, es decir aproximadamente en el centro entre dos postes; el maniquí se sitúa con el eje de la columna coincidente con la trayectoria de aproximación y su cabeza orientada hacia el punto de impacto.

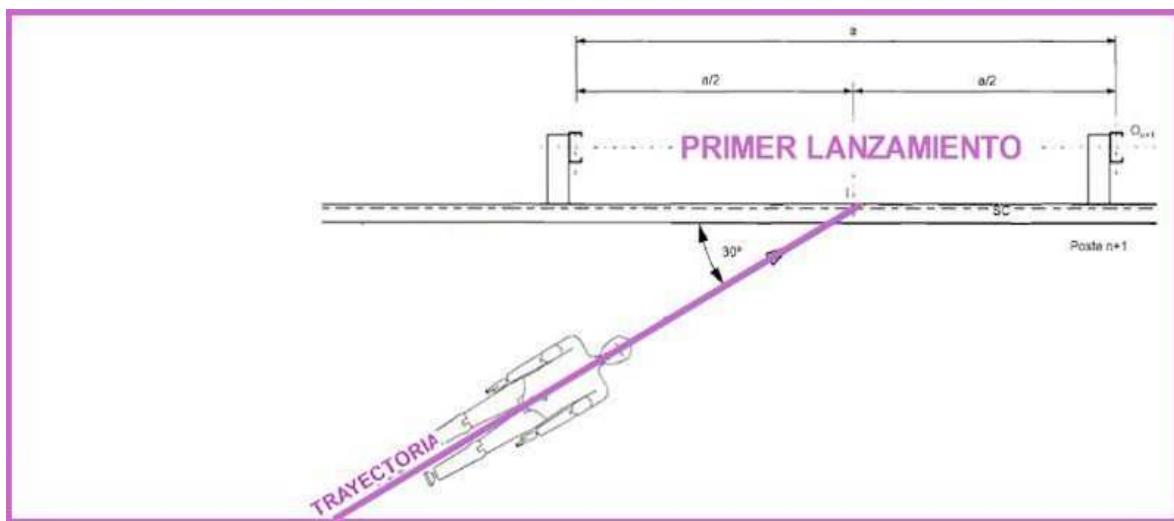


Figura 70 . Lanzamiento 1

- SEGUNDO lanzamiento. El impacto se realiza centrado en el poste, el maniquí se sitúa con el eje de la columna vertebral coincidente con la trayectoria de aproximación y su cabeza orientada hacia el punto de impacto.

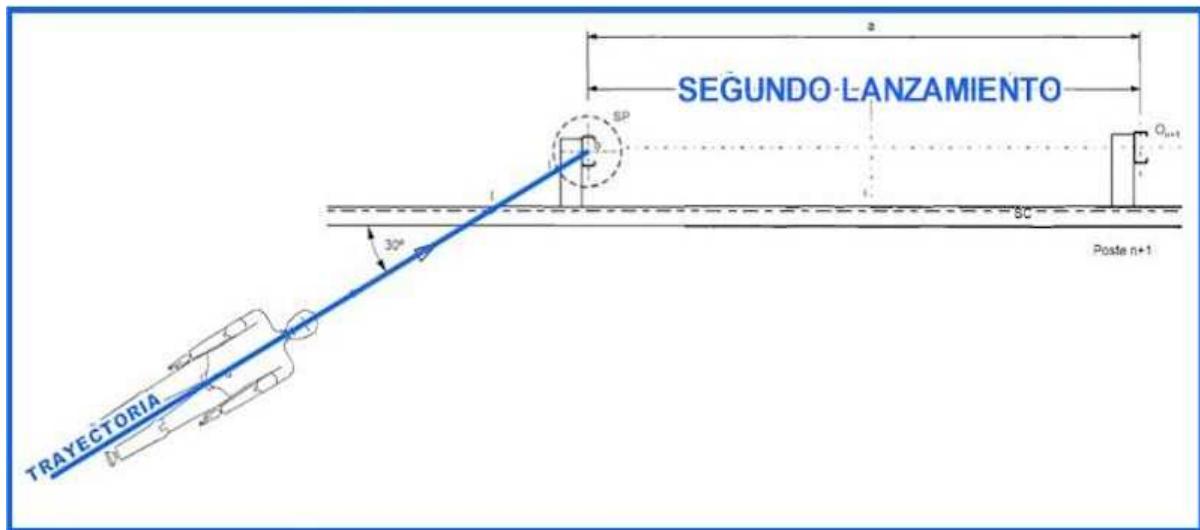


Figura 71 . Lanzamiento 2.

- TERCER lanzamiento. El impacto se realiza centrado en el poste; como en el caso anterior, pero en este caso el maniquí se sitúa paralelo a la barrera de seguridad.

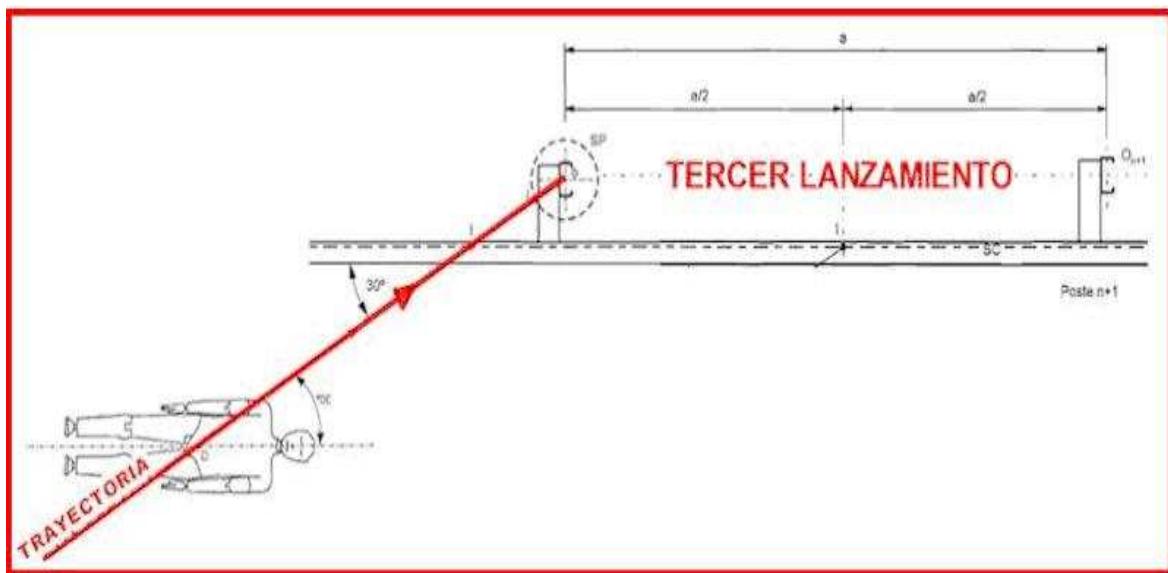


Figura 72 . Lanzamiento 3.

Estos son los tres casos a probar, eso no quiere decir que si se considera que en el SPM existe algún otro punto de impacto más crítico que los casos anteriores, se podrá definir otro ensayo de impacto adicional en dicho punto.

Respecto a las condiciones:

- La longitud mínima de la barrera a ensayar será de 16m.
- El lugar del ensayo, en general, una superficie plana con un desnivel no superior al 2,5%, estará pavimentado y el pavimento será suficientemente resistente.
- Respecto a la cimentación de los postes y el suelo de instalación de la barrera, no menciona ninguna especificación.
- Equipamiento del maniquí.

Casco comercial integral que requiere ser sometido a dos ensayos previos para su aceptación.

Traje de motociclista de cuero de 1 a 1,5 mm de espesor.

Guantes de cuero.

Botas de motociclista.

Masa total del Dummy instrumentado y vestido será de 87,5 kg ± 2,5 Kg

- Desviaciones admisibles:

Velocidad: -0% a +6%.

Angulo de impacto: ±2°.

Punto de impacto: ±2 cm.

## 1.2 ÍNDICES BIOMECÁNICOS

En cada uno de los ensayos se medirán unos índices biomecánicos representativos de los riesgos de lesiones en la cabeza ( $HIC_{36}$  función de las aceleraciones  $A_x$ ,  $A_y$  y  $A_z$ ), en el cuello ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$  y  $M_z$ ) y en el tórax, se considerará como valor de cada índice el mayor valor de ese índice en los tres ensayos realizados.

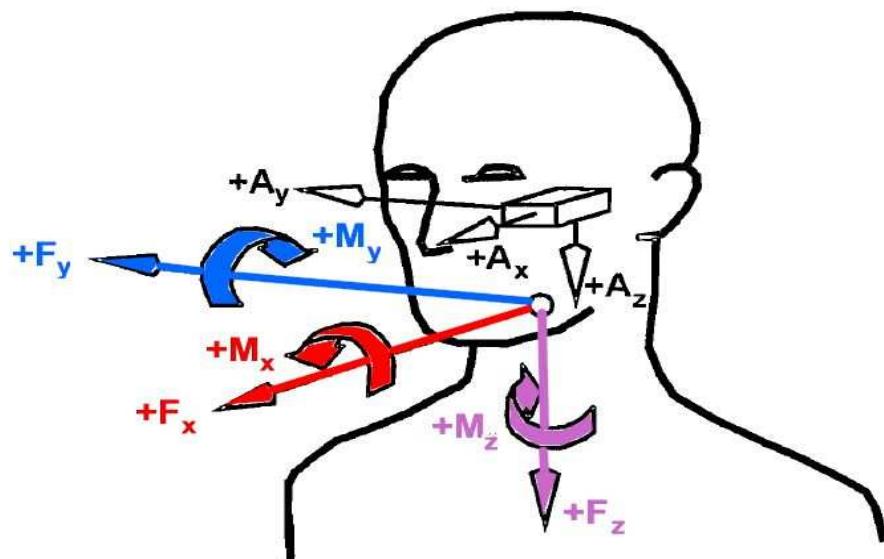


Figura 73 . Índices biomecánicos.

### 1.3 NIVELES DE SEVERIDAD

Se establecen dos niveles de severidad admisibles: I y II (el nivel I es más restrictivo, máximas garantías de protección frente al impacto contra el SPM; el nivel II dispone de un nivel inferior al nivel I, y aunque garantice la vida del motorista en las condiciones de ensayo, podría derivar en un resultado lesivo más severo.). Para clasificar un sistema para protección de motociclistas como nivel I todos los valores de los índices de los tres ensayos deben ser “nivel I”, si alguno no cumple como nivel I pero todos cumplen como nivel II se considerara al sistema para protección de motociclistas como nivel II. En el caso de que alguno de los valores de los índices en los tres ensayos no cumpliera como nivel II se considerara inadmisible dicho sistema de protección.

Nivel de severidad	Cabeza	Cuello				Tórax	
	HIC <sub>36</sub>	F <sub>x</sub> (kN)	F <sub>z</sub> tracción(kN)	F <sub>z</sub> compresión(kN)	M <sub>y</sub> (N.m)	Deflexión máx.(mm)	V.C <sub>max</sub> (m/s)
I	≤ 500	≤ Curva1	≤ Curva 2	≤ 4	≤ 42	≤ 22	≤ 0,32
II	≤ 1000	≤ Curva3	≤ Curva 4	≤ 4	≤ 57	≤ 42	≤ 1

( Las curvas 1, 2, 3 y 4 están incluidas en el texto de la UNE)

#### 1.4. OTRAS COMPROBACIONES.

Deberá comprobarse además de todo lo anterior que:

- Ningún elemento de más de 2 kg deberá resultar totalmente desprendido.
- No se admiten intrusiones, roturas completas de tronco, decapitación o desmembramientos del maniquí.
- No se admiten cortes en la vestimenta del maniquí que la atraviese completamente.
- No se permiten enganchamientos del maniquí.
- No se permiten anchuras de trabajo ni deflexiones dinámicas superiores a los obtenidos ante el impacto de vehículos.
- Ninguna parte del maniquí debe sobrepasar el SPM.

## 7.2. ANEXO II: ORDEN CIRCULAR 18bis/2008

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Debido al aumento tanto de motocicletas como de los accidentes sufridos por estos vehículos, fue necesario actualizar la normativa anterior, la Orden Circular 18/2004.

Por otro lado, había que tener en cuenta también, el interés que estos elementos suponían para la industria; por lo que estos debían cumplir tanto con los requisitos mínimos establecidos en las normas UNE –EN 1317, como los referentes a la protección de motoristas recogidos en la UNE 135900, así como tener en cuenta los diferentes niveles de severidad.

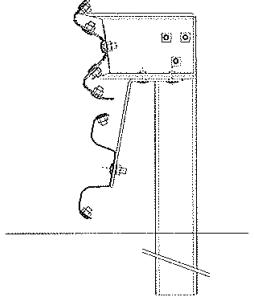
Por todo esto, vamos a destacar algunas de las consideraciones que se describieron en esta orden:

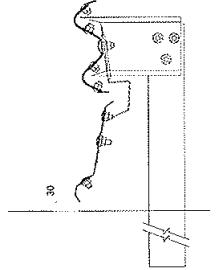
- Se ampliaron los criterios de aplicación anteriores.
- Se aprobó el siguiente catálogo (Al final de este anexo encontraremos una serie de características de los diferentes modelos de protección)
- Los SPM tendrían que acreditar por medio de un certificado de conformidad el grado de cumplimiento de la UNE 135900. A su vez, al disponerse sobre elementos de contención de vehículos, deberían obtener el marcado CE para el conjunto total.
- En las barreras en servicio en ese momento con postes que no se encontraran en la OC321/95 TyP, o en disposiciones que no

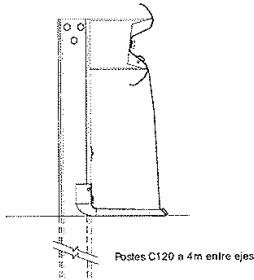
permitieran la aplicación de barreras continuas; se permitía el uso de sistemas de protección puntual que cumplieran los ensayos establecidos tanto en la UNE 135900 como en la UNE-EN 1317.

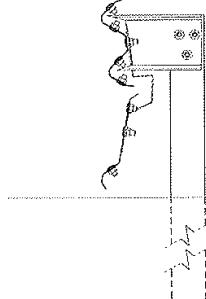
- El empleo de un tipo u otro de protección estaría condicionado por las características del tramo de carretera y las condiciones de conservación. Generalmente se emplearían aquellos sistemas que presentando un índice de severidad menor, permitieran una mejor conservación y explotación del tramo de carretera.

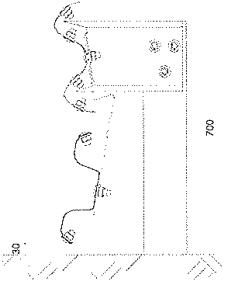
DENOMINACIÓN	NOMBRE COMERCIAL	NIVEL DE CONTENCIÓN	ÍNDICE DE SEVERIDAD
SISTEMAS CONTINUOS			
BMSNA2/120b		N2	I
BMASNA2/120c	SPM-ES2	N2	I
BMSNA4/120d	BASYC	N2	II
BMSNA4/120c	SPM-ES4	N2	I
BMSNA4/120f	SCCM	N2	II
BMSNA4/120g	SPM-ES4TUB	N2	I
SISTEMAS PUNTUALES			
BMSNA4/120E	SPM-AED1	N2	II

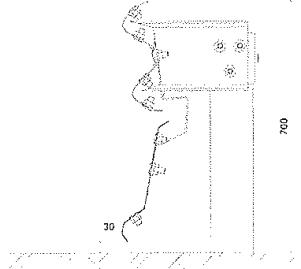
Barrera metálica simple para protección de motociclistas BMSNA2/120b	Definición	A.2.13/1
		<b>Fichas a consultar:</b> O.2.1/1 O.2.1/2 O.2.1/5
<b>Clase, nivel de contención:</b> L2, N2	<b>Anchura de trabajo:</b> W4	<b>Índice de severidad:</b> A (UNE-EN 1317) y I (UNE 135900)
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas	
<b>Observaciones adicionales:</b>		
<b>Materiales:</b>	Acero S 235 JR	
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, UNE-EN 10025 y UNE-EN ISO 1461	
<b>Fecha aprobación:</b> Diciembre 2004	<b>Fecha última revisión:</b> Diciembre 2004	

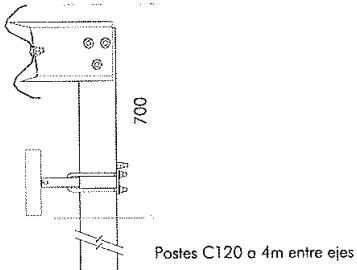
<b>Barrera metálica simple para protección de motociclistas SPM-ES2 BMSNA2/120c</b>		<b>Definición</b>	<b>A.2.18/1</b>
			<b>Fichas a consultar:</b> O.2.1/1 O.2.1/2 O.2.1/3 O.2.1/5
<b>Clase, nivel de contención:</b> L2, N2	<b>Anchura de trabajo:</b> W4	<b>Índice de severidad:</b> A (UNE-EN 1317 y I (UNE 135900)	
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas		
<b>Observaciones adicionales:</b>	Este sistema puede estar sujeto a propiedad industrial		
<b>Materiales:</b>	Acero S 235 JR		
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, UNE-EN 10025 y UNE-EN ISO 1461		
<b>Fecha aprobación:</b> Febrero 2008		<b>Fecha última revisión:</b> Febrero 2008	

<b>Barrera metálica simple para protección de motociclistas BASYC BMSNA4/120d</b>		<b>Definición</b>	<b>A.2.16/1</b>
 <p>Postes C120 a 4m entre ejes</p>			<b>Fichas a consultar:</b>
<b>Clase, nivel de contención:</b> L2 , N2	<b>Anchura de trabajo:</b> W5	<b>Índice de severidad:</b> A (UNE-EN 1317) y II (UNE 135900)	
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas		
<b>Observaciones adicionales:</b>	<p>Este sistema está bajo patente</p> <p>Según especificaciones del fabricante, deben realizarse comprobaciones de la tensión de la malla cada seis meses como mínimo</p>		
<b>Materiales:</b>	Aceros S 235 JR, S 275 JR, hilo de poliéster		
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, DIN 7504, UNE-EN 10025, UNE-EN ISO 1461		
<b>Fecha aprobación:</b> Junio 2006	<b>Fecha última revisión:</b> Junio 2006		

<b>Barrera metálica simple para protección de motociclistas SPM-ES4 BMSNA4/120c</b>		<b>Definición</b>	<b>A.2.15/1</b>
			
<b>Clase, nivel de contención:</b>	L2 , N2	<b>Anchura de trabajo:</b>	<b>Índice de severidad:</b> A (UNE-EN 1317) y I (UNE 135900)
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas		
<b>Observaciones adicionales:</b>	Este sistema está bajo patente		
<b>Materiales:</b>	Acero S 235 JR		
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, UNE-EN 10025 y UNE-EN ISO 1461		
<b>Fecha aprobación:</b>	Febrero 2006	<b>Fecha última revisión:</b>	Febrero 2006

<b>Barrera metálica simple para protección de motociclistas SCCM</b> <b>BMSNA4/120f</b>		Definición	A.2.19/1
 <p>Postes C120 a 4m entre ejes</p>			<b>Fichas a consultar:</b> O.2.1/1 O.2.1/2 O.2.1/3 O.2.1/5
<b>Clase, nivel de contención:</b>	L2, N2	<b>Anchura de trabajo:</b>	W5
<b>Índice de severidad:</b>	A (UNE-EN 1317) y II (UNE 135900)		
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas		
<b>Observaciones adicionales:</b>	Este sistema puede estar sujeto a propiedad industrial		
<b>Materiales:</b>	Acero S 235 JR		
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, UNE-EN 10025 y UNE-EN ISO 1461		
<b>Fecha aprobación:</b>	Junio 2008	<b>Fecha última revisión:</b>	Junio 2008

<b>Barrera metálica simple para protección de motociclistas</b> <b>SPM-ES4TUB</b> <b>BMSNA4/120g</b>		<b>Definición</b>	<b>A.2.20/1</b>
		<b>Fichas a consultar:</b> O.2.1/1 O.2.1/2 O.2.1/3 O.2.1/5	
<b>Clase, nivel de contención:</b> L2, N2 <b>Anchura de trabajo:</b> W4 <b>Índice de severidad:</b> B (UNE-EN 1317) y I (UNE 135900)			
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas		
<b>Observaciones adicionales:</b>	Este sistema puede estar sujeto a propiedad industrial		
<b>Materiales:</b>	Acero S 235 JR		
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, UNE-EN 10025 y UNE-EN ISO 1461		
<b>Fecha aprobación:</b>	Junio 2008	<b>Fecha última revisión:</b>	Junio 2008

<b>Barrera metálica simple para protección de motociclistas SPM-AE01 BMSNA4/120e</b>		<b>Definición</b>	<b>A.2.17/1</b>
			<b>Fichas a consultar:</b> O.2.1/1 O.2.1/2 O.2.1/3 O.2.1/5
 <p>Postes C120 a 4m entre ejes</p>			
<b>Clase, nivel de contención:</b>	L2, N2	<b>Anchura de trabajo:</b>	W6
<b>Índice de severidad:</b>	A (UNE-EN 1317 y II (UNE 135900)		
<b>Empleo habitual:</b>	En márgenes de la carretera, en las zonas establecidas en la Orden Circular 18/2004 sobre criterios de empleo de sistemas para protección de motociclistas de tipo puntual		
<b>Observaciones adicionales:</b>	Este sistema puede estar sujeto a propiedad industrial		
<b>Materiales:</b>	Acero S 235 JR Plástico		
<b>Normas UNE de aplicación:</b>	UNE 135121, UNE 135122, UNE-EN 10025 y UNE-EN ISO 1461		
<b>Fecha aprobación:</b>	Febrero 2008	<b>Fecha última revisión:</b>	Febrero 2008

### 7.3. ANEXO III: PLANOS BIONDA ACTUAL

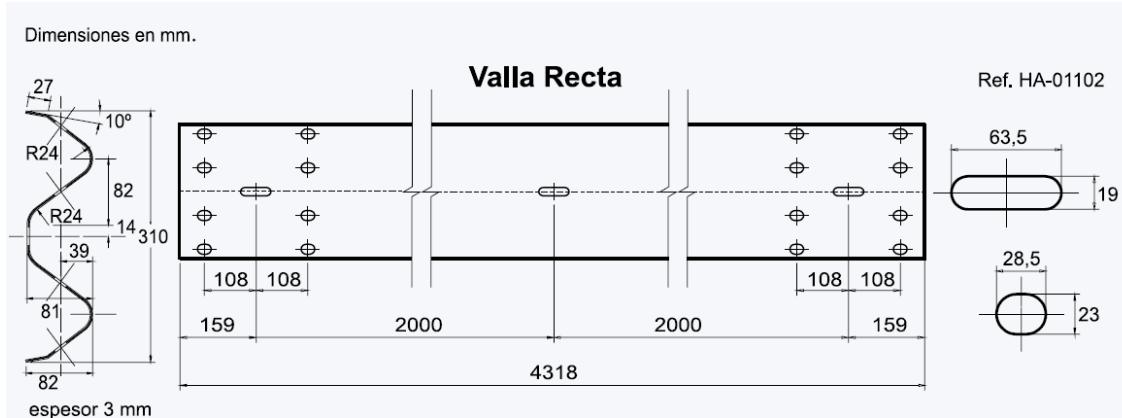
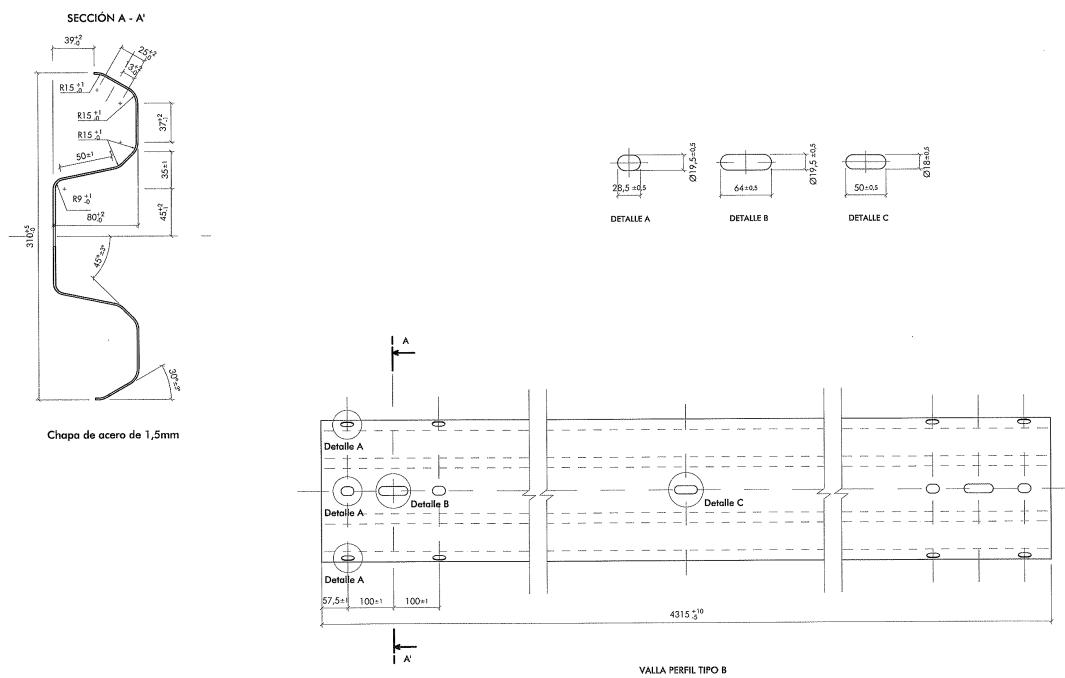


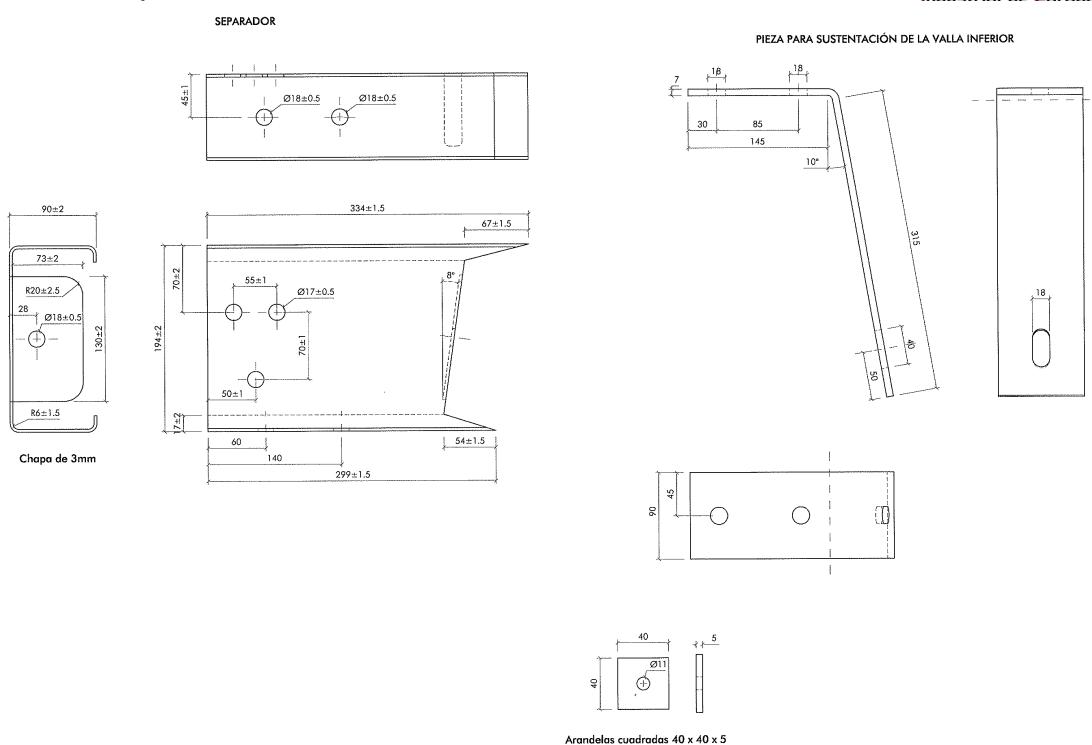
Figura 74. Valla superior



Cotas en mm

Figura 75. Valla inferior actual(SPM)

## Estudio de nuevos diseños para mejorar los sistemas de protección para motoristas



Cotas en mm

Figura 76. Separador y unión actuales

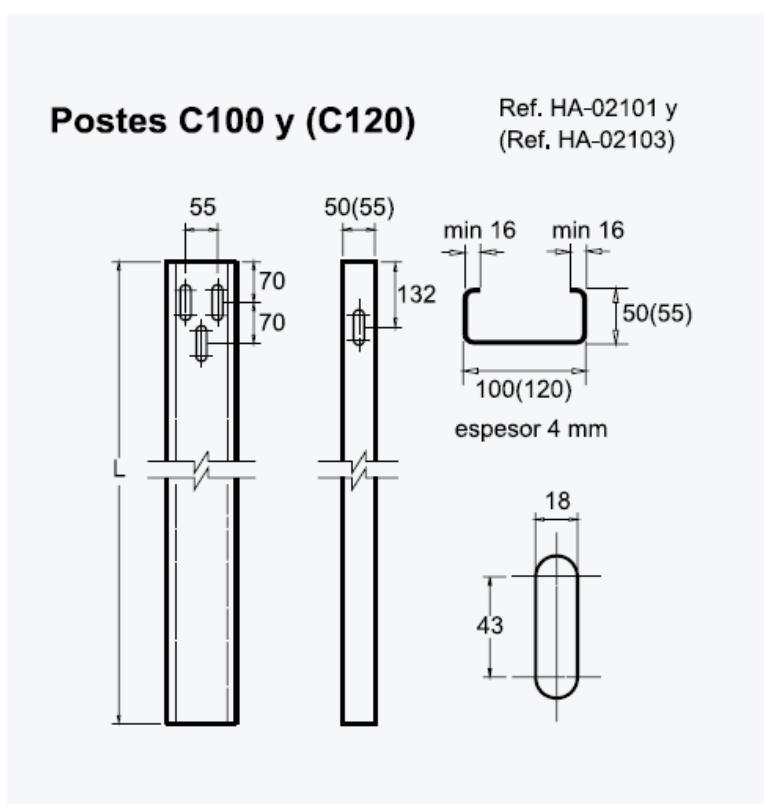


Figura 77. Poste(utilizamos el C120)

#### 7.4. ANEXO IV: NORMATIVA SIMULADOR CABEZA

Para simular el impacto contra la bionda se necesita simular una cabeza de un motorista, para ello se utilizará el Headform, que es la cabeza que se utiliza para simulaciones empíricas para el caso de atropello de peatones.

Las normas que regulan dicho ensayo son la EEVC/WG10 y la EEVC/WG17, en las cuales se hacen ensayos del impacto en la zona de la pierna, el muslo y la cabeza.

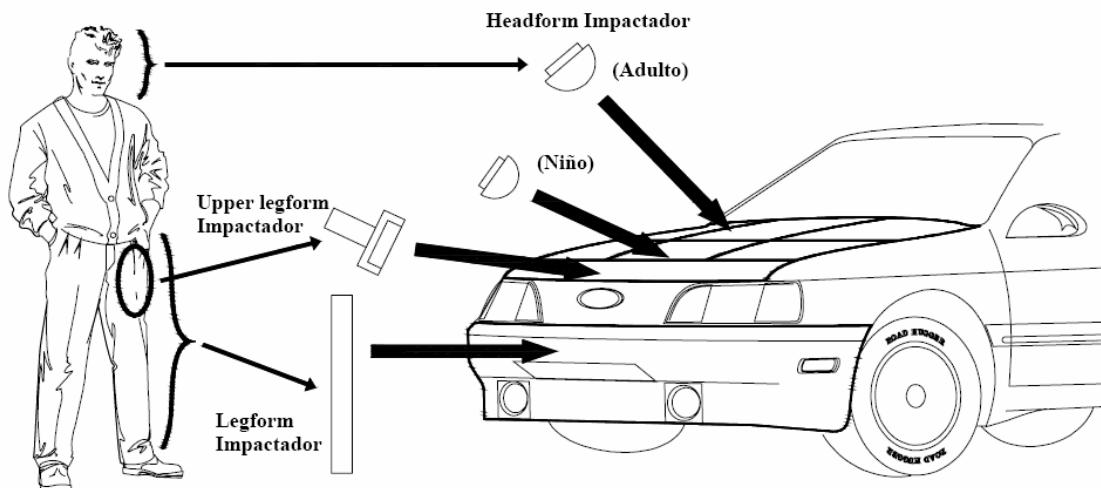


Figura 78. Impactadores

La normativa de estos ensayos es bastante extensa, por lo que nos centraremos en el Headform impactador de una cabeza adulta, por lo que en el modelo de elementos finitos se diseñará una cabeza con las características técnicas de dicho impactador, las cuales son las que describimos a continuación:

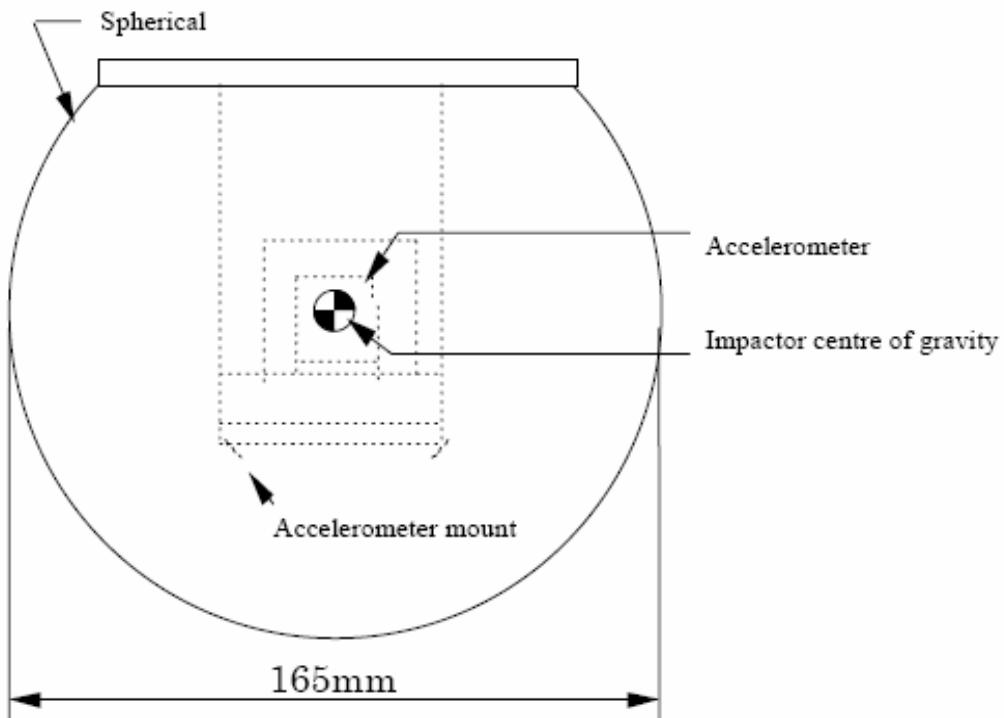


Figura 79. Impactador cabeza

La masa del Headform de la cabeza del motorista presenta 4,5 Kg. pudiendo oscilar en  $\pm 0'01$  Kilogramos.

La superficie de contacto del impactador simulador de la cabeza presentará una forma esférica, con un diámetro de  $165 \pm 1$  mm. El momento de la inercia sobre el eje a través del centro de gravedad, y perpendicular a la dirección del impacto, presentará un rango comprendido entre  $0'0075-0'00200$  Kgm<sup>2</sup>, y la instrumentación interna se localizará en el centro de gravedad del impactador con una tolerancia de  $\pm 2$  milímetros.

En ambos casos, una hendidura en la esfera permitirá el montaje interno del acelerómetro triaxial, o tres uníaxiales, con un margen de tolerancia total en la localización del centro de la esfera para el eje medido de  $\pm 10$  milímetros, y una tolerancia de  $\pm 1$  mm respecto a la localización del centro de la esfera para la dirección perpendicular al eje de medición.

El material con el que esta realizada esta cabeza es de aluminio, y esta recubierta por una capa de piel de PVC, que consigue que mejore biofidelidad, teniendo un grosor de 12 mm.

## 7.5. ANEXO V: EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Los programas de AEF (Análisis por elementos finitos), permiten obtener soluciones aproximadas de problemas que sean susceptibles de ser representados por un sistema de ecuaciones diferenciales.

En ingeniería la mayoría de los procesos actuales están definidos de dicha forma, por lo que dichos programas nos permitirán obtener productos de calidad superior a un menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

Si se utiliza un programa de AEF se puede ayudar a reducir el tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo el número de ciclos prototipo-pruebas-ensayos-evaluación. Incluso en algunos casos, no es deseable o práctico el realizar un prototipo: Aplicaciones biomecánicas, aeroespaciales, etc.

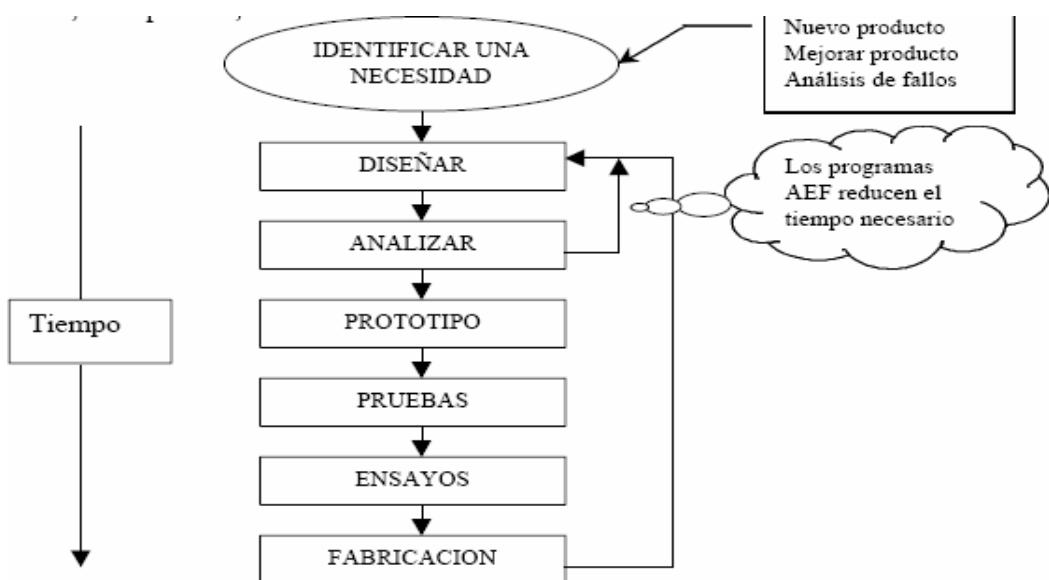


Figura 80. El método de los elementos finitos (MEF)

La transformación de un sistema de ingeniería (con infinitas incógnitas) a un modelo de elementos finitos es, quizás, uno de los más importantes y que requiere un conocimiento profundo del MEF.

El MEF ( Método de los Elementos Finitos) es un método numérico para la resolución de sistemas de ecuaciones en derivadas parciales. Su desarrollo desde los años 50 hasta la actualidad ha sido constante y actualmente puede considerarse como el método de análisis numérico más extendido en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería.

En realidad dicho modelo es una idealización matemática de un sistema real cuyo comportamiento deberá, al menos, de ser intuido, pues de otro modo la modelización puede ser muy laboriosa o imposible.

El término elemento finito resume el concepto básico del método: la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un número finito de incógnitas relacionadas entre sí por elementos de un tamaño finito.

Un nudo es una localización en el espacio de un punto en el que se considera que existen ciertos grados de libertad (desplazamientos, potenciales, temperaturas, etc.) y acciones (fuerzas, corrientes, condiciones de contorno...) del sistema físico.

Un elemento es una representación matemática matricial, denominada matriz de rigidez, de la interacción entre los grados de libertad de un conjunto de nudos. Los elementos pueden ser puntuales, lineales, superficiales, volumétricos, ... y pueden estar en espacios bidimensionales o tridimensionales.

Cada nudo tiene ciertos grados de libertad (GDL's) que caracterizan la respuesta del campo (las ecuaciones diferenciales que representan el problema que se quiere resolver).

En un sistema estructural, el conjunto de grados de libertad incluye tres traslaciones y tres rotaciones. La información se transmite de un elemento a otro por los nodos comunes. Los grados de libertad en un nudo dependen de los elementos que se conecten en dicho nudo.

Las condiciones de contorno estructurales incluyen:

- Restricciones de desplazamientos
- Fuerzas aplicadas en nudos
- Presiones sobre los elementos
- Temperaturas en nudos
- Cargas volumétricas o de inercia (gravedad).

## 7.6. ANEXO VI. MATERIALES ELASTOPLÁSTICOS.

A la hora de realizar este tipo de estudios, es imprescindible conocer el comportamiento de los materiales cuando son solicitados por cargas. En la teoría de la Elasticidad se considera que al menos en un pequeño intervalo las tensiones son proporcionales a las deformaciones. Cuando esto ocurre se dice que el cuerpo se encuentra en el campo elástico. Cuando las cargas sobrepasan este campo el cuerpo se comporta en forma plástica dando como resultado relaciones no lineales entre la tensión y la deformación.

### TEORÍA CLÁSICA DE LA PLASTICIDAD.

La principal característica del comportamiento plástico de los sólidos es que la relación entre las tensiones y las deformaciones no es única como lo es en el caso de la elasticidad lineal y no lineal. Como consecuencia del pasaje de un estado elástico a uno plástico se observan deformaciones remanentes en el material una vez retiradas las cargas o disipadas las tensiones. Para diferenciar el comportamiento entre dos materiales, uno con características elásticas no lineal y el otro elastoplástico, debe estudiarse el proceso de descarga ya que el material elástico no lineal seguirá la misma curva de carga mientras que si el material se encuentra en el campo plástico seguirá una curva diferente que depende de la historia.

