

**Estudio Y Análisis Computacional De La Estructura De Seguridad Del
Parachoques Posterior De Vehículos De Carga Pesadas A Través De Una
Herramienta Computacional (El Software ANSYS).**

FERNANDO CABARCAS

JORGE URIBARREN MARTÍNEZ

RICARDO TENORIO CHAMORRO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS

2003

**Estudio Y Análisis Computacional De La Estructura De Seguridad Del
Parachoques Posterior De Vehículos De Carga Pesadas A Través De Una
Herramienta Computacional (El Software ANSYS).**

FERNADO CABARCAS

JORGE URIBARREN MARTÍNEZ

RICARDO TENORIO CHAMORRO

Monografía presentada para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

JAIRO F. USECHE V.

Ingeniero Mecánico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS

2003

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma de presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Cartagena, Noviembre 0 de 2003.

DEDICATORIA

A nuestros padres, Fernando, Juana
Actriz

A nuestros hermanos, Cesar, Mari,
Jairo.

A nuestros sobrinos hijos e hijas.

AGRADECIMIENTOS

Deseo darles las gracias a Dios, y a la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar por darnos la oportunidad de capacitarnos.

También, queremos agradecer especialmente al profesor Jairo Useche Vivero por toda su valiosa asesoría, al igual que a todos nuestros docentes, y al personal directivo y administrativo de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar por su colaboración y apoyo en la aplicación de este proyecto de investigación en la institución.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	16
1. CONSIDERACIONES DEL MODELAMIENTO.	19
1.1 CALCULO DE LA CARGA DE IMPACTO.	20
1.2 GEOMETRÍA DEL MODELO DEL BUMPER N° 1.	25
1.3 GEOMETRÍA DEL MODELO DEL BUMPER N° 2.	35
1.4 GEOMETRÍA DEL MODELO DEL BUMPER N° 3.	46
1.5 ANÁLISIS DE LA MEJOR CONFIGURACIÓN PARA UN TIEMPO DE IMPACTO DE 500 ms.	58
1.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	61
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFIA	67
MATERIAL ACOMPAÑANTE	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores nodales escogidos por simetría para el análisis de convergencia con coordenadas(X, Y, Z), Bumper 1.	33
Tabla 2. Comparación de los valores promedio escogidos por simetría para el análisis de convergencia Bumper 1.	34
Tabla 3. Valores nodales escogidos por simetría para el análisis de convergencia con coordenadas(X, Y, Z), Bumper 2.	44
Tabla 4. Comparación de los valores promedio escogidos por simetría para el análisis de convergencia Bumper 2.	44
Tabla 5. Valores nodales escogidos por simetría para el análisis de convergencia con coordenadas(X, Y, Z), Bumper 3.	56
Tabla 6. Comparación de los valores promedio escogidos por simetría para el análisis de convergencia Bumper 3.	56
Tabla 7. Propiedades de Acero de alta resistencia.	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Modelo por elementos finitos de impacto de un automóvil	21
Figura 2. Secuencia de impacto.	21
Figura 3. Vista lateral en un tiempo de 147 ms.	22
Figura 4. Vista superior en un tiempo de 147 ms.	23
Figura 5. Graficas de simulación y promedio de la experimentación.	23
Figura 6. Vista 3D del Bumper 1.	25
Figura 7. Vista lateral del Bumper 1.	25
Figura 8. Malla del Bumper 1 con 50281 nodos y 24826 elementos.	26
Figura 9. Vista 3D de la deformación resultante con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.	26
Figura 10. Vista superior de la deformación resultante con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.	27
Figura 11. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.	27
Figura 12. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.	28

Figura 13. Malla del Bumper 1 con 58338 nodos y 28825 elementos.	28
Figura 14. Vista 3D de la deformación resultante con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.	29
Figura 15. Vista superior de la deformación resultante con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.	29
Figura 16. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.	30
Figura 17. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.	30
Figura 18. Malla del Bumper 1 refinada en los soportes, con 81570 nodos y 43064 elementos.	31
Figura 19. Vista 3D de la deformación resultante con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.	31
Figura 20. Vista superior de la deformación resultante Figura 19. Vista 3D de la deformación resultante con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.	32
Figura 21. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.	32
Figura 22. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.	33
Figura 23. Análisis de convergencia esfuerzo (Bumper 1).	34

Figura 24. Análisis de convergencia deformación (Bumper 1).	34
Figura 25. Vista 3D del Bumper 2.	35
Figura 26. Vista lateral del Bumper 2.	35
Figura 27. Malla del bumper 2 con 49894 nodos y 24698 elementos.	36
Figura 28. Vista 3D de la deformación resultante con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.	36
Figura 29. Vista superior de la deformación resultante con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.	37
Figura 30. Vista lateral de la deformación resultante con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.	37
Figura 31. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.	38
Figura 32. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.	38
Figura 33. Malla del Bumper 2 con 64733 nodos y 32086 elementos.	39
Figura 34. Vista 3D de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.	39
Figura 35. Vista lateral de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.	40
Figura 36. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086	

elementos Bumper 2.	40
Figura 37. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.	41
Figura 38. Malla del bumper 2 con 64733 nodos y 32086 elementos.	41
Figura 39. Vista 3D de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.	42
Figura 40. Vista lateral de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.	42
Figura 41. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2	43
Figura 42. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2	43
Figura 43 .Análisis De Convergencia Esfuerzo (Bumper 2).	45
Figura 44. Análisis De Convergencia Deformación (Bumper 2).	45
Figura 45. Vista 3D del Bumper 3.	46
Figura 46. Vista lateral del Bumper 3.	46
Figura 47. Malla del Bumper 3 con 34420 nodos y 16976 elementos.	47
Figura 48. Vista 3D de la deformación resultante con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.	47
Figura 49. Vista superior de la deformación resultante con 34420 nodos y	

16976 elementos Bumper 3.	48
Figura 50. Vista lateral de la deformación resultante con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.	48
Figura 51. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.	49
Figura 52. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.	49
Figura 53. Malla del Bumper 3 con 39815 nodos y 19630 elementos.	50
Figura 54. Vista 3D de la deformación resultante con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.	50
Figura 55. Vista superior de la deformación resultante con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.	51
Figura 56. Vista lateral de la deformación resultante con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.	51
Figura 57. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.	52
Figura 58 Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.	52
Figura 59. Malla del Bumper 3 con 63667 nodos y 31692 elementos.	53
Figura 60. Vista 3D de la deformación resultante con 63667 nodos y 31692	

elementos.	53
Figura 61. Vista superior de la deformación resultante con 63667 nodos y 31692 elementos.	54
Figura 62. Vista lateral de la deformación resultante con 63667 nodos y 31692 elementos.	54
Figura 63. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 63667 nodos y 31692 elementos.	55
Figura 64. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 63667 nodos y 31692 elementos.	55
Figura 65. Análisis De Convergencia Esfuerzo (Bumper 3).	57
Figura 66. Análisis de Convergencia deformación (Bumper 3).	57
Figura 67. Vista 3D del Esfuerzo de Von Mises para aceros aleados modulo de elasticidad (E = 207 Gpa).	58
Figura 68. Vista ampliada del Esfuerzo de Von mises para aceros aleados modulo de elasticidad (E =207 Gpa).	58
Figura 69. Vista 3D del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en Acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad intermedio de (E = 285 Gpa).	59
Figura 70. Vista ampliada del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad	

(E = 285 Gpa). 59

Figura 71. Vista 3D del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en Acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad alto

(E = 400 Gpa). 60

Figura 72. Vista ampliada del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad alto

(E = 400 Gpa). 60

RESUMEN

En este trabajo haremos uso de un software ANSYS para el modelamiento computacional de estructuras de seguridad posterior de vehículos de carga pesada (Tractomula) tomando la carga dinámica de impacto y convertirla a una carga estática por medio de la teoría de energía de deformación, dicha carga se va distribuir en toda la sección de la estructura. Se considerará la estructura como una viga con dos apoyos.

Para el modelamiento de la estructura se considerará como un sólido debido a que los espesores de la estructura son grandes y en el momento de el enmallado se tendrán en cuenta los errores que se origine con el tipo de malla usada, dicho error debe tener un valor menor de 3 % comparándola con el número de nodos totales.

Se tomará una serie de estructuras de seguridad y se hará primeramente un modelamiento computacional utilizando acero estructural como material y haciendo un análisis se escogerá cual de las configuraciones geométricas absorbe más energía de deformación, luego a ésta estructura se le realizará un estudio computacional donde se modelará con materiales como aceros aleados y fibra de carbón con diferentes resistencias mecánicas mayores que la del acero.

INTRODUCCIÓN

En Colombia la seguridad en las carreteras es cada día menor y es por eso que la tasa de mortalidad en accidentes de tránsito aumenta a pasos agigantados, es por esto que este trabajo busca estudiar y modelar estructuras de seguridad de vehículos. Muchos vehículos no se encuentran en condiciones seguras poniendo en peligro la vida de las personas.

En los vehículos de transporte pesado (tracto mulas) se observó que no existía una estandarización en la configuración geométrica y uso de materiales de las estructuras de parachoques posterior haciendo esta estructura una condición insegura.

El modelamiento computacional a las estructuras de seguridad de parachoques posterior de vehículos pesados, se modelará de la siguiente forma se tomarán dos geometrías de dichas estructuras (estructuras usadas en la actualidad en equipos pesados) y una tercera propuesta (geometría 2), a las cuales se realizará un estudio computacional con material de acero estructural; la estructura que absorba más energía de deformación se le cambiará de materiales que tengan mayor resistencia mecánica.

En el modelamiento computacional de estructura que está sometido a choques es fundamental conocer el tiempo en el cual el vehículo que origina el choque pasa de su velocidad antes de choque a una velocidad que se considerará cero

después de la colisión. Este cambio de velocidad en ese tiempo hace que se produzcan aceleraciones y fuerzas muy altas, por esto es necesario hacer el análisis con tiempos muy cortos para que se puedan analizar los esfuerzos y deformaciones de los materiales en un rango elástico, consideración importante cuando se va emplear el software ANSYS.

ANSYS es un software basado en el método de elementos finitos (MEF) el cual es un método numérico para resolver ecuaciones diferenciales por medio de "aproximaciones discretas". A diferencia del método de diferencias finitas (MDF), en el cual la zona de solución es un conjunto de puntos discretos, el método de elementos finitos supone que la zona de solución está compuesta de muchas subzonas interconectadas, las que se denominan "elementos finitos". Estos elementos, los que pueden tomar formas simples (por ejemplo, líneas, triángulos, rectángulos, paralelepípedos) se Ensamblan de diferentes maneras para representar la solución sobre una región cualquiera.

Los conceptos básicos que se incorporan en este apunte son simples y la idea principal es comprender la operatoria detrás de la técnica numérica de los elementos finitos.

El análisis de elementos finitos para un problema físico puede ser descrito de la siguiente forma:

- El sistema físico se divide en series de elementos que están conectados por un número discreto de puntos nodales; este proceso se denomina "discretización".

Discretizaciones típicas de un sistema de tuberías y de un sistema continuo bidimensional.

- Una expresión matricial se desarrolla para relacionar las variables nodales de cada elemento. La matriz resultante se conoce comúnmente como "matriz elemental". Para un problema discreto, la matriz elemental puede ser generada a partir de un análisis físico simple. Para problemas continuos, la matriz elemental se obtiene mediante un proceso matemático que utiliza técnicas variacionales o métodos de residuos ponderados.

- Las matrices elementales se combinan o "ensamblan" para formar un conjunto de ecuaciones algebraicas que describen el sistema global. La matriz de coeficientes del problema global se conoce como la matriz global. El procedimiento de ensamble se realiza para cumplir condiciones de compatibilidad en la unión de elementos.

- Condiciones de borde son incorporadas dentro de la matriz global.

- El conjunto de ecuaciones algebraicas se resuelve mediante algún método matricial adecuado.

1. CONSIDERACIONES DEL MODELAMIENTO

Los modelos desarrollados en esta monografía son tratados como un conjunto estructural sólido, los cuales están sometidos a una carga estática como resultado de la interacción de los dos vehículos, teniendo en cuenta el concepto de impulso y cantidad de movimiento.

Los modelos parten del hecho que la zona de acción comprende todo el ancho del parachoques.

Según información encontrada sobre el impacto vehicular, el contacto ocurre en un intervalo de tiempo de centésimas de segundo, lo que se traduce en una fuerza muy elevada, por ello inicialmente se analizarán modelos bajo un tiempo de un par de segundos para asegurar un cálculo dentro de un rango elástico, y posteriormente se reajustará la estructura más resistente para ver su comportamiento, aunque el modelamiento correcto es bajo condiciones dinámicas.

El efecto de dicha fuerza se le coloca al modelo por condición de frontera como un valor de fuerza distribuida sobre el área frontal de la barra tubular, la cual es la que inicialmente entra en contacto.

Se restringe el movimiento de la parte superior del chasis, y la sección correspondiente al corte transversal del mismo, para simplificar el modelo.

1.2 CALCULO DE LA CARGA DE IMPACTO

-Bajo una condición de marcha de ambos vehículos.

$$\text{Asumiendo } V_o = 60\text{Km/h} \quad V_f = 65\text{Km/h}$$

$$U_o = 80\text{Km/h} \quad U_f = 50\text{Km/h}$$

Donde V y U corresponden a los valores de velocidad del vehículo de carga pesada y el automóvil respectivamente, antes y después del impacto.

El Coeficiente de Restitución está dado por:

$$e = \frac{U_f - V_f}{V_o - U_o} = \frac{50 - 65}{60 - 80} = 0.75 \quad \text{Comportamiento elástico}$$

-Bajo una condición del vehículo de carga pesada estacionado y el automóvil en marcha a la velocidad máxima permitida en las vías, se tiene:

$$V_o = 0\text{Km/h} \quad V_f = 0\text{Km/h}$$

$$U_o = 80\text{Km/h} \quad U_f = -5\text{Km/h}$$

$$e = \frac{U_f - V_f}{V_o - U_o} = \frac{-5 - 0}{0 - 80} = 0.0625 \quad \text{Comportamiento casi inelástico}$$

La fuerza para la condición crítica, está dada por:

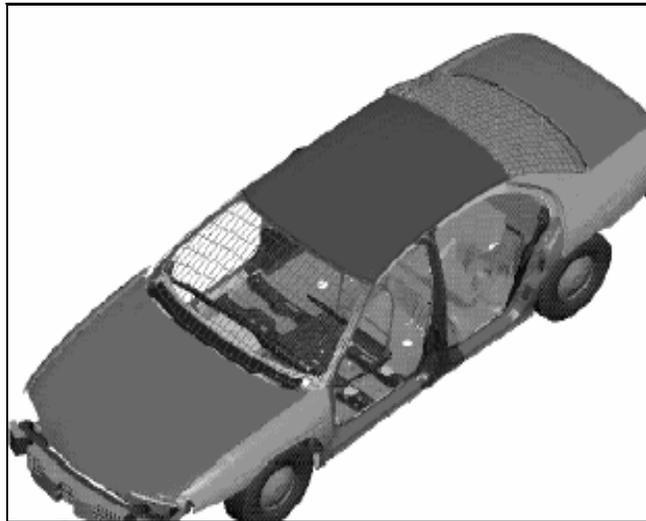
$$F = \frac{U_f - U_o}{t} * m, \text{ donde } m \text{ es la masa del automóvil (2500 Kg.) y } t \text{ es el tiempo de}$$

contacto. Asignando a este último 2 seg. Inicialmente, se tiene:

$$F = \frac{(-5 - 80) \text{ Km / h}}{2 \text{ seg}} * 2500 \text{ Kg} * \frac{1000}{3600} = -30000 \text{ N}$$

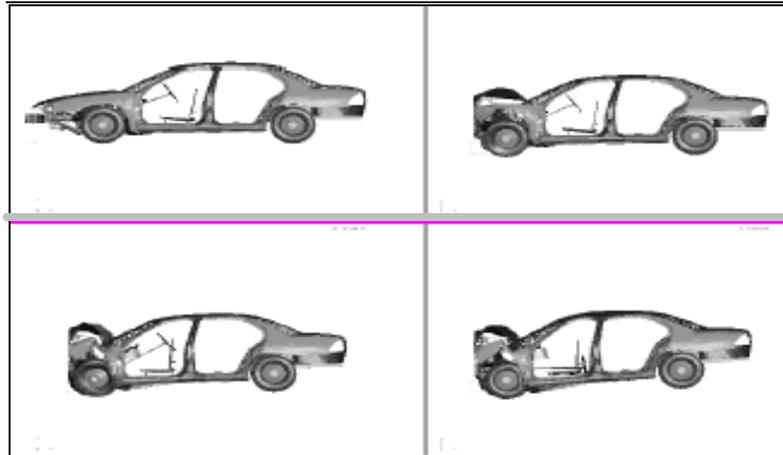
A continuación se muestra la secuencia del impacto de un Chevrolet Lumina, simulada por elementos finitos:

Figura 1. Modelo por elementos finitos de impacto de un automóvil



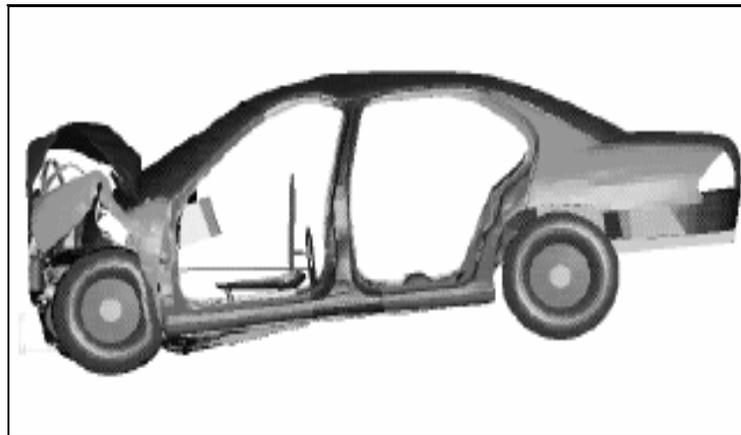
Fuente: Vikas Gupta, T. J. Gunasekar, Avinash Rao and Jawahar Kamarajan. Reverse Engineering Method for developing passenger Vehicle Finite Element Models. Advances in Safety Technology. USA. 1999.

Figura 2. Secuencia de impacto.



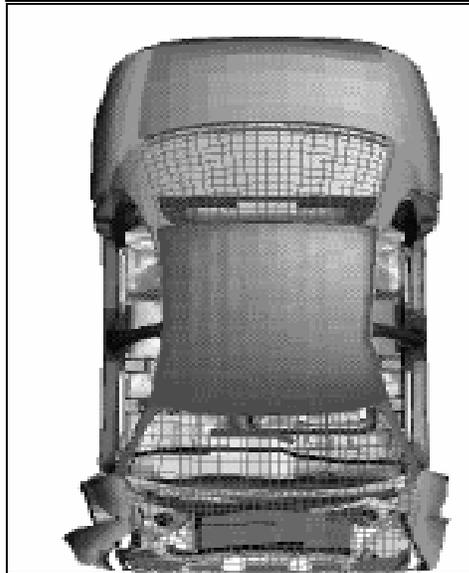
Fuente: Vikas Gupta, T. J. Gunasekar, Avinash Rao and Jawahar Kamarajan. Reverse Engineering Method for developing passenger Vehicle Finite Element Models. Advances in Safety Technology. USA. 1999.

Figura 3. Vista lateral en un tiempo de 147 ms.



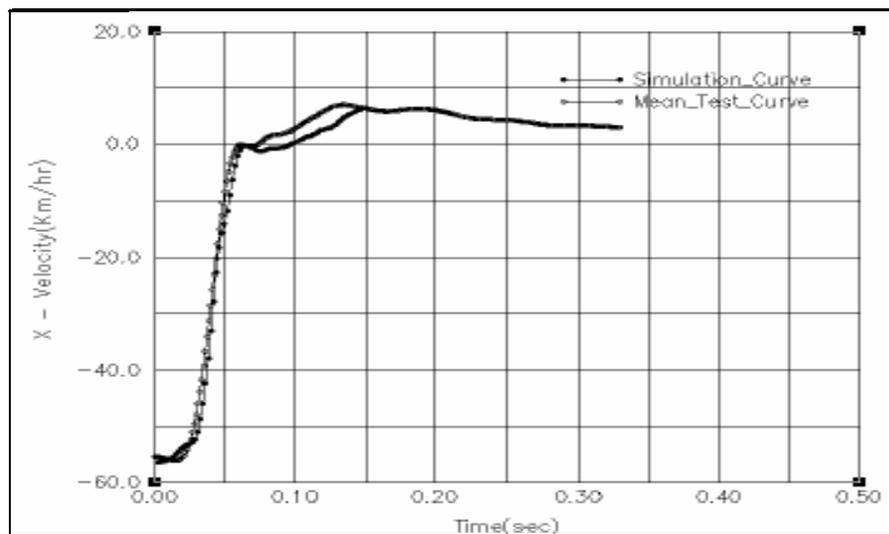
Fuente: Vikas Gupta, T. J. Gunasekar, Avinash Rao and Jawahar Kamarajan. Reverse Engineering Method for developing passenger Vehicle Finite Element Models. Advances in Safety Technology. USA. 1999.

Figura 4. Vista superior en un tiempo de 147 ms.



Fuente: Vikas Gupta, T. J. Gunasekar, Avinash Rao and Jawahar Kamarajan. Reverse Engineering Method for developing passenger Vehicle Finite Element Models. Advances in Safety Technology. USA. 1999.

Figura 5. Graficas de simulación y promedio de la experimentación.



Fuente: Vikas Gupta, T. J. Gunasekar, Avinash Rao and Jawahar Kamarajan. Reverse Engineering Method for developing passenger Vehicle Finite Element Models. Advances in Safety Technology. USA. 1999.

Para un valor más realista del tiempo de contacto de 500 ms, $F = -120000$ N

Suponiendo como área efectiva de contacto para los respectivos Bumpers, la correspondiente a la barra tubular frontal, se tiene:

$$A1 = 140 \times 8 \text{ cm}^2 = 0.112 \text{ m}^2$$

$$A2 = 155 \times 5 \text{ cm}^2 = 0.0775 \text{ m}^2$$

$$A3 = 152 \times 9 \text{ cm}^2 = 0.1368 \text{ m}^2$$

El esfuerzo promedio externo aplicado será:

$$s1 = 267.8 \text{ KPa}$$

$$s2 = 387 \text{ KPa}$$

$$s3 = 219.3 \text{ KPa}$$

1.2 GEOMETRIA DEL MODELO BUMPER 1

Figura 6. Vista 3D del Bumper 1.

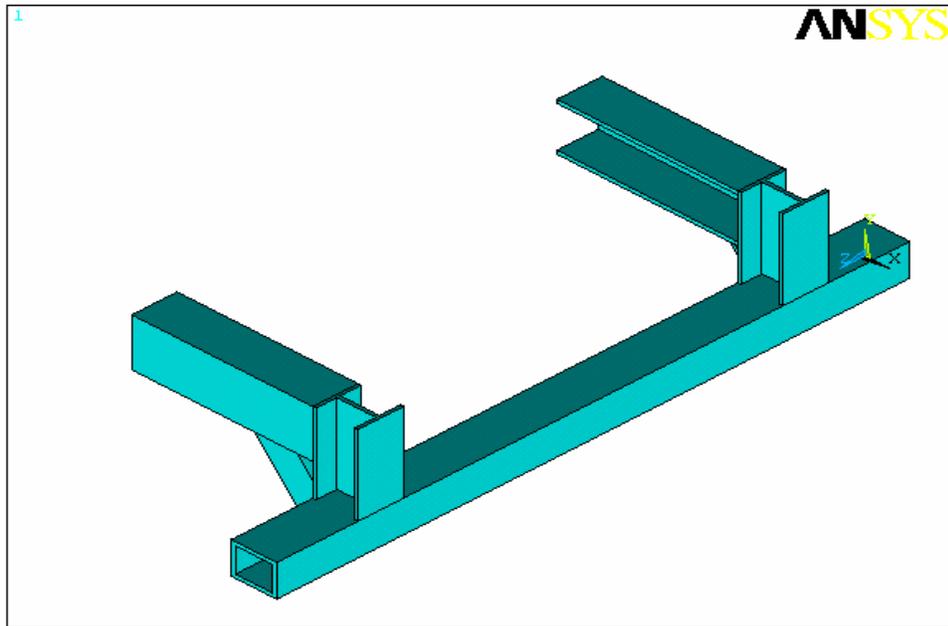


Figura 7. Vista lateral del Bumper 1.

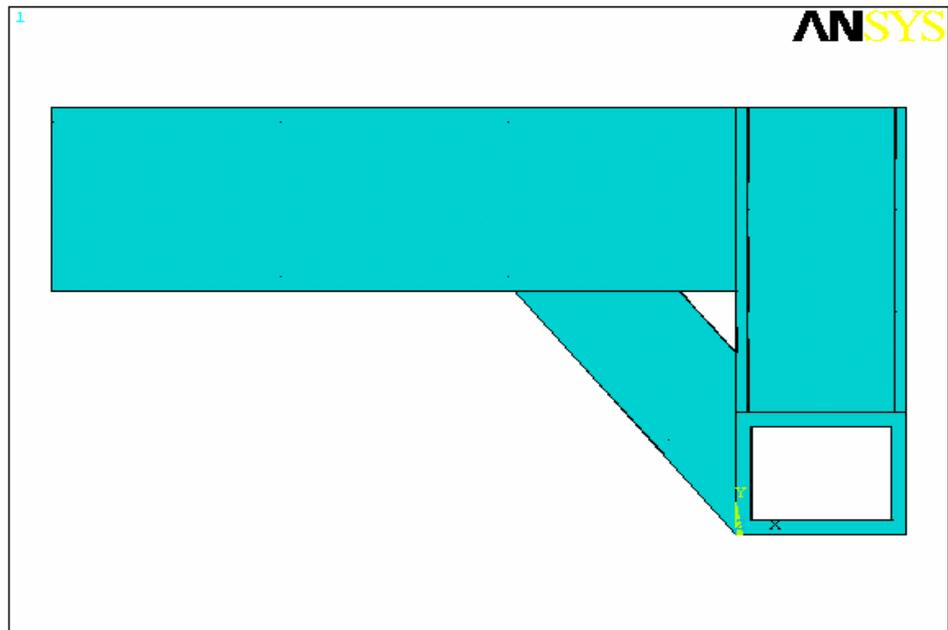


Figura 8. Malla del Bumper 1 con 50281 nodos y 24826 elementos.

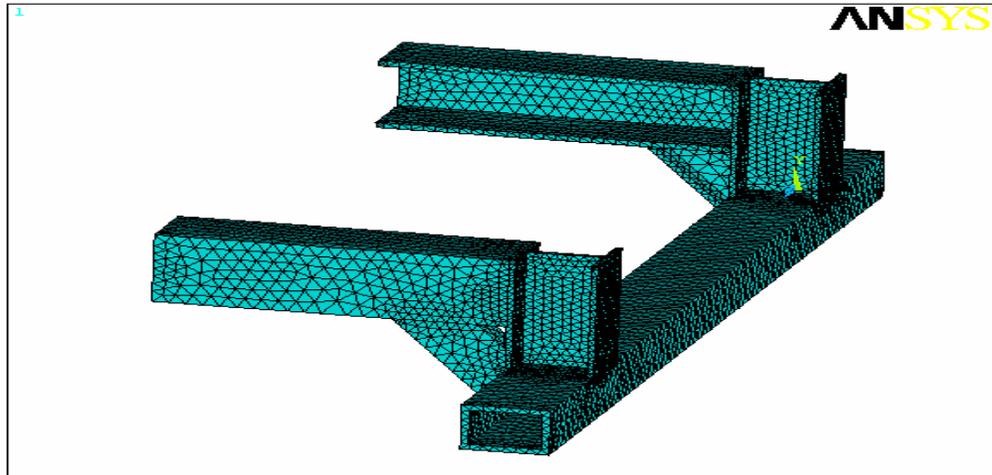


Figura 9. Vista 3D de la deformación resultante con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.

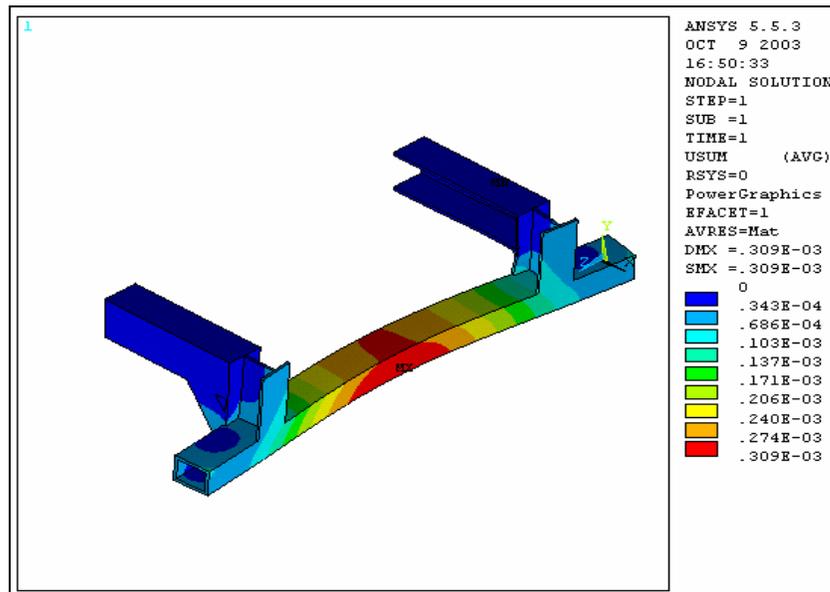


Figura 10. Vista superior de la deformación resultante con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.

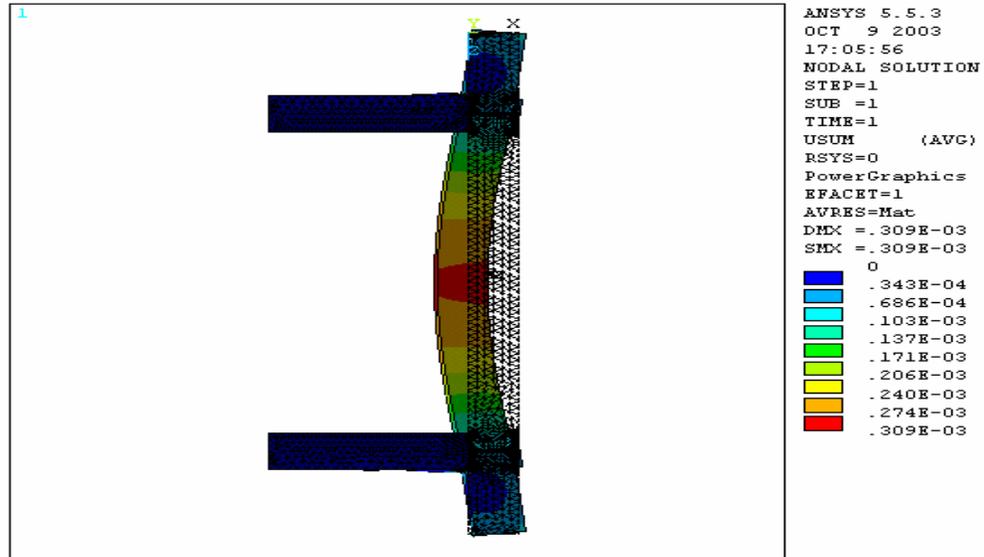


Figura 11. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.

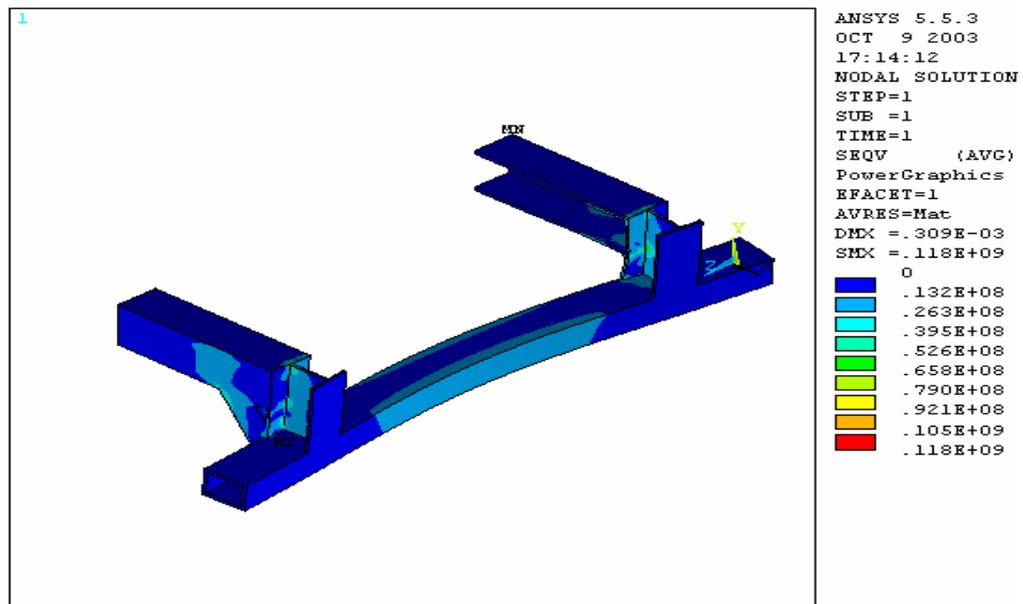


Figura 12. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 50281 nodos y 24826 elementos Bumper 1.

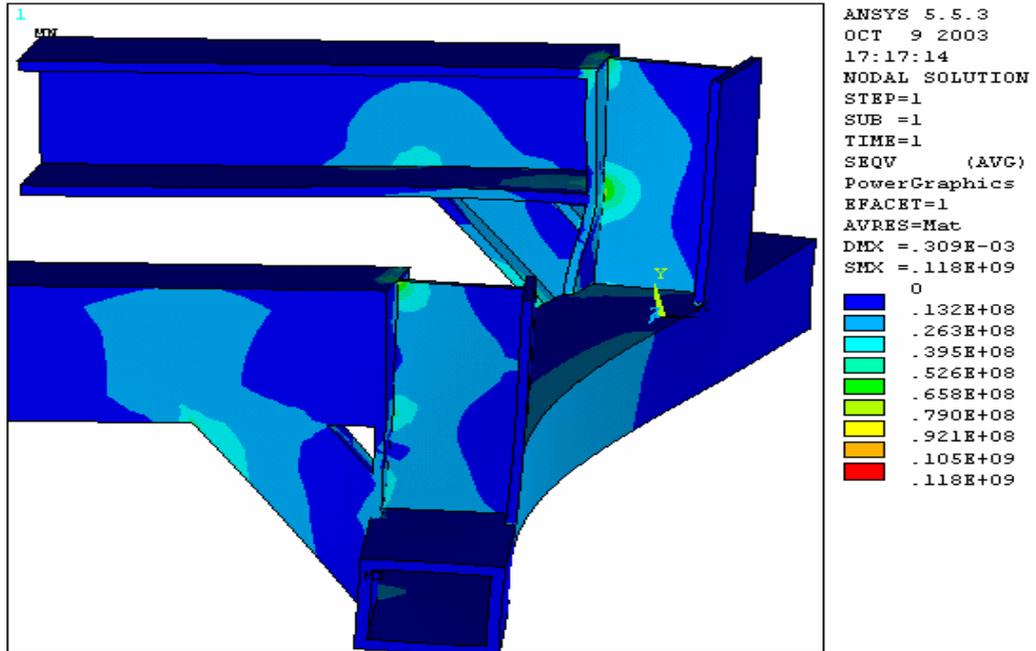


Figura 13. Malla del Bumper 1 con 58338 nodos y 28825 elementos.

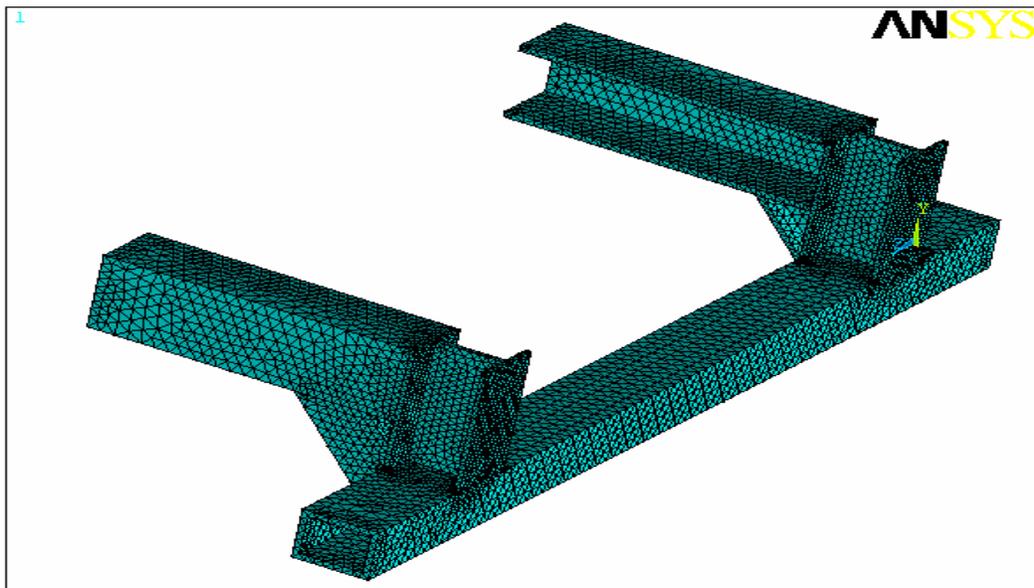


Figura 14. Vista 3D de la deformación resultante con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.

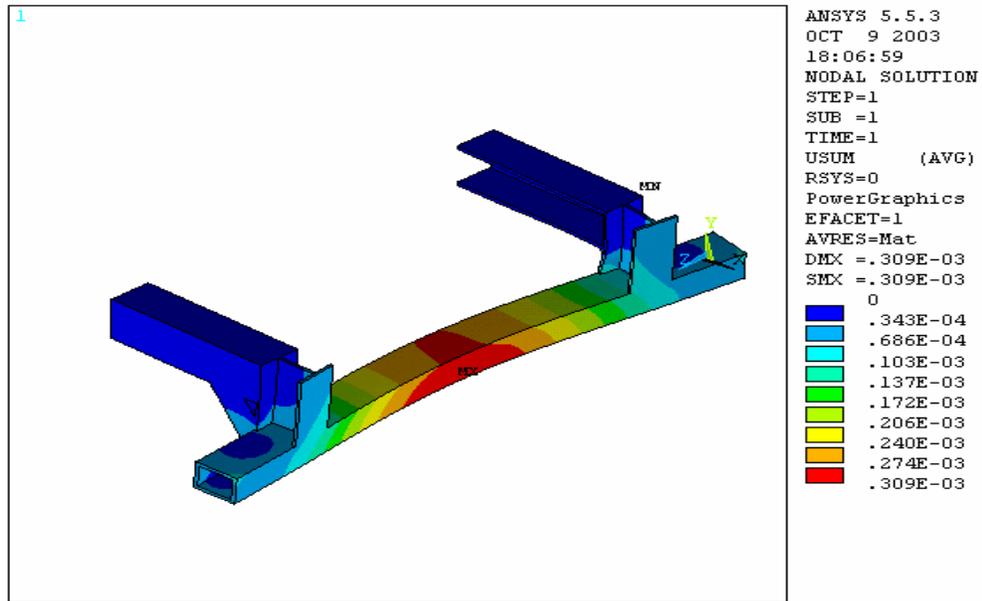


Figura 15. Vista superior de la deformación resultante Bumper con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.

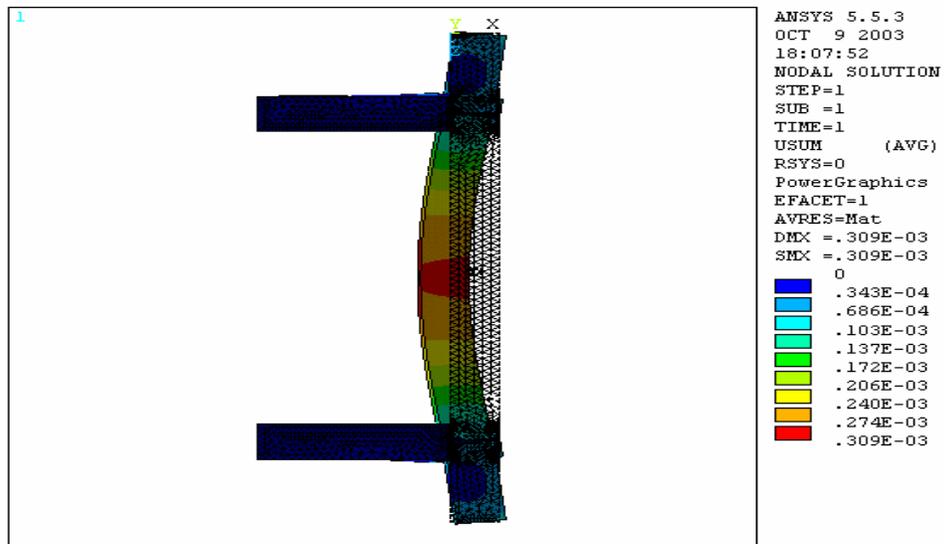


Figura 16. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.

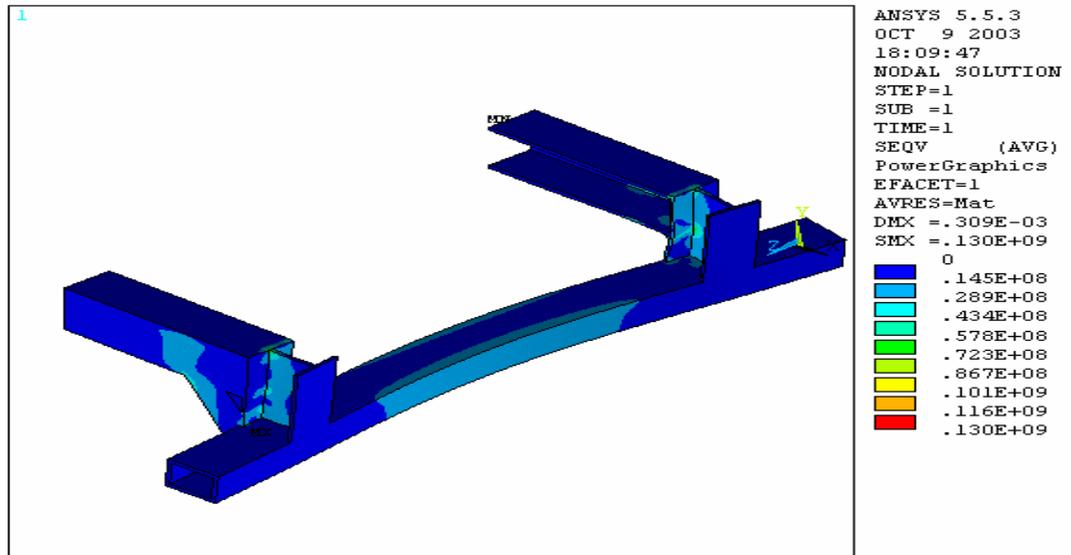


Figura 17. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 58338 nodos y 28825 elementos Bumper 1.

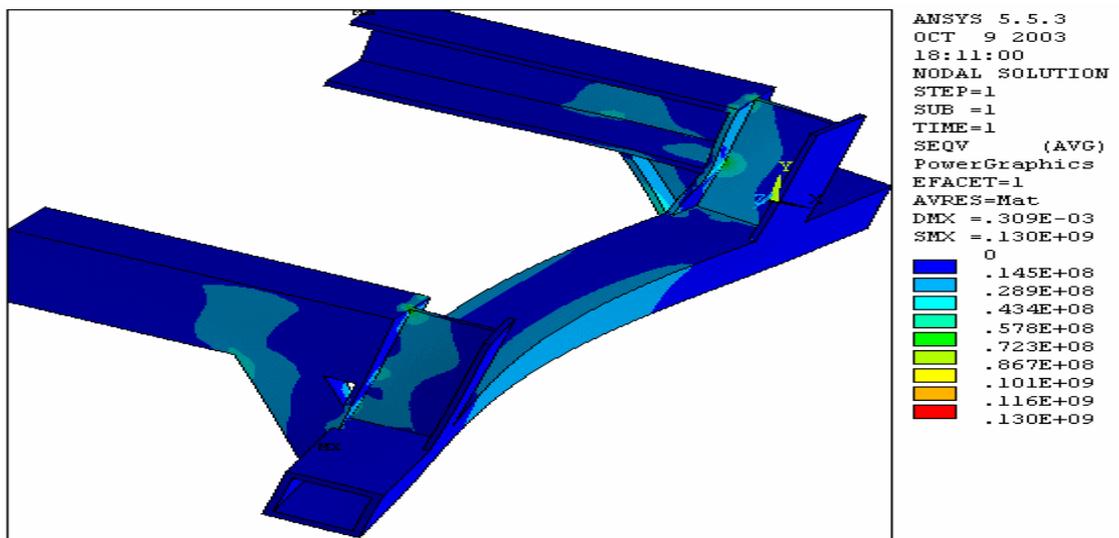


Figura 18. Malla del Bumper 1 refinada en los soportes, con 81570 nodos y 43064 elementos.

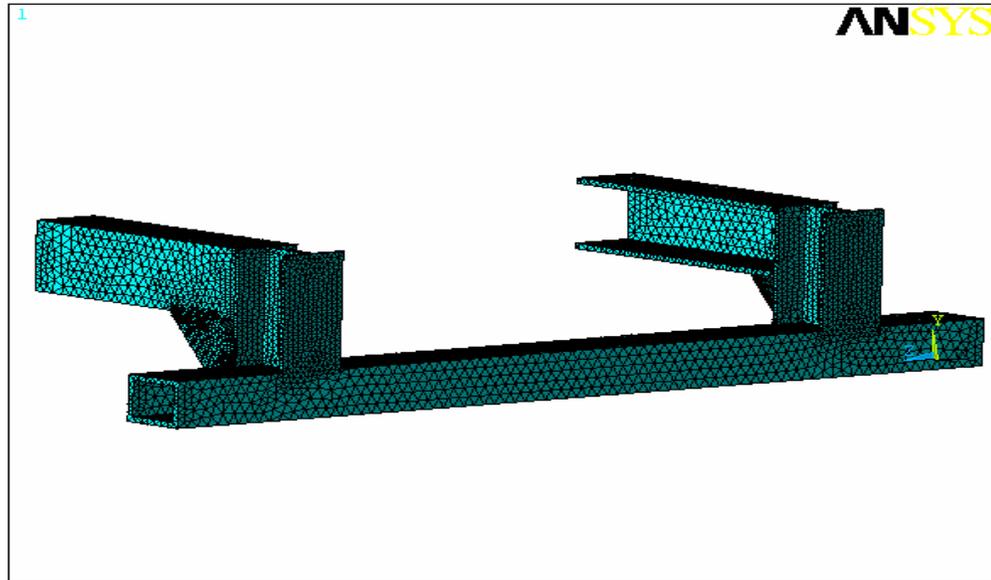


Figura 19. Vista 3D de la deformación resultante con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.

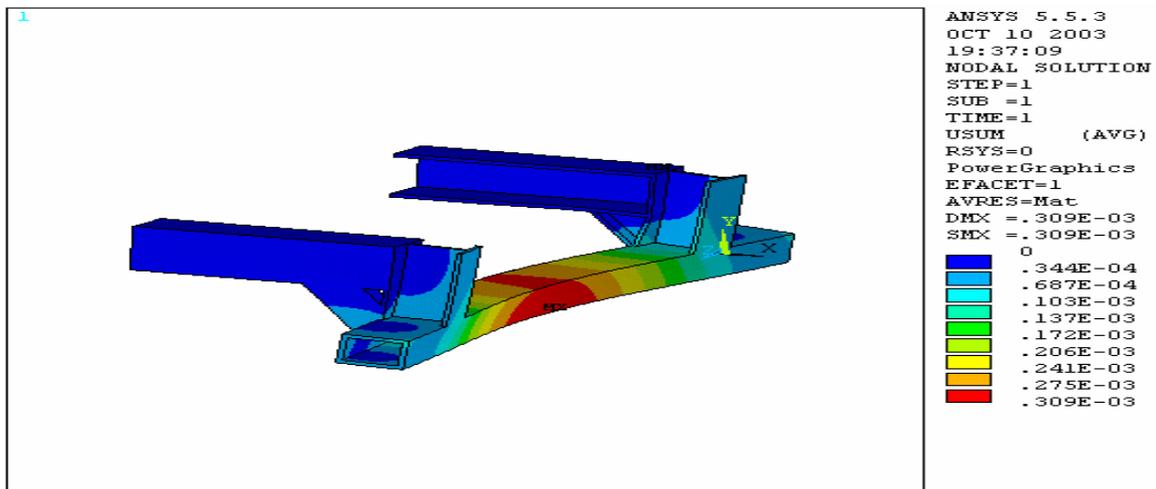


Figura 20. Vista superior de la deformación resultante Figura 19. Vista 3D de la deformación resultante con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.

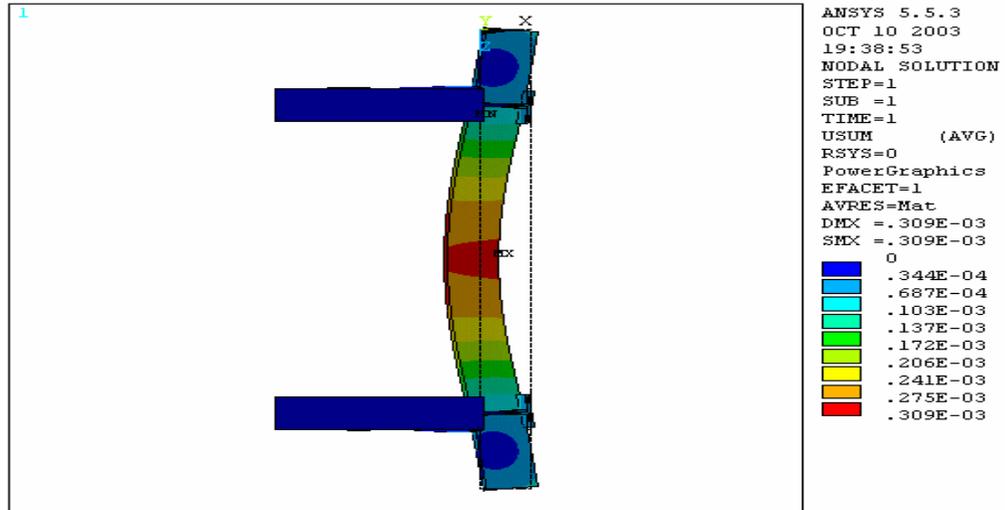


Figura 21. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.

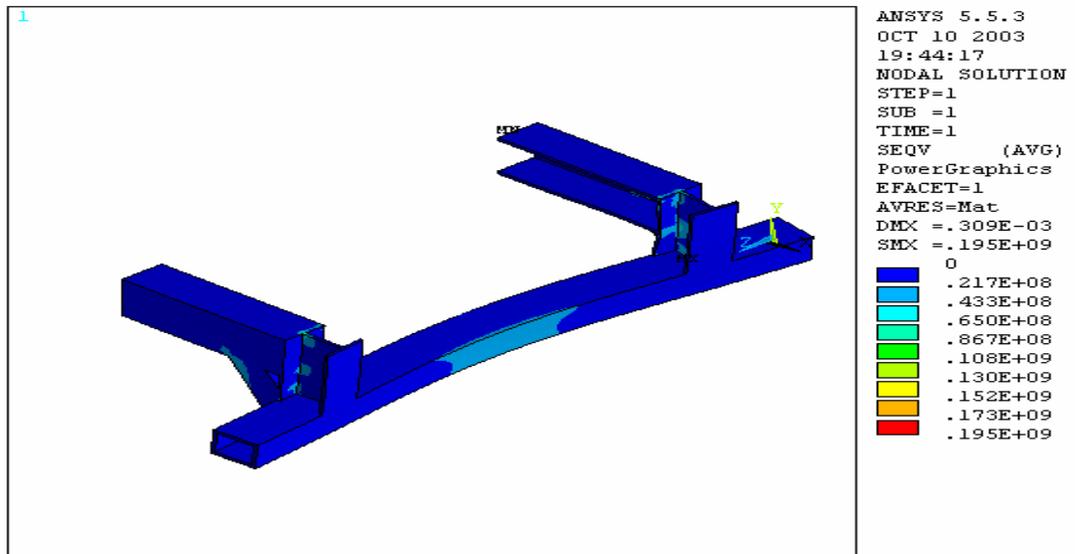


Figura 22. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 81570 nodos y 43064 elementos Bumper 1.

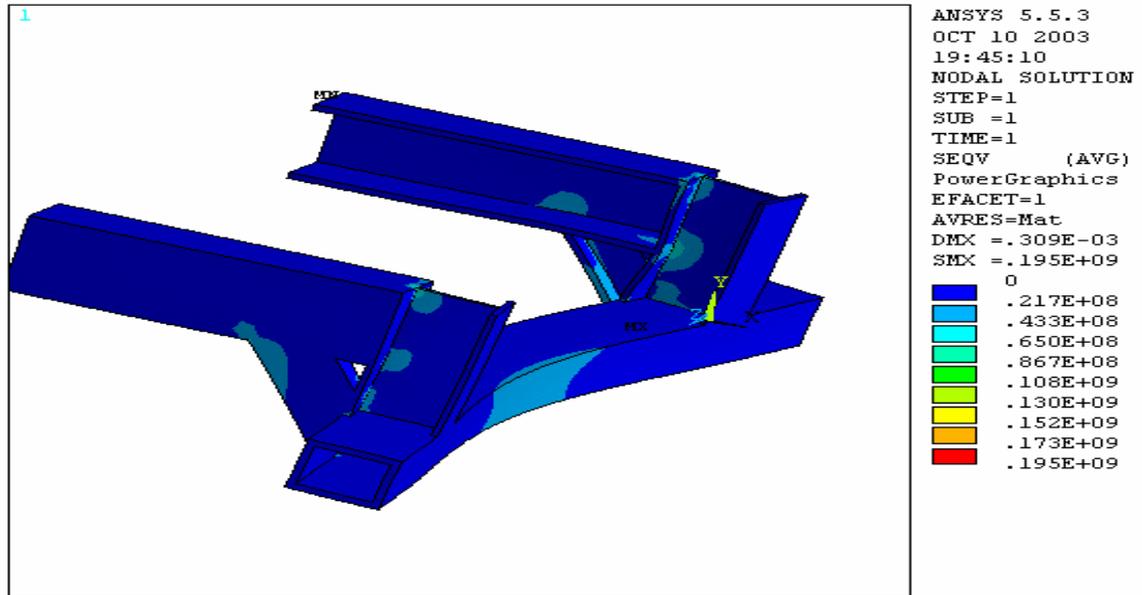


Tabla 1. Valores nodales escogidos por simetría para el análisis de convergencia con coordenadas(X, Y, Z), Bumper 1.

NUMERO DE ELEMENTOS	NODO	X (m)	Y (m)	Z (m)	ESFUERZO VON MISES (MPa)	DEFORMACIÓN RESULTANTE (m)
24826	57	0.1	0.28	1.22	0.125	0.6296e-4
	58	0.1	0.8e-1	1.22	15.99	0.6032e-4
	9	0.1	0.28	0.18	0.106	0.6294e-4
	19	0.1	0.8e-1	0.18	15.81	0.6033e-4
28835	57	0.1	0.28	1.22	0.092	0.6298e-4
	58	0.1	0.8e-1	1.22	15.334	0.6038e-4
	9	0.1	0.28	0.18	0.1	0.6293e-4
	19	0.1	0.8e-1	0.18	14.667	0.6038e-4
43064	57	0.1	0.28	1.22	0.0923	0.6299e-4
	58	0.1	0.8e-1	1.22	15.44	0.6053e-4
	9	0.1	0.28	0.18	0.1	0.6298e-4
	19	0.1	0.8e-1	0.18	15.1	0.6056e-4

Tabla 2. Comparación de los valores promedio escogidos por simetría para el análisis de convergencia, Bumper 1.

NUMERO DE ELEMENTOS	NODOS	ESFUERZO VON MISES (MPa)	DEFORMACIÓN RESULTANTE (m)
24826	9-57	0.11	0.6295e-4
	19-58	15.9	0.60325e-4
28835	9-57	0.096	0.6295e-4
	19-58	15	0.6038e-4
43064	9-57	0.0961	0.6298e-4
	19-58	15.27	0.6045e-4

Figura 23. Análisis de convergencia esfuerzo (Bumper 1)

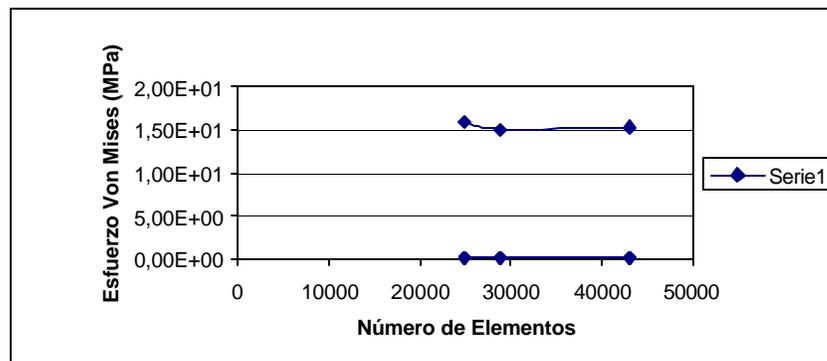
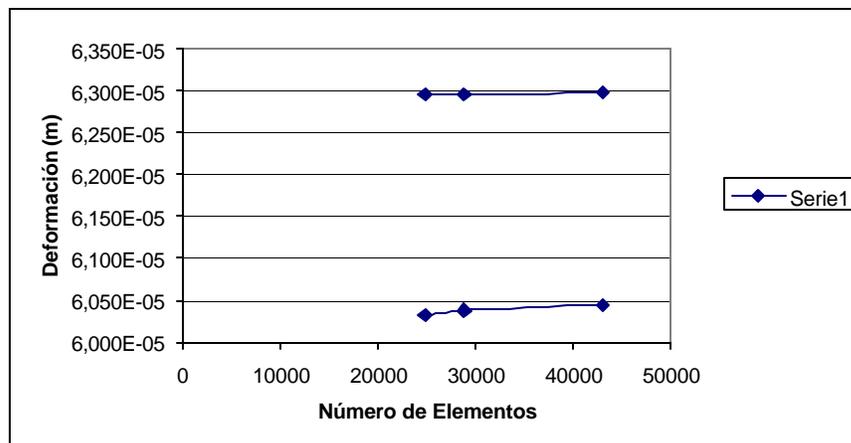


Figura 24. Análisis de convergencia deformación (Bumper 1)



1.3 GEOMETRIA DEL MODELO DEL BUMPER Nº 2

Figura 25. Vista 3D del Bumper 2.

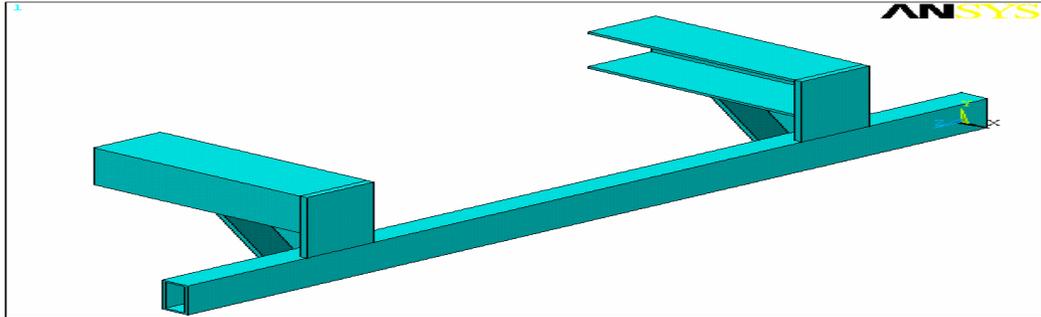


Figura 26. Vista lateral del Bumper 2.

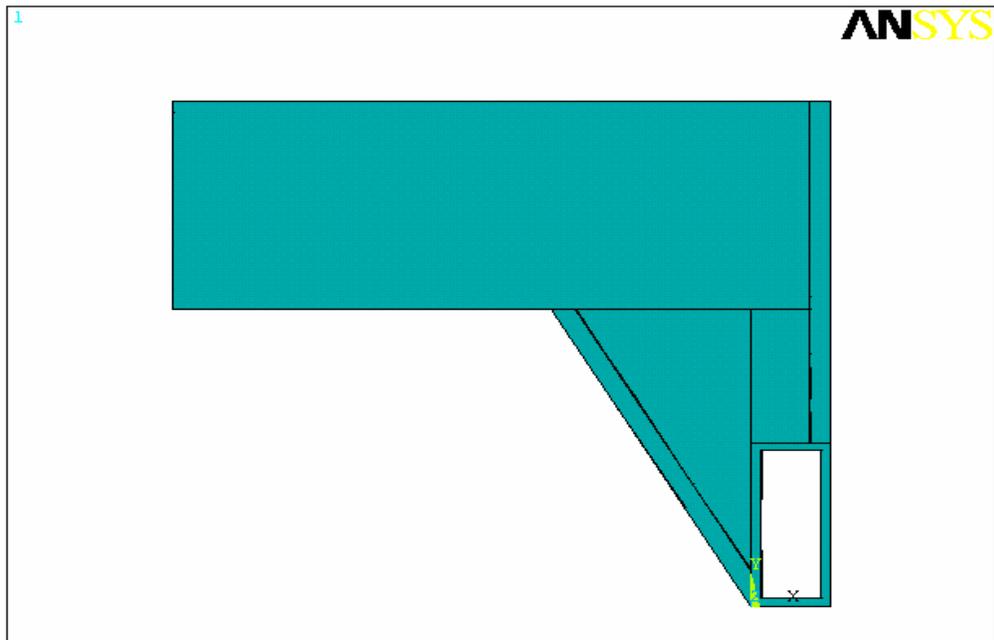


Figura 27. Malla del bumper 2 con 49894 nodos y 24698 elementos.

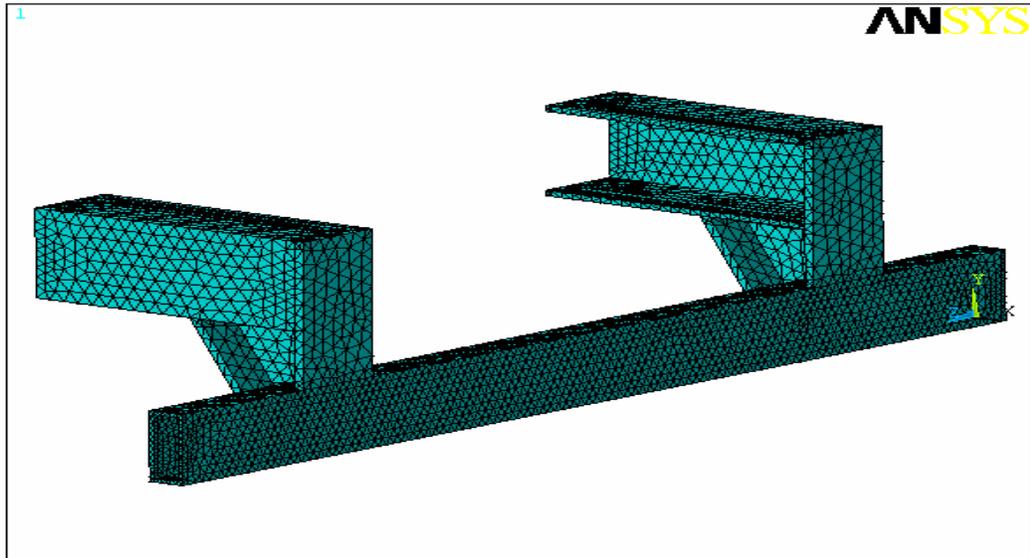


Figura 28. Vista 3D de la deformación resultante con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.

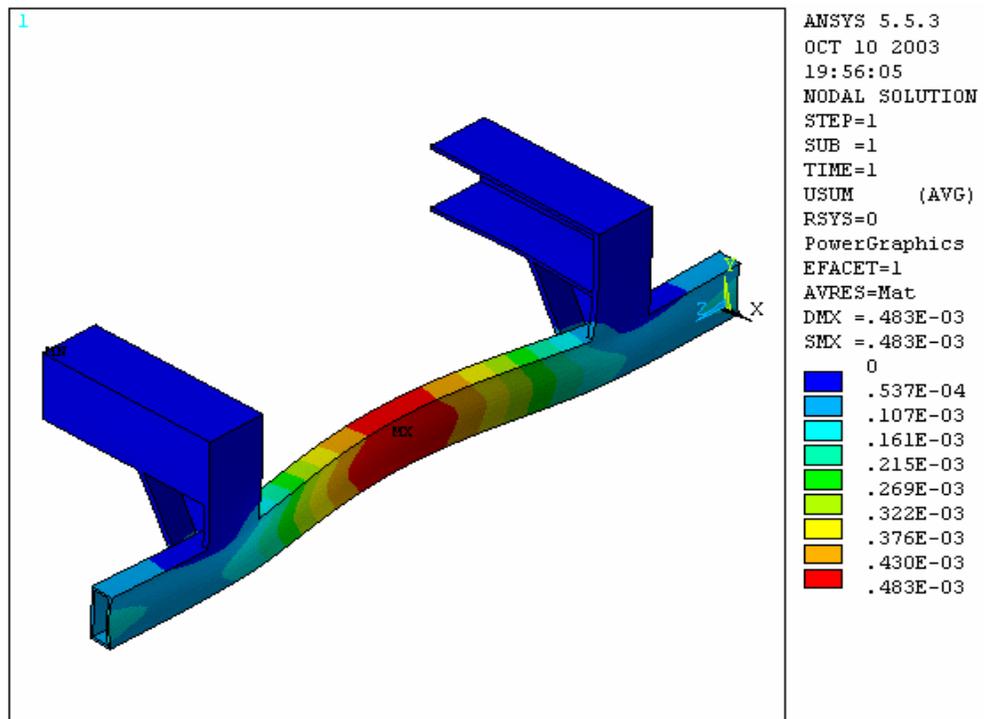


Figura 29. Vista superior de la deformación resultante con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.

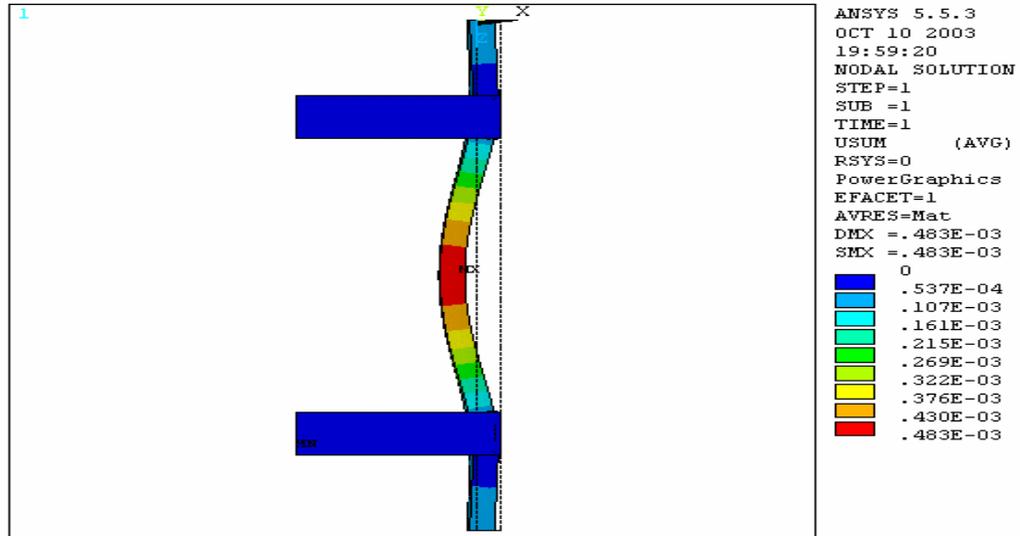


Figura 30. Vista lateral de la deformación resultante con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.

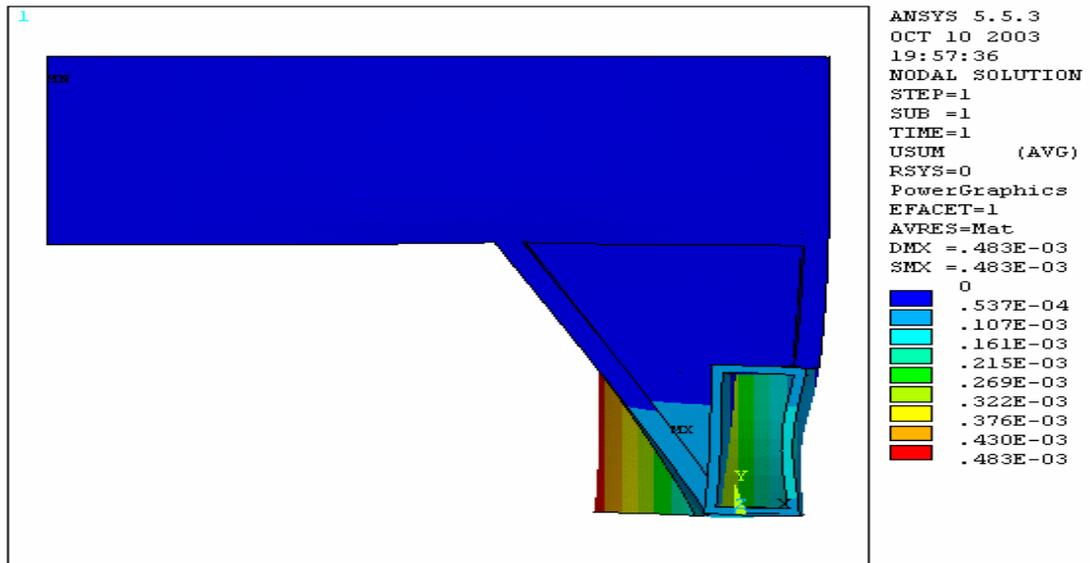


Figura 31. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.

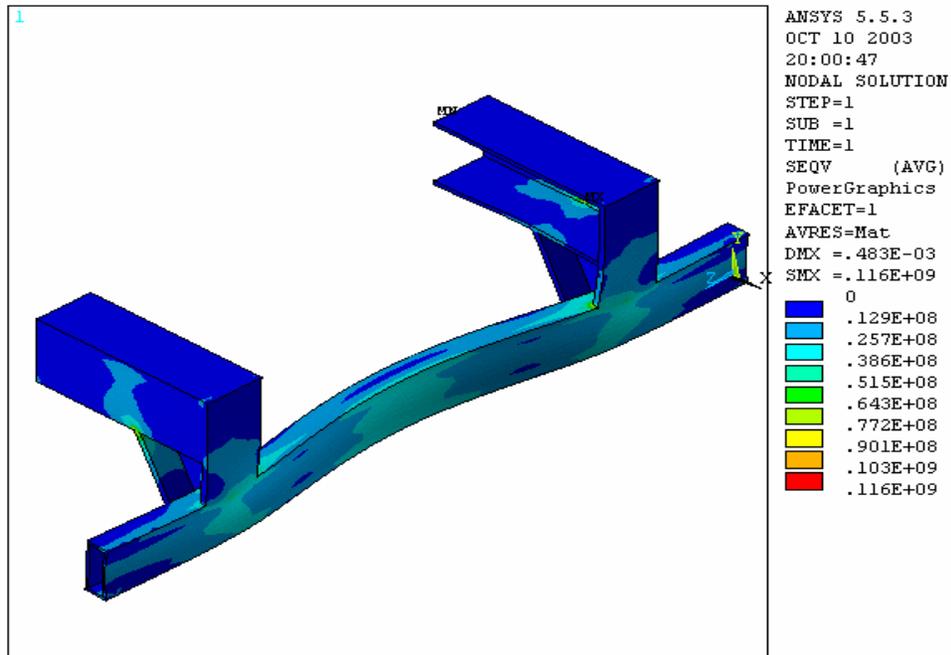


Figura 32. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 49894 nodos y 24698 elementos Bumper 2.

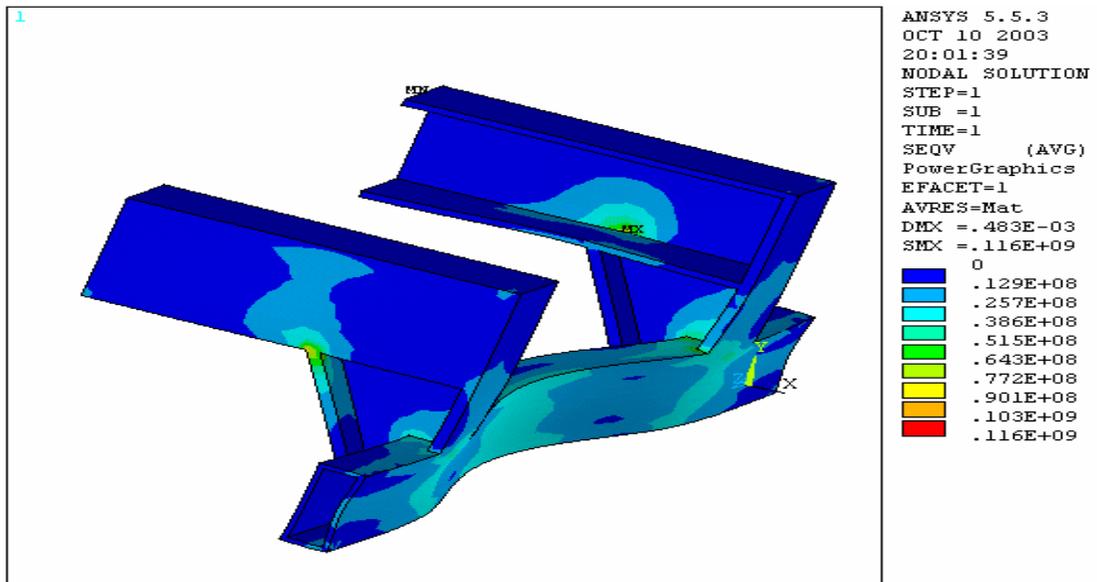


Figura 33. Malla del Bumper 2 con 64733 nodos y 32086 elementos.

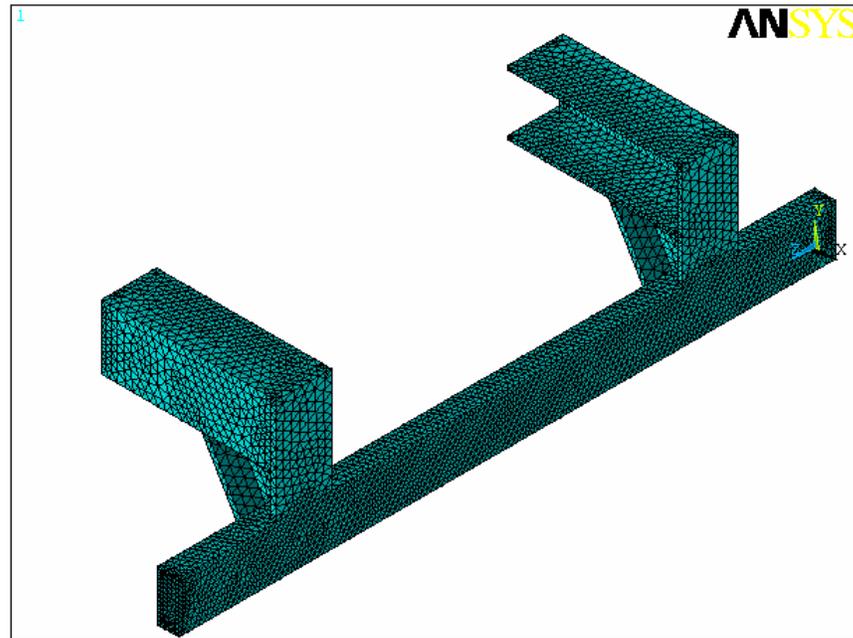


Figura 34. Vista 3D de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

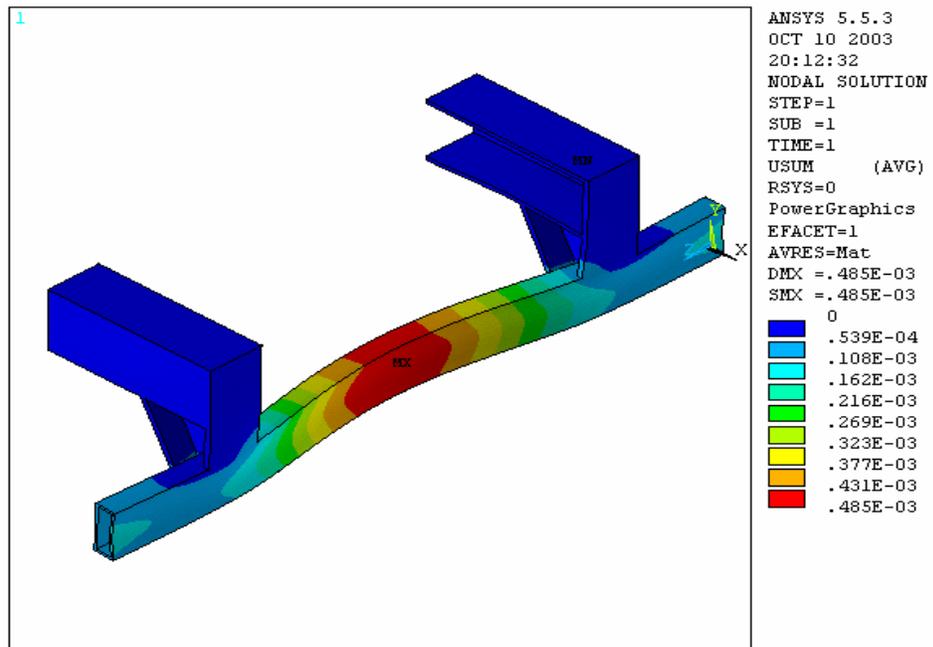


Figura 35. Vista lateral de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

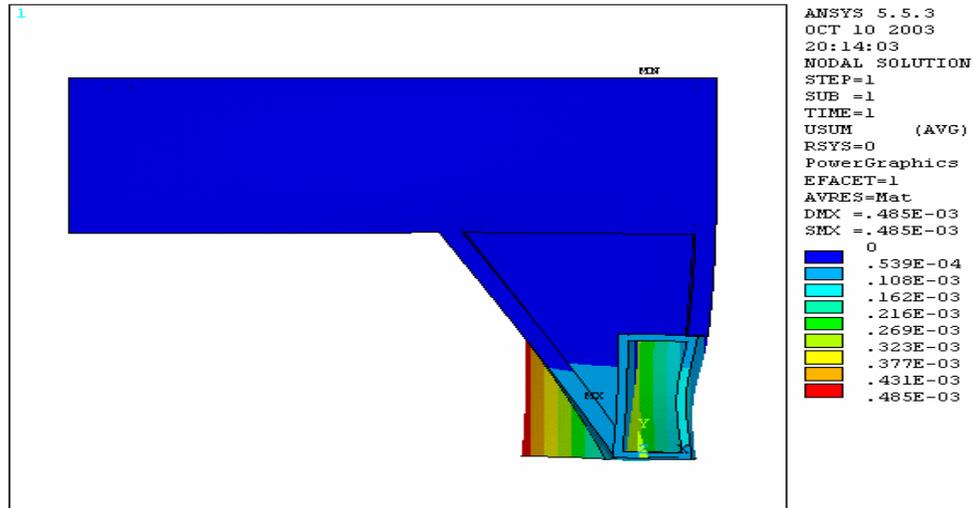


Figura 36. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos.

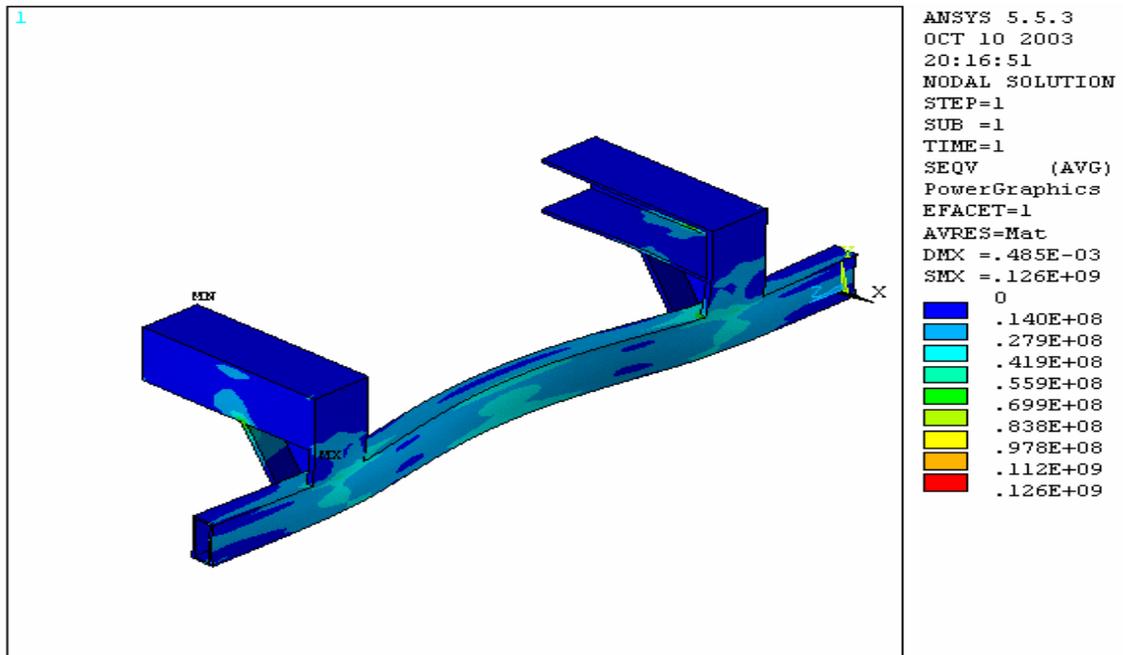


Figura 37. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

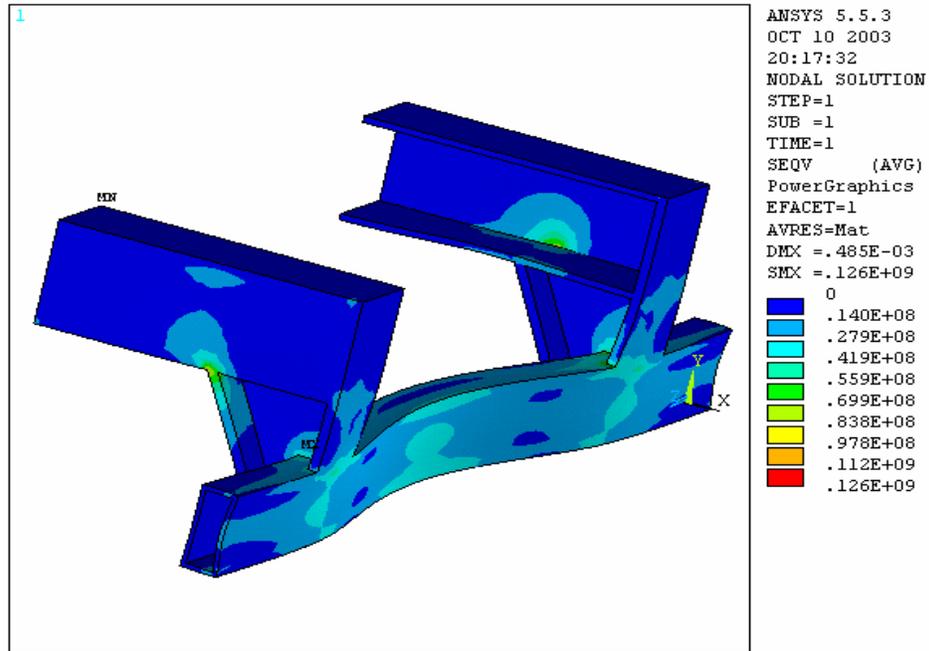


Figura 38. Malla del bumper 2 con 64733 nodos y 32086 elementos.

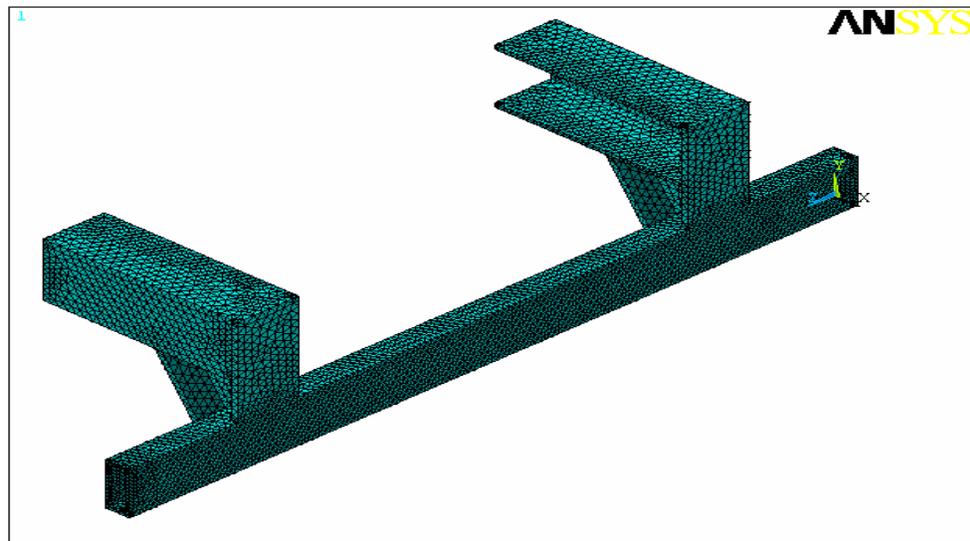


Figura 39. Vista 3D de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

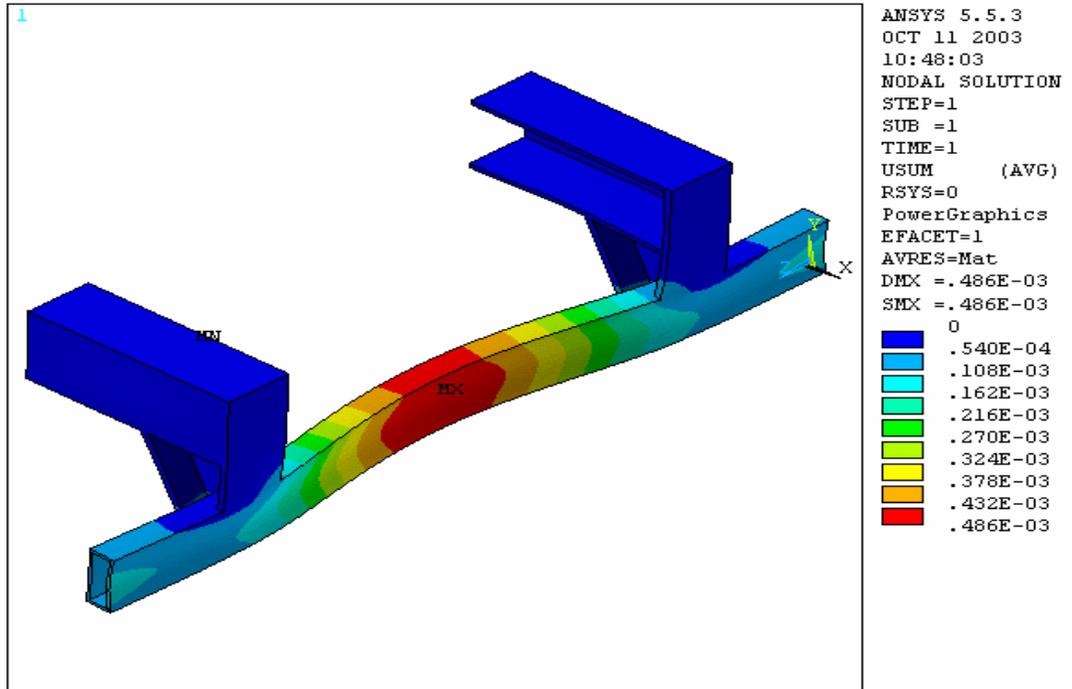


Figura 40. Vista lateral de la deformación resultante con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

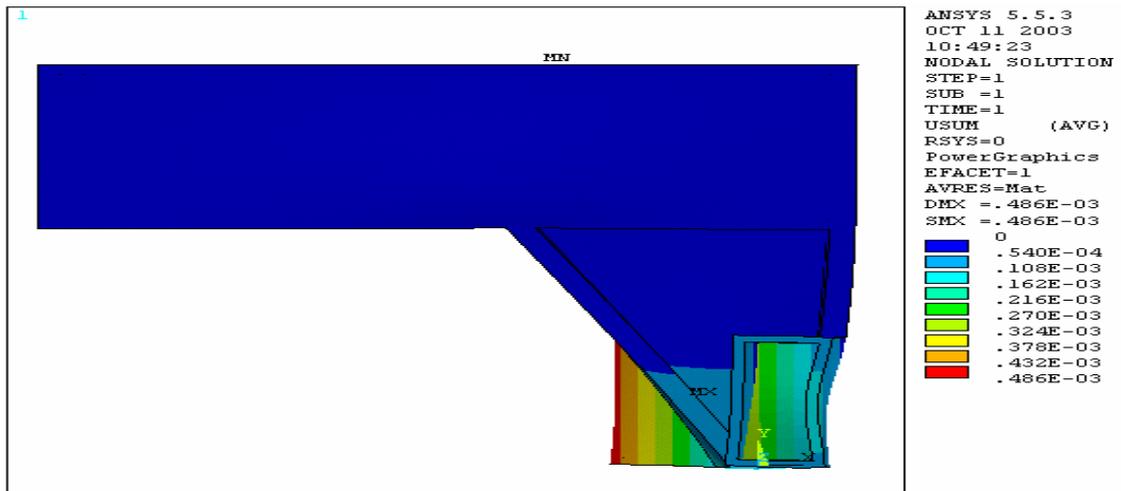


Figura 41. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

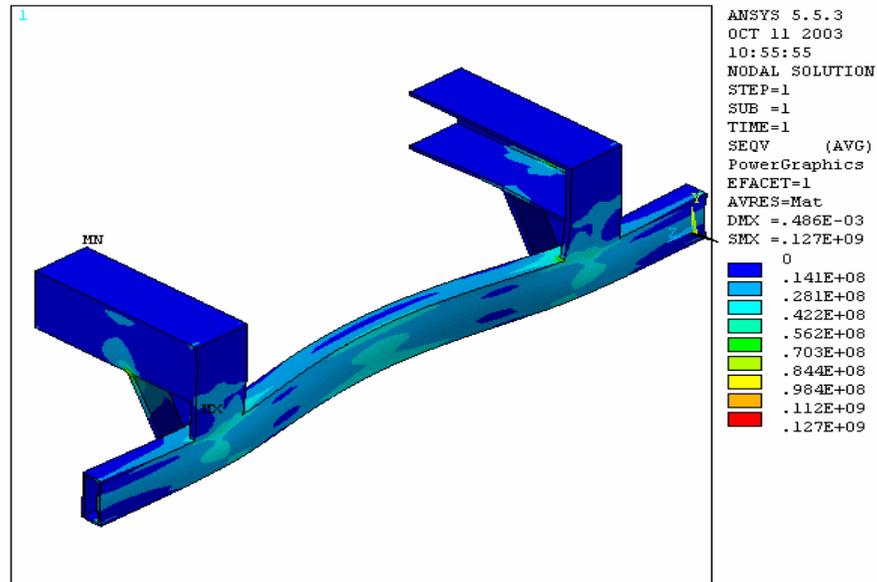


Figura 42. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 64733 nodos y 32086 elementos Bumper 2.

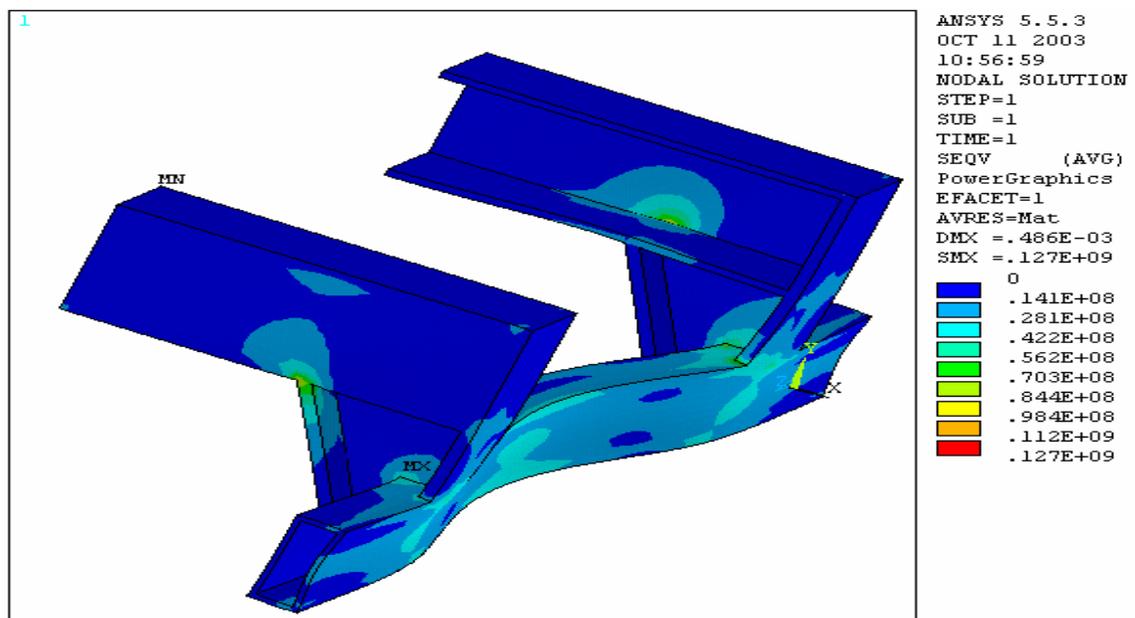


Tabla 3. Valores nodales escogidos por simetría para el análisis de convergencia con coordenadas (x, y, z), Bumper 2.

NUMERO DE ELEMENTOS	NODO	X (m)	Y (m)	Z (m)	ESFUERZO VON MISES (MPa)	DEFORMACIÓN RESULTANTE (m)
24698	11	5e-2	0.12	0.23	28.21	0.392e-4
	18	0	0	0.23	18.09	0.903e-4
	35	5e-2	0.12	1.32	30.8	0.3915e-4
	47	0	0	1.32	17.73	0.9e-4
32086	11	5e-2	0.12	0.23	32.2	0.393e-4
	18	0	0	0.23	17.8	0.909e-4
	35	5e-2	0.12	1.32	31.4	0.393e-4
	47	0	0	1.32	17.9	0.909e-4
37768	11	5e-2	0.12	0.23	30.6	0.393e-4
	18	0	0	0.23	16.9	0.912e-4
	35	5e-2	0.12	1.32	31.95	0.394e-4
	47	0	0	1.32	17.4	0.912e-4

Tabla 4. Comparación de los valores promedio escogidos por simetría para el análisis de convergencia, Bumper 2.

NUMERO DE ELEMENTOS	NODOS	ESFUERZO VON MISES (MPa)	DEFORMACIÓN RESULTANTE (m)
24698	11-35	29.5	0.3919e-4
	18-47	17.91	0.9e-4
32086	11-35	31.8	0.393e-4
	18-47	17.85	0.909e-4
37768	11-35	31.3	0.393e-4
	18-47	17.15	0.912e-4

Figura 43 .Análisis De Convergencia Esfuerzo (Bumper 2)

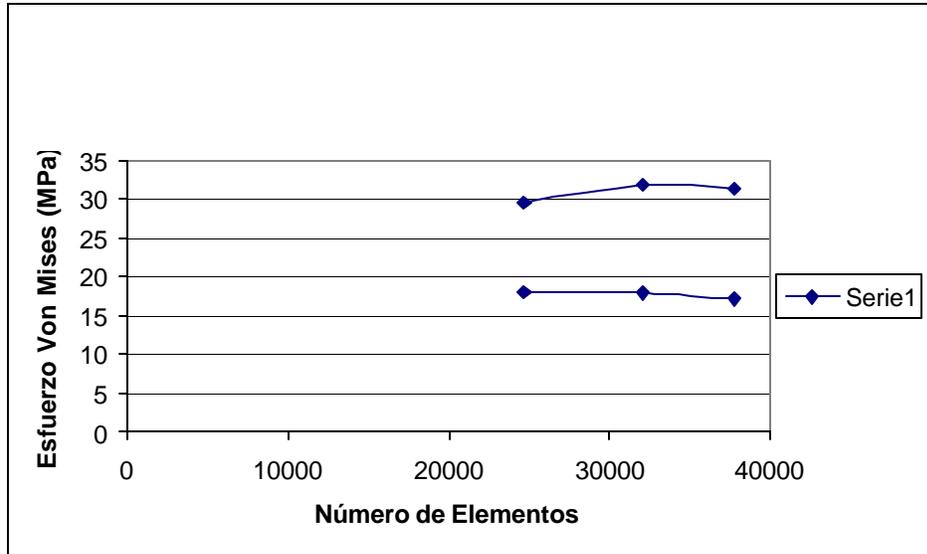
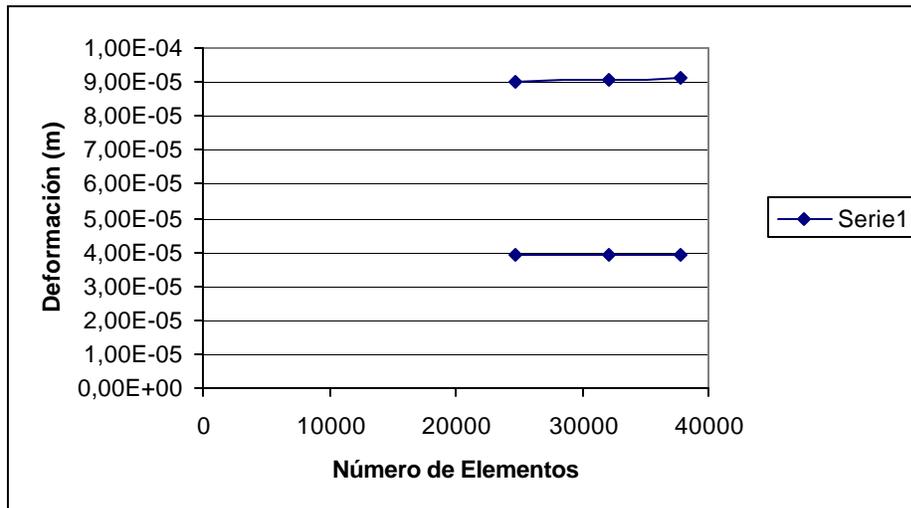


Figura 44. Análisis De Convergencia Deformación (Bumper 2)



1.4 GEOMETRÍA DEL MODELO DEL BUMPER N° 3

Figura 45 .Vista 3D del Bumper 3.

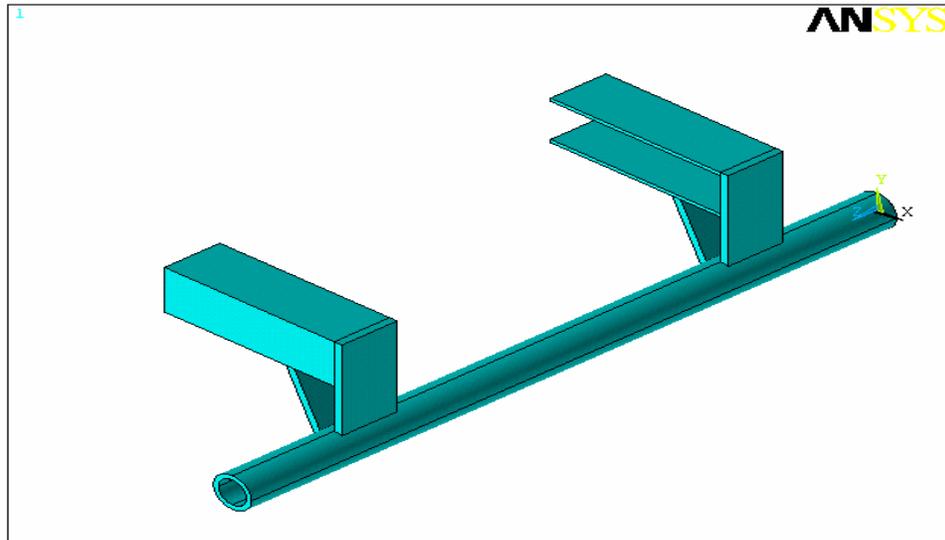


Figura 46. Vista lateral del Bumper 3.

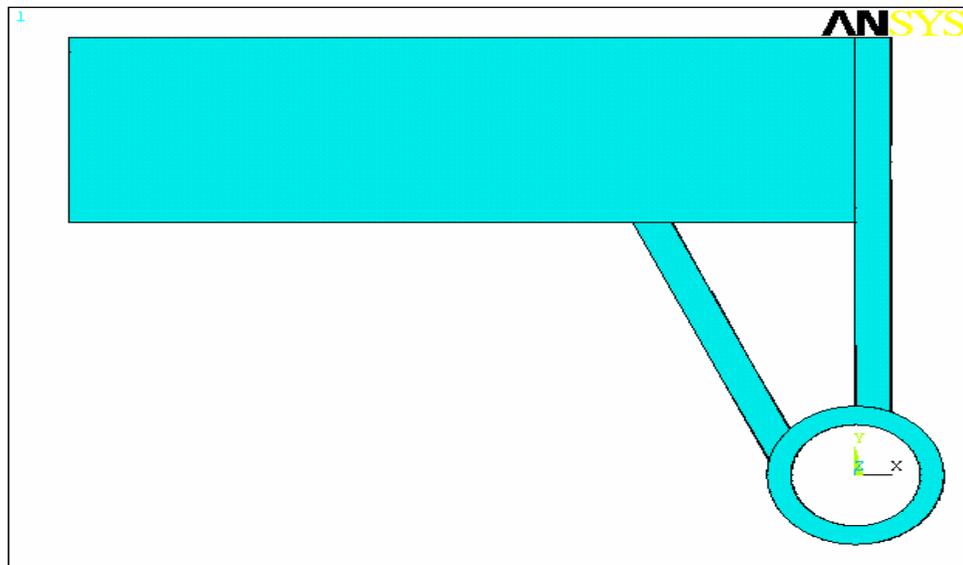


Figura 47. Malla del Bumper 3 con 34420 nodos y 16976 elementos.

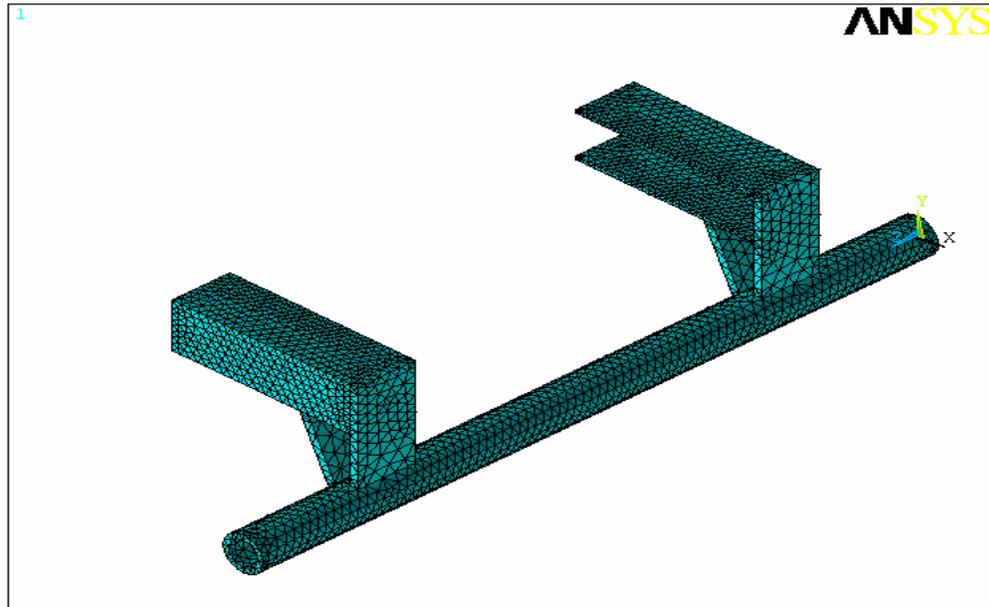


Figura 48. Vista 3D de la deformación resultante con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.

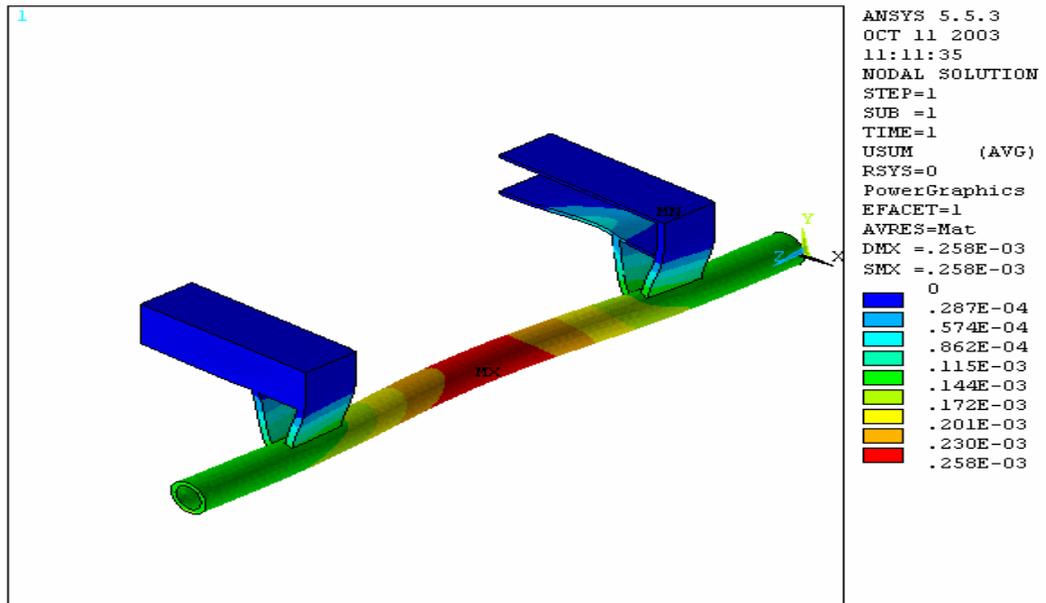


Figura 49. Vista superior de la deformación resultante con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.

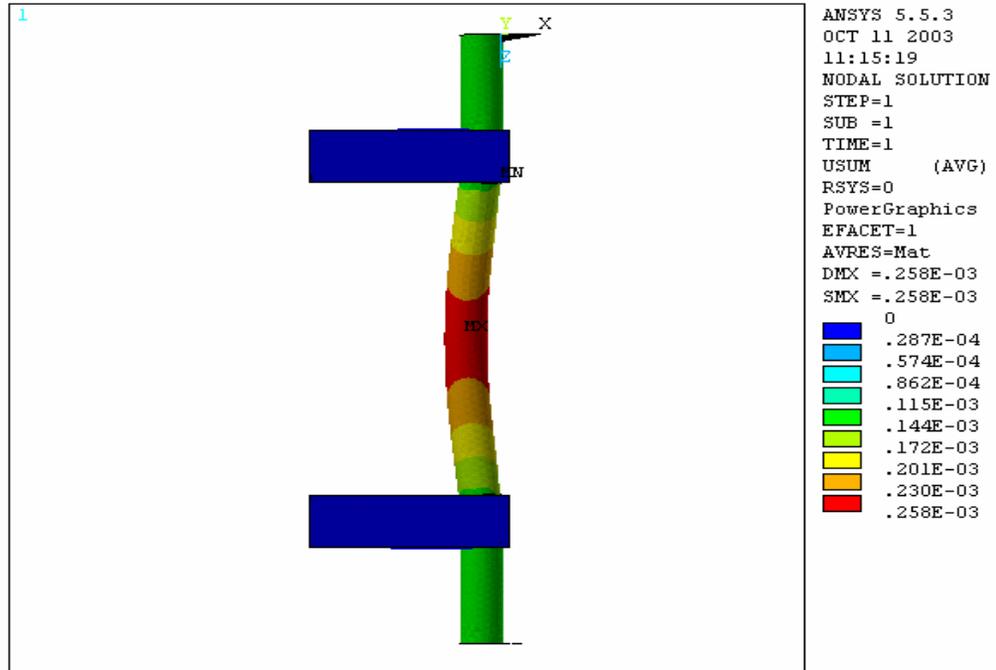


Figura 50. Vista lateral de la deformación resultante con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.

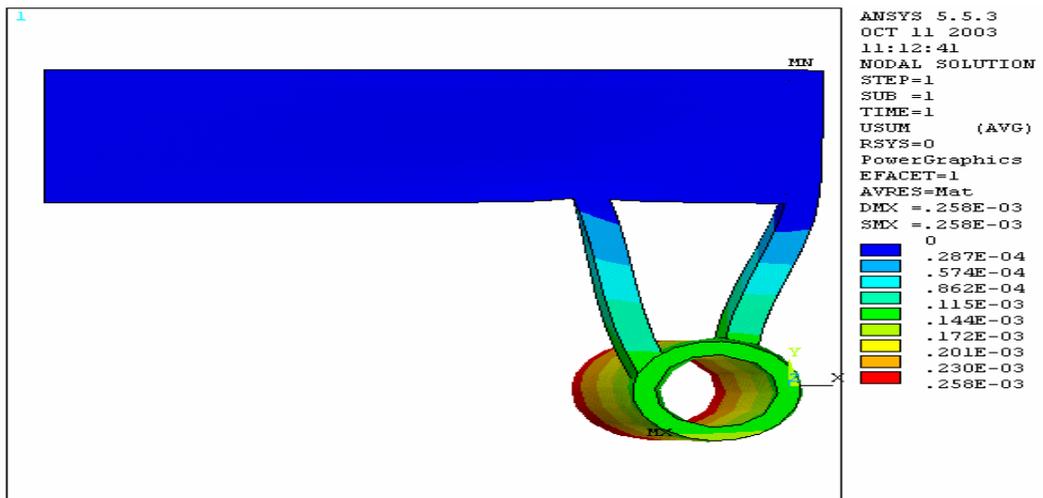


Figura 51. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.

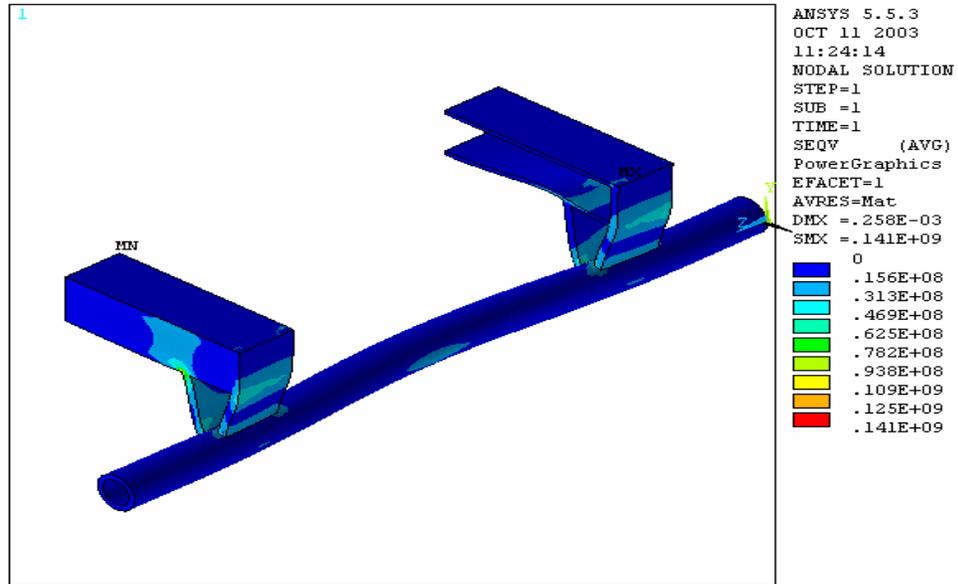


Figura 52. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 34420 nodos y 16976 elementos Bumper 3.

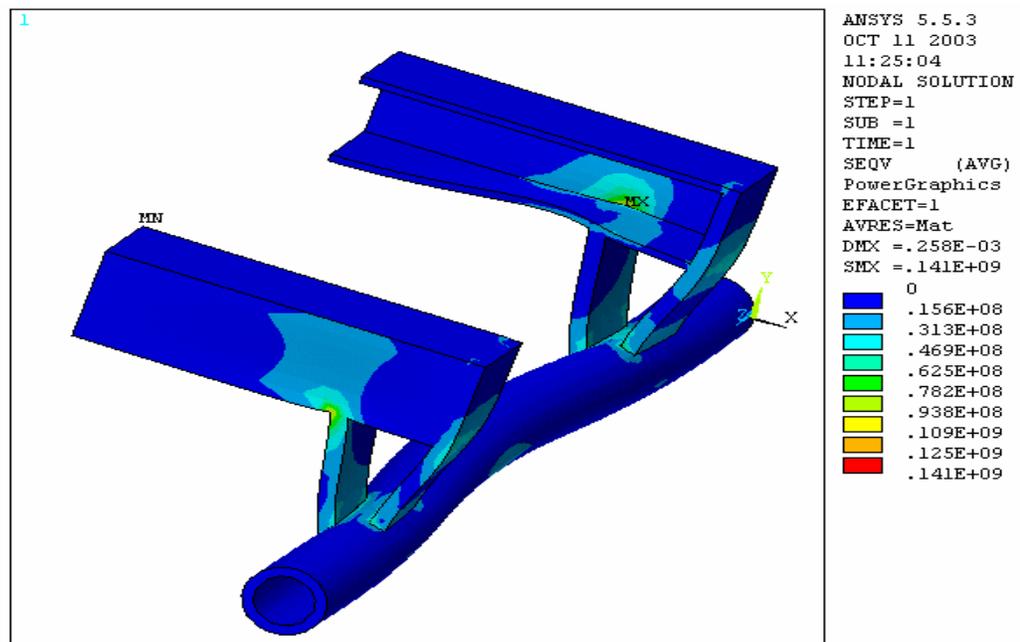


Figura 53. Malla del Bumper 3 con 39815 nodos y 19630 elementos.

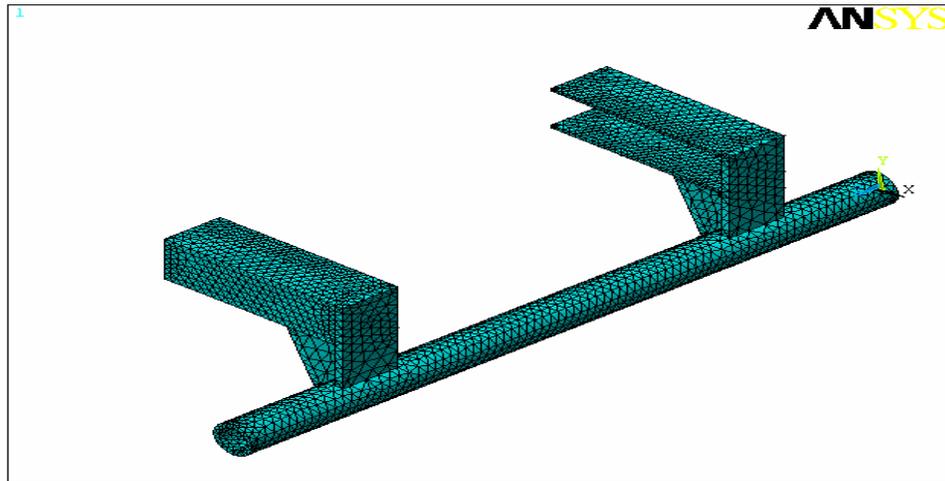


Figura 54. Vista 3D de la deformación resultante con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.

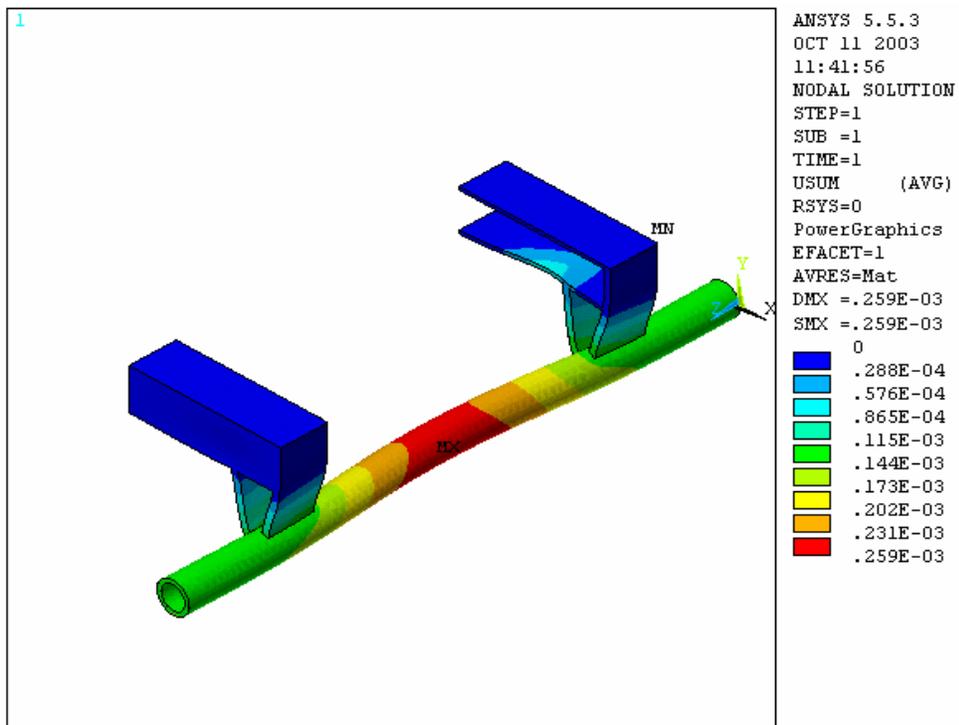


Figura 55. Vista superior de la deformación resultante con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.

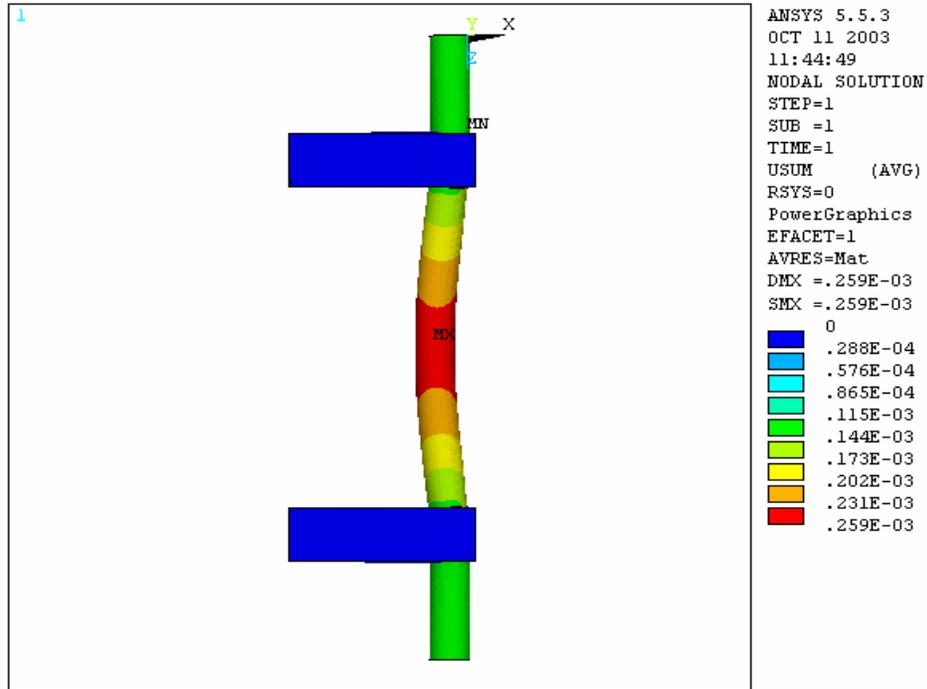


Figura 56. Vista lateral de la deformación resultante con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.

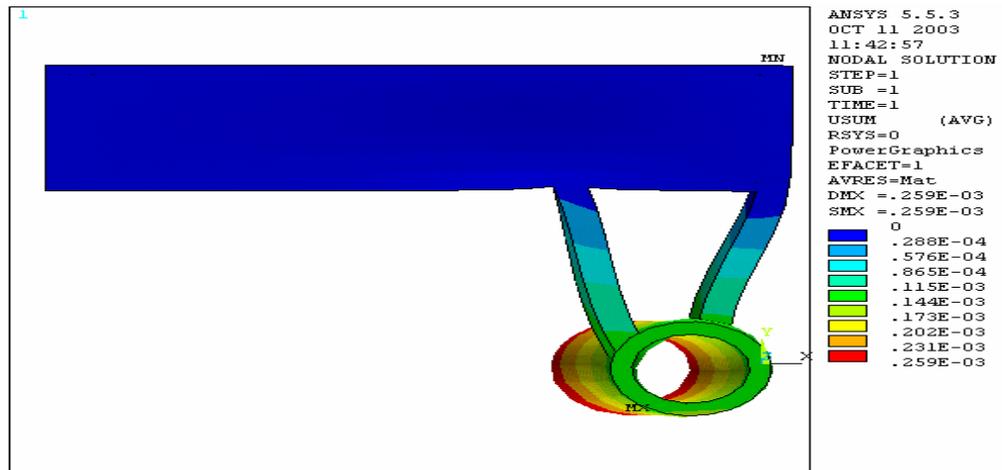


Figura 57. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.

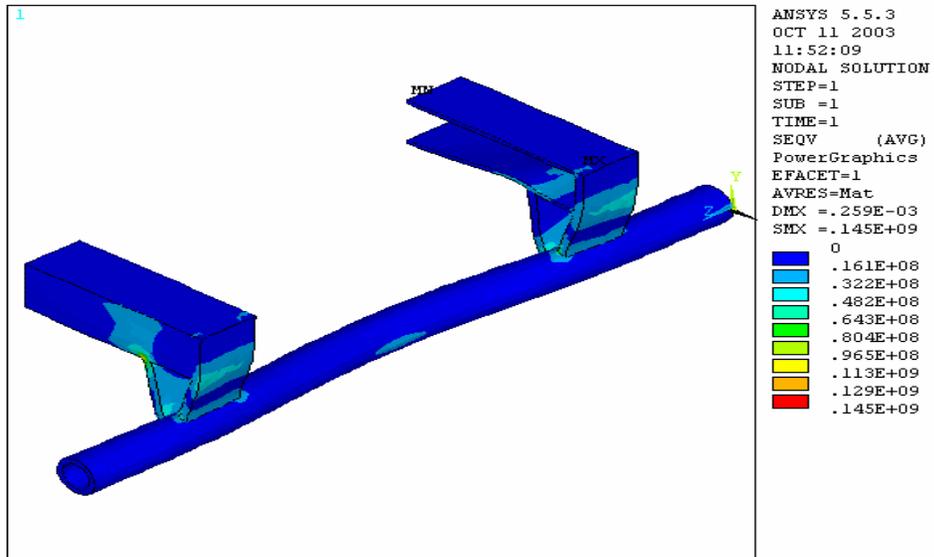


Figura 58. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 39815 nodos y 19630 elementos Bumper 3.

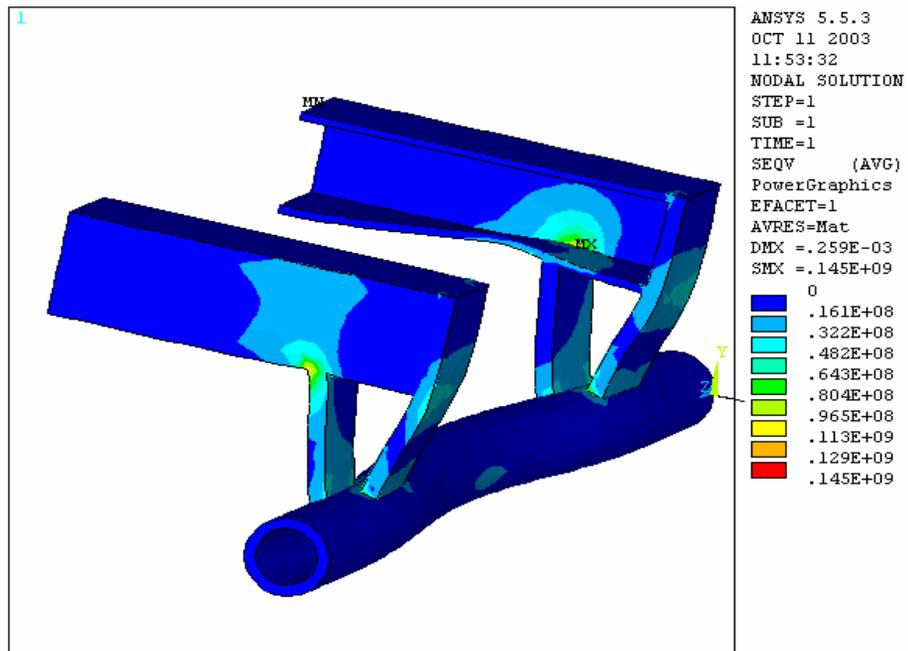


Figura 59. Malla del Bumper 3 con 63667 nodos y 31692 elementos.

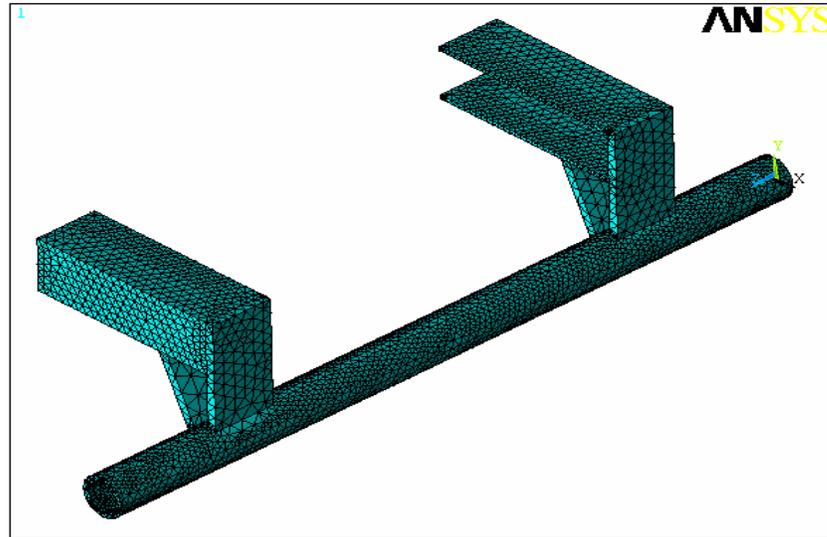


Figura 60. Vista 3D de la deformación resultante con 63667 nodos y 31692 elementos.

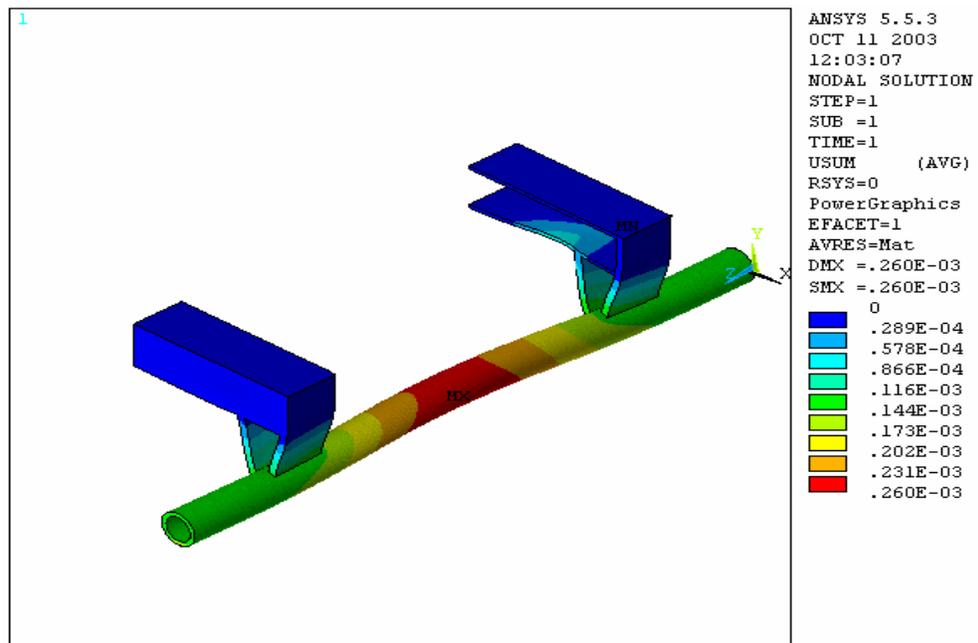


Figura 61. Vista superior de la deformación resultante con 63667 nodos y 31692 elementos.

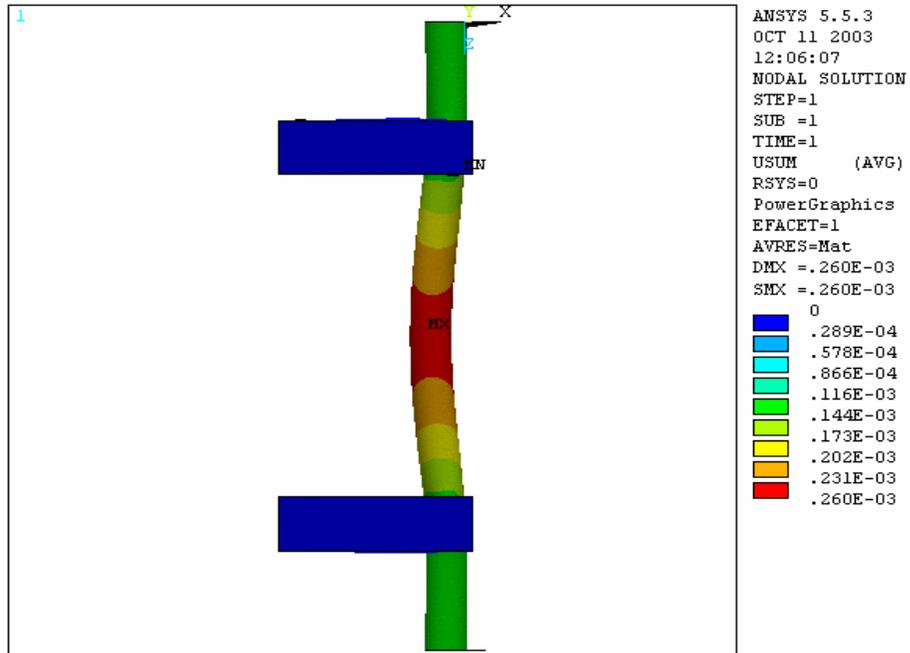


Figura 62. Vista lateral de la deformación resultante con 63667 nodos y 31692 elementos.

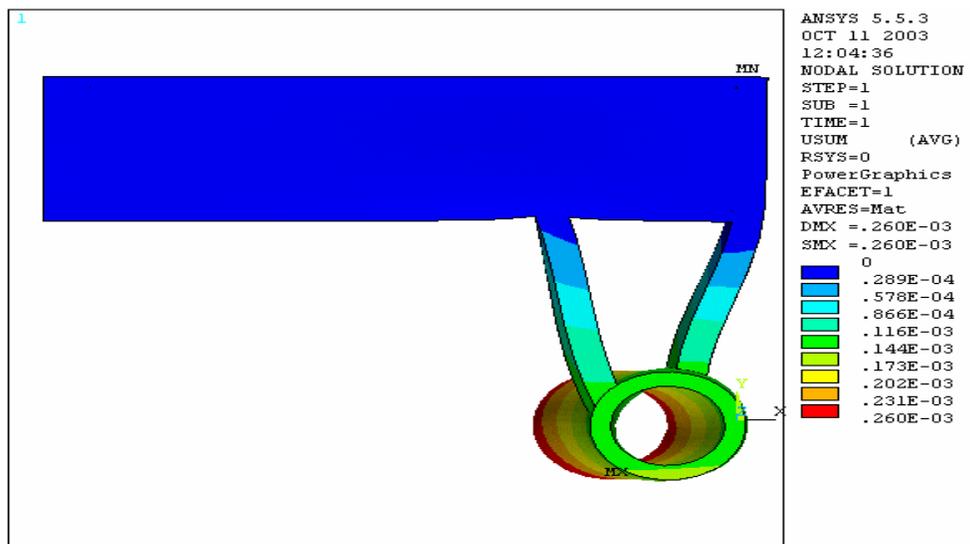


Figura 63. Vista 3D del esfuerzo de Von Mises con 63667 nodos y 31692 elementos.

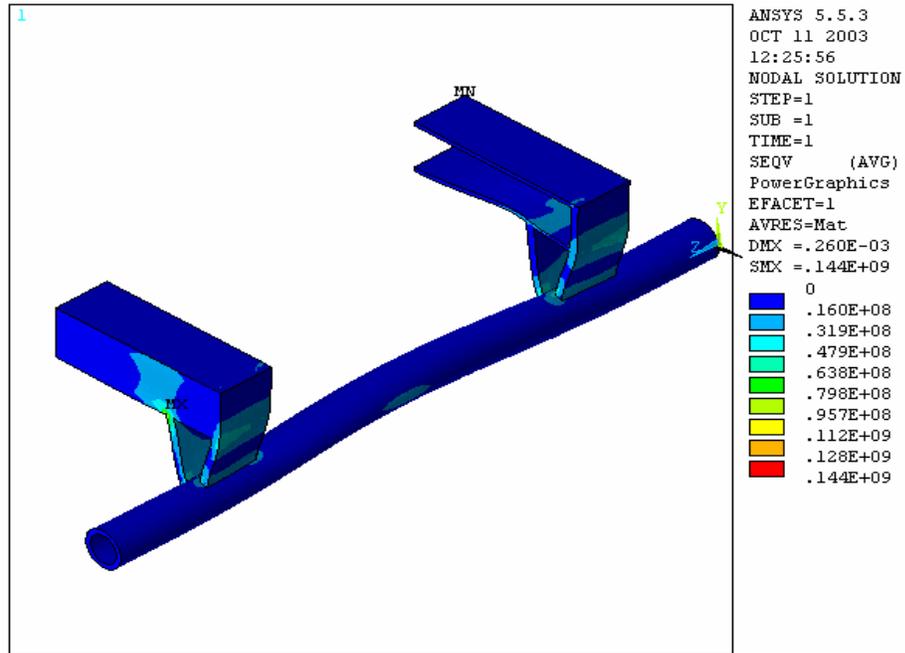


Figura 64. Vista ampliada del esfuerzo de Von Mises con 63667 nodos y 31692 elementos.

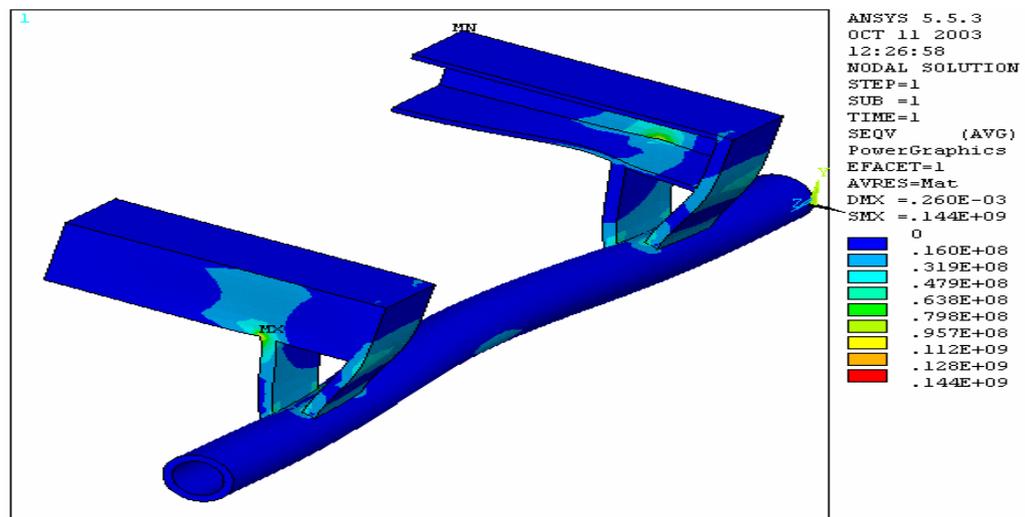


Tabla 5. Valores nodales escogidos por simetría para el análisis de convergencia con coordenadas (X, Y, Z) Bumper 3.

NUMERO DE ELEMENTOS	NODO	X (m)	Y (m)	Z (m)	ESFUERZO VON MISES (MPa)	DEFORMACIÓN RESULTANTE (m)
16976	18	-0.4	0.165	0.24	13.767	0
	21	-0.113	0.165	1.28	115.12	0.217e-4
	39	-0.113	0.165	0.24	112	0.217e-4
	64	-0.4	0.165	1.28	13.725	0
19630	18	-0.4	0.165	0.24	13.765	0
	21	-0.113	0.165	1.28	117	0.2169e-4
	39	-0.113	0.165	0.24	113.7	0.2151e-4
	64	-0.4	0.165	1.28	13.71	0
31692	18	-0.4	0.165	0.24	13.77	0
	21	-0.113	0.165	1.28	119.29	0.2161e-4
	39	-0.113	0.165	0.24	111.87	0.216e-4
	64	-0.4	0.165	1.28	13.71	0

Tabla 6. Comparaciones de los valores promedio escogidos por simetría para el análisis de convergencia, Bumper 3.

NUMERO DE ELEMENTOS	NODOS	ESFUERZO VON MISES (MPa)	DEFORMACIÓN RESULTANTE (m)
16976	21-39	113.56	0.2162e-4
	18-64	13.74	0
19630	21-39	115.35	0.216e-4
	18-64	13.736	0
31692	21-39	113.56	0.2159e-4
	18-64	13.74	0

Figura 65. Análisis De Convergencia Esfuerzo (Bumper 3)

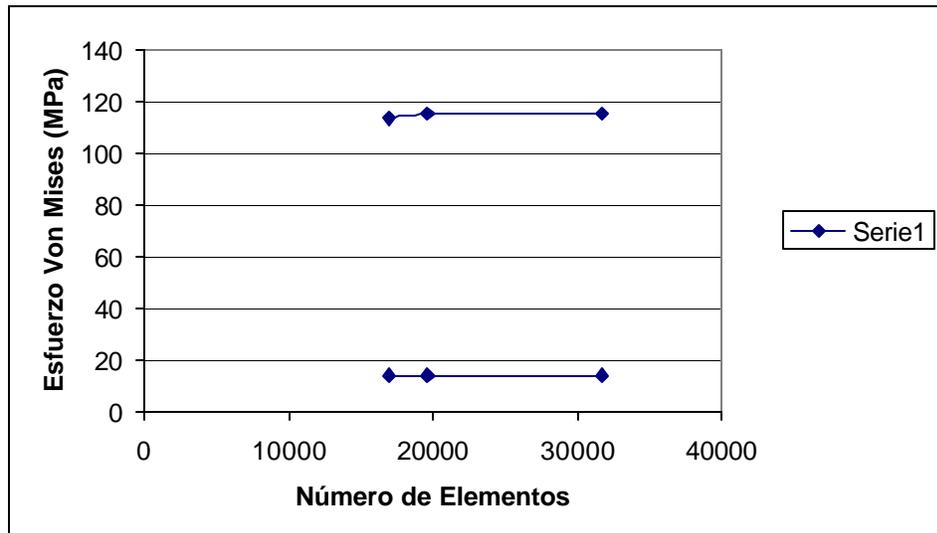
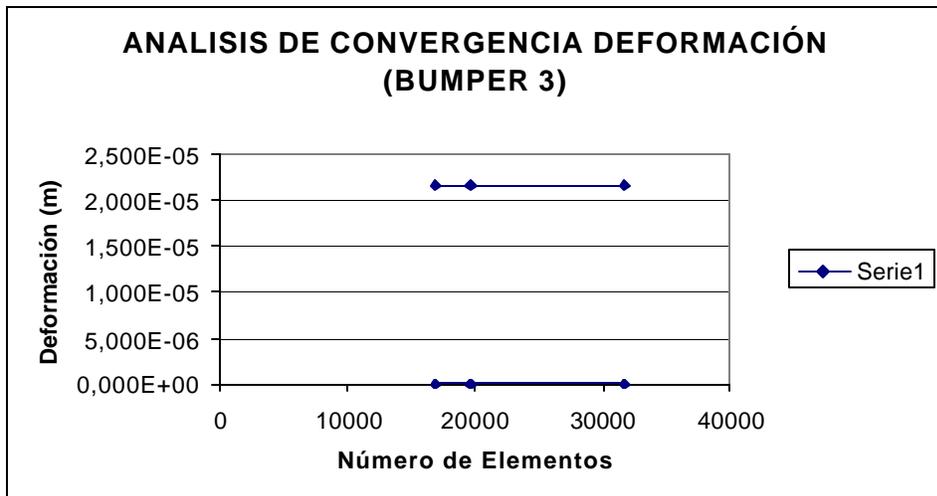


Figura 66. Análisis de Convergencia deformación (Bumper 3)



1.5 ANÁLISIS DE LA MEJOR CONFIGURACIÓN PARA UN TIEMPO DE IMPACTO DE 500 ms

Figura 67. Vista 3D del Esfuerzo de Von Mises para aceros aleados.

(E = 207 Gpa)

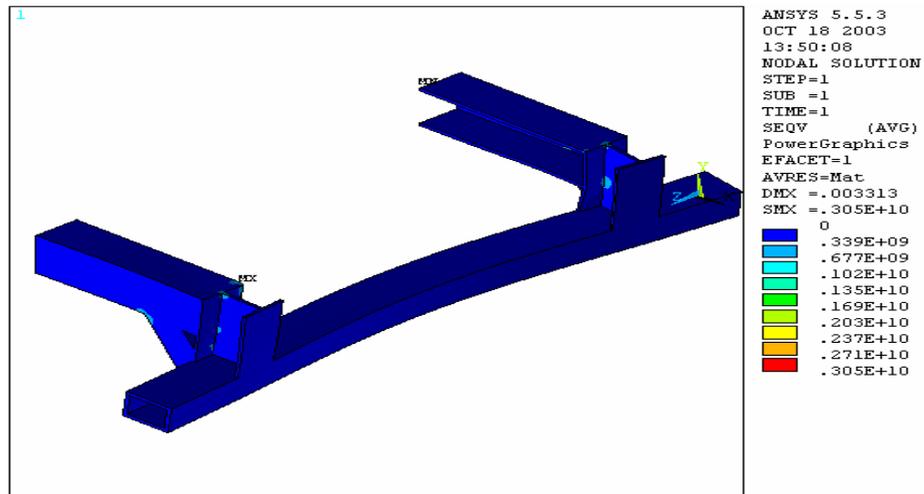


Figura 68. Vista ampliada del Esfuerzo de Von mises para aceros aleados

(E =207 Gpa)

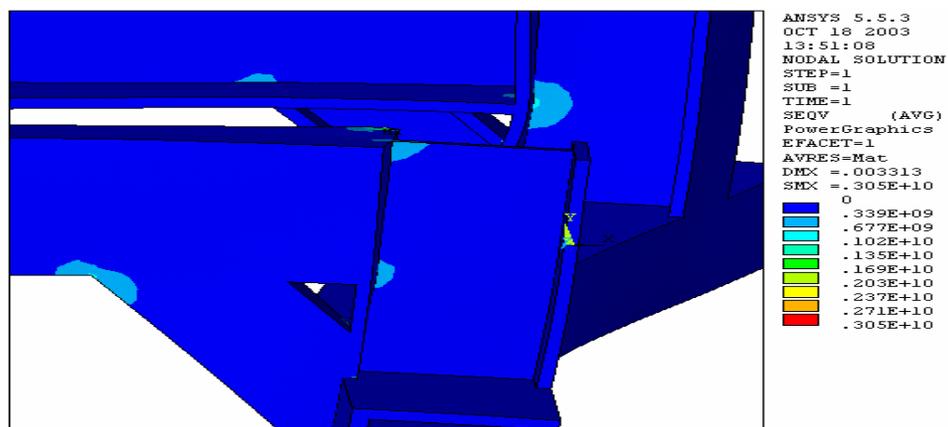


Figura 69. Vista 3D del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en Acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad intermedio ($E = 285 \text{ Gpa}$).

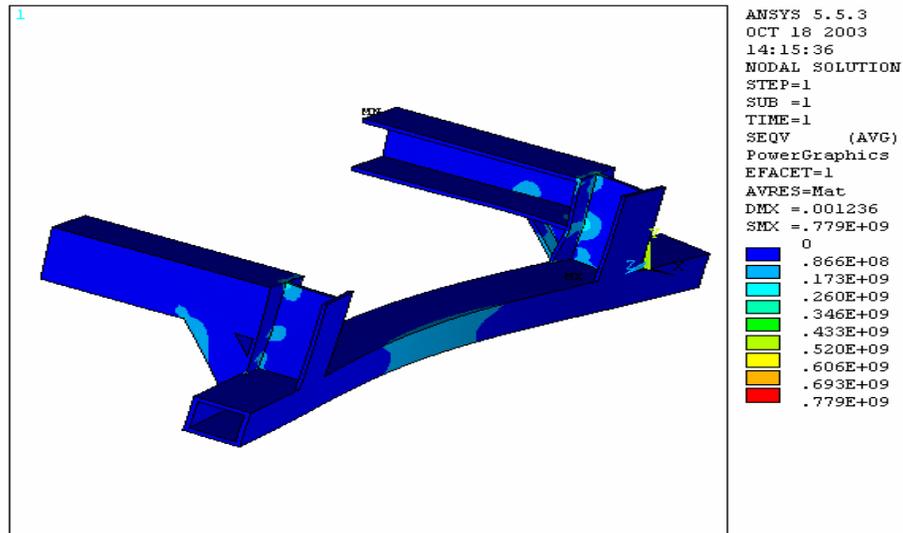


Figura 70. Vista ampliada del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad intermedio ($E = 285 \text{ Gpa}$).

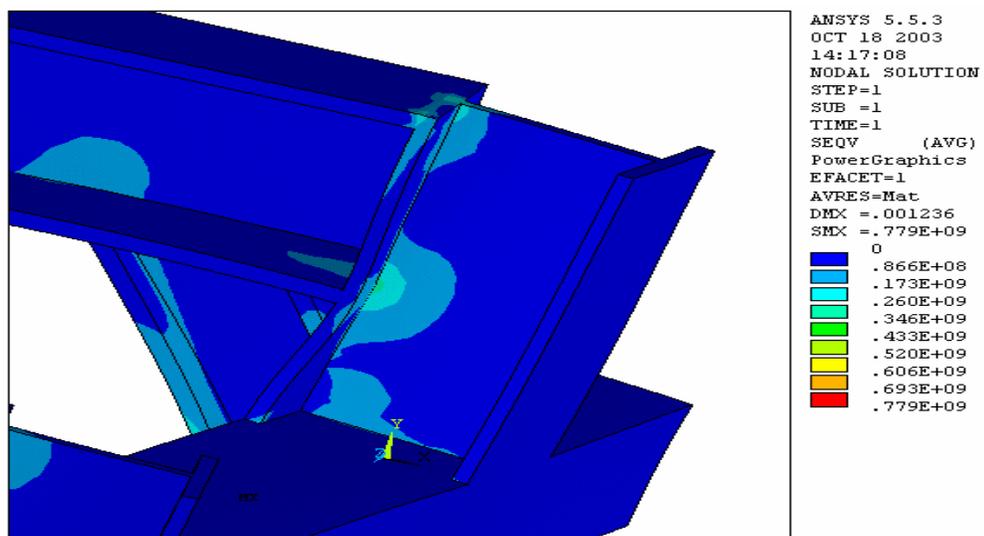


Figura 71. Vista 3D del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en Acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad alto ($E = 400 \text{ Gpa}$).

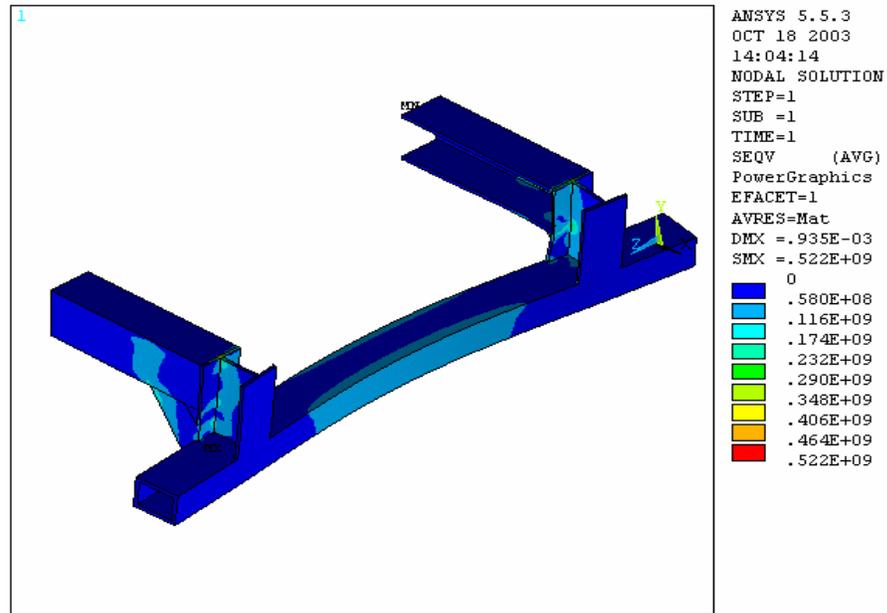
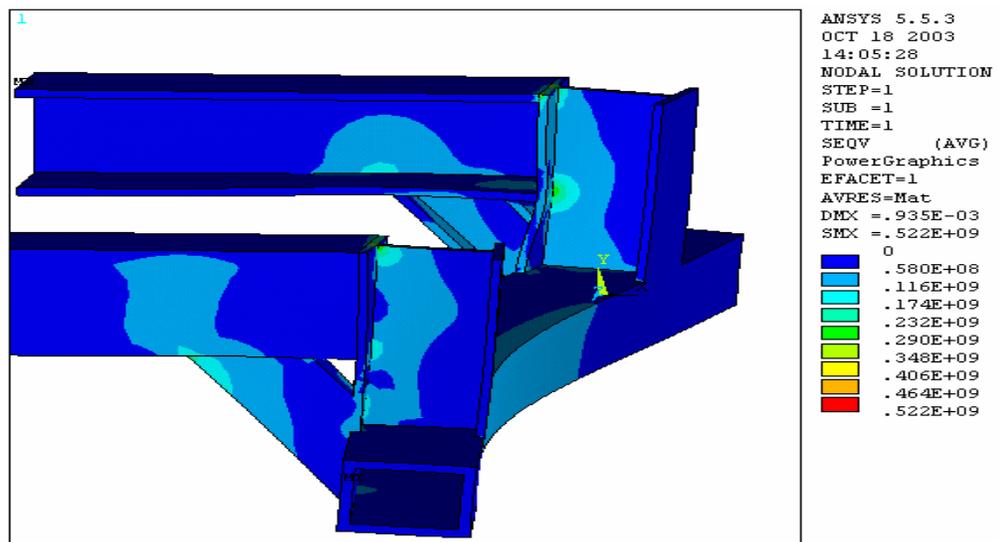


Figura 72. Vista ampliada del Esfuerzo de Von mises en una estructura con chasis en acero y Bumper en fibra de carbono de modulo de elasticidad alto ($E = 400 \text{ Gpa}$).



1.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Antes de proseguir con el análisis de resultados es preciso conocer cual es la malla que se ajusta numéricamente entre los enmallados efectuados a cada configuración. Para el Bumper 1, las Figuras Figura 23 y Figura 24 correspondientes a los valores nodales de esfuerzo de Von Mises y Deformación resultante muestran que entre el segundo y tercer enmallado los resultados tienden a normalizarse, por ello se elige el de menor número de elementos, que corresponde al enmallado de 28835 elementos.

En los Bumpers 2 y 3, se observó de igual forma que el segundo enmallado no difería en sus resultados para los grados de libertad, en comparación con el tercer enmallado.

Luego de haber efectuado el respectivo análisis de convergencia para las distintas configuraciones estructurales, se puede dar lugar al análisis de los resultados obtenidos a través de ANSYS.

Ante el hecho de que se consideró el efecto de la carga de impacto distribuida sobre toda el área frontal de la barra tubular, se percibe la tendencia a la simetría en los resultados obtenidos de los valores nodales tanto de esfuerzo como de deformación resultante, lo cual se puede ver en las tablas de algunos valores nodales escogidos y en las diversas figuras de los grados de libertad.

En las Figuras 14 - 15, se observa que los valores de deformación son relativamente bajos, lo cual se interpreta como un gran poder de absorción de energía sin deformarse de forma permanente, debido a como se hace la repartición de la carga y

al momento de inercia resistivo que genera tal configuración, frente a esta condición de carga dentro del rango elástico.

Además se puede observar en ellas, que la mayor deformación ocurre en el centro de la barra tubular rectangular, debido a que la condición de rigidez en la parte superior de chasis y de empotramiento, restringe en gran medida el desplazamiento hacia la zona de los extremos.

La Figura 17 por su parte, muestra que existe una región de tensión y compresión en el centro de la barra, lo cual era lo esperado, y con una ampliación de ésta gráfica, puede notarse que las regiones donde se concentra el esfuerzo son aquellas donde están soldados el chasis, el perfil inclinado en C y el perfil vertical en I, lo cual constituye un comportamiento válido.

Se ve además que el valor de esfuerzo equivalente de Von Mises no supera en las regiones críticas un valor de 100 MPa, lo que confirma que está dentro de la región elástica, puesto que el valor correspondiente al esfuerzo de fluencia para el acero estructural es de 210 Mpa.

En los valores de deformación resultante de las Figuras 34 - 35 hay lugar a desplazamientos nodales un poco más grandes, lo que está relacionado con valores nodales del esfuerzo equivalente más pronunciados (Rango.0-112MPa) para un número mayor de regiones que en el Bumper 1 (Rango. 2.07- 97 MPa) y esto indica que la configuración del Bumper 2 es menos resistente en su conjunto, pero se observa que las zonas críticas siguen siendo las constituidas por los soportes inclinados y las platinas unidas al chasis.

Para el Bumper 3 se continua observando en las Figuras 54–56 que la máxima deformación ($0.259e-3$ m) la constituye la zona central, que es la que está provista de mayor libertad , pero en magnitud el valor máximo se generó en el Bumper 2 ($0.48E-3$ m) , seguido por el Bumper 1 ($0.3E-3$ m).

En lo concerniente al esfuerzo equivalente de Von Mises, se observa que las zonas más afectadas la constituyen las platinas que unidas al chasis de la Tactomula, que en esta ocasión son más propensas a doblarse. De esta manera la lista de resultados nodales arroja un valor mínimo de esfuerzo de 0 MPa y un valor máximo de 117 MPa (Rango. 0-117 MPa), lo que indica que esta configuración es la menos resistente en comparación con las otras.

Al entrar a detallar los resultados para un estado mucho más coherente con un fenómeno real, las Figuras 67-68 muestran valores de esfuerzo relativamente altos en las regiones donde se concentra este mismo ($1020-1350$ MPa), los cuales un acero estructural simple no lograría soportar en lo más mínimo, por ello la parte del bumper puede colocarse de un acero de alta resistencia como los mostrados a continuación con elevada resistencia a la fluencia.

Tabla 7. Propiedades de Acero de alta resistencia

NÚM. AISI	TRATAMIENTO	TEMPERTURA (°C)	RESIST. ÚLTIMA (MPa)	RESISTENCIA DE FLUENCIA (MPa)
4130	Q&T	205	1630	1460
4130	Q&T	315	1500	1380

4140	Q&T	205	1770	1640
4140	Q&T	315	1770	1640
4340	Q&T	315	1720	1590
4340	Q&T	425	1470	1360

Para el caso de emplear fibra de carbono para el Bumper, se puede apreciar que aunque los valores de esfuerzo de Von Mises mostrados en las Figuras 69 – 71 son elevados (400 MPa –600 MPa) bajo esta condición de carga, están muy por debajo de los valores permisibles para la fibra de carbono, que pueden tener valores hasta 10 veces mayor de resistencia a tensión que el acero y mucho más ligeros en peso.

Hay por ejemplo fibras de carbono con modulo cercano al estándar (230 Gpa) con una capacidad de resistencia a la tensión de 3800 MPa.

Aunque puede ser aun no necesario hacer el Bumper puramente de fibra de carbono, se puede emplear para reforzar la estructura de un acero de mediana resistencia y absorber gran cantidad de energía en las zonas de gran concentración de esfuerzo.

CONCLUSIONES

En la actualidad los vehículos de carga pesada no tienen una configuración estandarizada para los parachoques posterior, esto crea una condición insegura que pone en peligro la vida de los conductores de vehículos que colisionan con dichas estructuras. Muchos dueños de vehículos pesados manifiestan que tienen que poner el diseño de las estructuras de seguridad en manos de personal técnico de soldadura para la construcción de las configuraciones de los parachoques posteriores sin ningún estudio de materiales y con geometrías no estandarizadas.

En la realización de estudio computacional de estructura de seguridad (parachoques posterior) donde existen cargas dinámicas se debe tener en cuenta el tiempo en el cual ocurre el cambio de velocidad del cuerpo que colisiona, ya que al ser el tiempo corto la energía de deformación en el impacto es mayor produciendo esto que el análisis de las estructuras se haga fuera del comportamiento lineal de los materiales utilizados para la construcción.

En las configuraciones de parachoques estudiadas en este análisis computacional se observo que es importante conocer los esfuerzos ocasionadas por la carga, en el lugar donde se une las estructuras parachoques con el chasis del vehículo de carga pesada, ya que existe una alta concentración de esfuerzos y esta unión requiere una soldadura adecuada.

RECOMENDACIONES

En este estudio computacional se tomo la carga dnámica y se convirtió en carga estática es deseable utilizar la parte de ANSYS dinámic con el fin de que el modelamiento se utilice cargas dinámicas como en realidad ocurre la colisión.

Es de gran ayuda para comprobar el modelo computacional hacer un modelo experimental con el fin de comprobar si el modelamiento es correcto o no.

Se debe utilizar otros software de modelamiento como Working model con el fin ce hacer una comparación de resultados entre éste y el ANSYS.

BIBLIOGRAFIA

BEER, Ferdinand, JHONSTON, Russell. Mecánica de materiales. Primera edición.
Santa Fe de Bogotá DC: Mc Graw-Hill, 1982. Pág 58.

www.saludcolombia.com/actual/salud46/Violencia982.htm. Tomado jueves 5 de
septiembre de 2003, a las 5:00 p.m.