



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y OPTIMIZACIÓN AERODINÁMICA DE LA CARROCERÍA DE UN BUS INTERPROVINCIAL MODELO GR DE LA EMPRESA OLÍMPICA QUITO

AUTORES:

**CARLOS VINICIO BELTRÁN HERRERA
JOSÉ OMAR GARRIDO VILLACIS**

DIRECTOR: ING. GUIDO TORRES

2017





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad realizar un análisis estructural estático y dinámico de la carrocería interprovincial de la empresa Carrocerías Olímpica Quito para determinar su deformación máxima y resistencia causadas en los distintos componentes ante las condiciones de carga que son sometidas en su operación. Posterior a esto, determinar la eficiencia aerodinámica de dicha carrocería y posteriormente mediante la modificación de la configuración geométrica de la carrocería original presentar una propuesta con una mayor eficiencia aerodinámica.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

JUSTIFICACIÓN

La empresa “Carrocerías Olímpica Quito” en su afán de buscar permanente la mejora continua de sus productos cumpliendo siempre la normativa legal y técnica vigente, desea mejorar la apariencia del modelo de carrocería interprovincial, en vista que los clientes cada vez son más exigentes y buscan nuevos modelos de carrocerías con líneas novedosas y modernas con el compromiso de la seguridad ante todas las cosas y mantenerse actualizadas a la par de los modelos de carrocerías extranjeros.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento estructural de la carrocería para buses interprovinciales de la empresa Carrocerías Olímpica Quito mediante la utilización de software de ingeniería, para conocer la resistencia y deformación máxima causada en cada uno de sus componentes mediante las condiciones de carga que es sometida en su operación, así como también modificar la configuración geométrica de la estructura y lograr una mayor eficiencia aerodinámica.





OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar información de carácter teórico científico que fundamente la presente investigación.
- Dibujar la geometría de la carrocería original mediante la utilización del software CAD siguiendo los lineamientos basados en el RTE-043 planos.
- Realizar el análisis estructural de la unidad en estudio utilizando un software CAE cuya herramienta nos permite realizar varias simulaciones de esfuerzos y cargas guiándonos en los requisitos de la norma INEN 1323-2009.
- Simular un impacto frontal de la carrocería según normativas internacionales, con la finalidad de establecer el comportamiento de la carrocería ante un evento de esta naturaleza.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- Analizar el comportamiento aerodinámico de la carrocería original mediante la utilización del software especializado CFD (Dinámica de fluidos computacional) para determinar los factores que intervienen en la carrocería como son el coeficiente de resistencia al aire, la fuerza de sustentación, la fuerza de arrastre y potencia necesaria del motor.
- Construir un prototipo a escala de la carrocería original mediante la utilización de la técnica de impresión en 3D para realizar pruebas aerodinámicas en el túnel de viento que permitan comprobar los resultados obtenidos en el software CFD
- Realizar las modificaciones requeridas en la geometría de la carrocería original para disminuir las zonas de mayor índice de arrastre aerodinámico.
- Proponer dos modificaciones a la carrocería original para analizarla mediante software CFD y túnel de viento para evaluar sus comportamientos de resistencia y características aerodinámicas.



MARCO TEÓRICO



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Clasificación de vehículos de transporte

Microbús



Ómnibus



Ómnibus Convencional



Ómnibus Articulado



Ómnibus bi-articulado



Transporte Urbano



Transporte Interprovincial



Transporte de Turismo



Transporte Institucional



Bastidor

El bastidor del chasis es la estructura inferior del vehículo, al cual están acoplados la carrocería y los sistemas de potencia que dan movimiento a la unidad, así como demás componentes que requieren apoyo físico



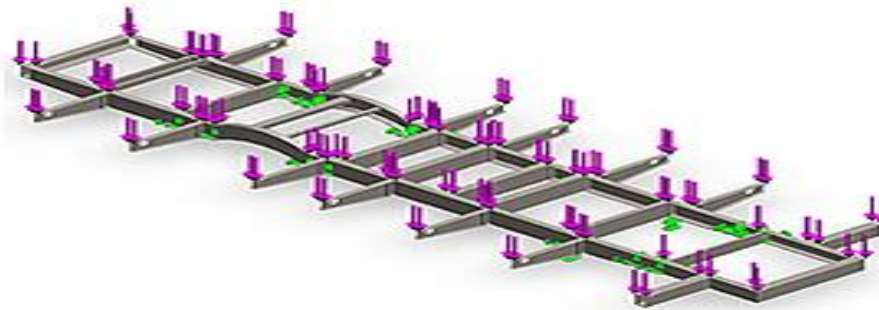
Características fundamentales del chasis

Resistencia mecánica

Es la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse.

Rigidez a la flexión

Se refiere a cuánto fleja el chasis cuando es cargado por el peso de los diferentes elementos que componen el vehículo.



Rigidez a la torsión

Se refiere a cuánto se deforma el chasis debido a una carga asimétrica.



Tipos de bastidores

Bastidores reforzados

Este tipo de bastidores es el utilizado para camiones que transportan grandes pesos y que disponen de carrozado.

Bastidores con perfil en U

Son cuyos largueros se forman a partir de perfiles en U, se encuentran principalmente en tractocamiones, camiones rígidos, autobuses y remolques, y es por eso que son los más utilizados en el conjunto de los vehículos industriales.

Bastidor con perfil de doble T

Construidos a partir de perfiles de doble T se encuentran únicamente en semirremolques y algunos modelos de remolques.

Bastidor compuesto

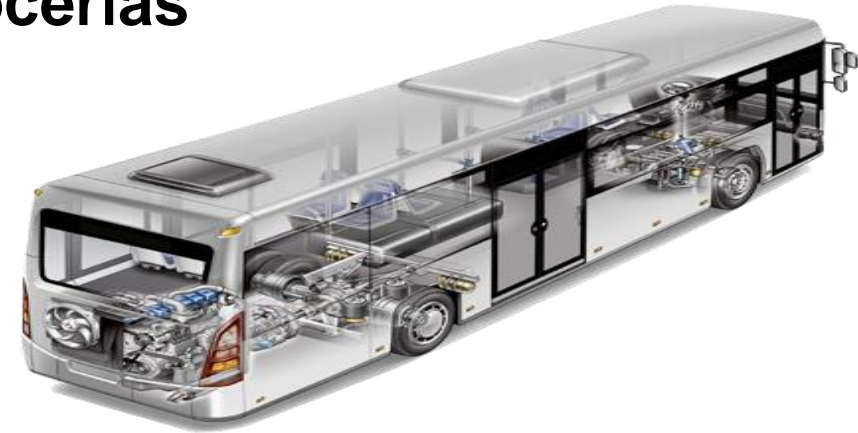
Son cuyos largueros presentan a lo largo de su longitud secciones con diferentes perfiles estructurales.



Tipos de carrocerías

Carrocería con chasis plataforma

Este diseño se construye como un chasis de plancha al que se le sujeta el resto de la carrocería



Carrocería con chasis independiente

Carrocería se encuentra separada del chasis



Carrocería autoportante o compacta

Permite construir vehículos con un centro de gravedad más bajo con respecto a los vehículos que presentan chasis independiente



Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009)

Cargas estáticas aplicadas a la carrocería del bus

Carga Muerta (CM)

Peso total de la carrocería en condiciones operativas.

$$CM = Mb * g$$

Carga Viva (CV)

Carga por ocupación, que actúa verticalmente sobre la estructura.

$$CV = (Mp + Me) * g$$



Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009)

Cargas dinámicas aplicadas a la carrocería del bus

Carga de Frenado (CF)

Fuerza por variación de velocidad (4m/s).

$$CF = (Mp + Me + Mb) * a$$

Carga de Aceleración Brusca (CAb)

Fuerza producida por aceleración brusca.

$$CAb = -CF$$



Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009)

Cargas dinámicas aplicadas a la carrocería del bus

Carga de Giro (CG)

Fuerza centrífuga al ingresar a una curva.

$$CG = (Mb + Me + Mp) * \frac{V^2}{r_c}$$

Carga por Resistencia al Aire Frontal (Raf)

Cargas de resistencia al avance producida por el aire.

$$R_{af} = \frac{1}{2} (Cx) * \rho * Af * V^2$$



Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009)

Combinación de cargas

Método ASD (Allowable Strength Design)

Evalúa la estructura de tal manera que las tensiones calculadas por efectos de las cargas de servicio no superen los valores máximos en las especificaciones.

Los elementos deben ser diseñados para comportarse elásticamente.

1	M
2	M + V
3	M + V + G
4	M + V + F
5	M + V + F + <u>Raf</u>
6	M + V + <u>Raf</u>
7	M + V + Ab
8	M + V + Ab + <u>Raf</u>

Fuente: (NTE INEN 1323, 2009)



Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1323:2009)

Combinación de cargas

Método LRFD (Load Resistance Factor Design)

1	$1,4M + V$
2	$1,2M + 1,6V + 0,5G$
3	$1,2M + 0,5V + 1,6G$
4	$1,2M + 1,6F + 0,8Raf$
5	$1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf$
6	$1,2M + 1,5Ab + 0,5V$
7	$0,9M - 1,3Raf$
8	$0,9M + 1,3Raf$

Fuente: (NTE INEN 1323, 2009)

Se basa en conceptos de estado límite.

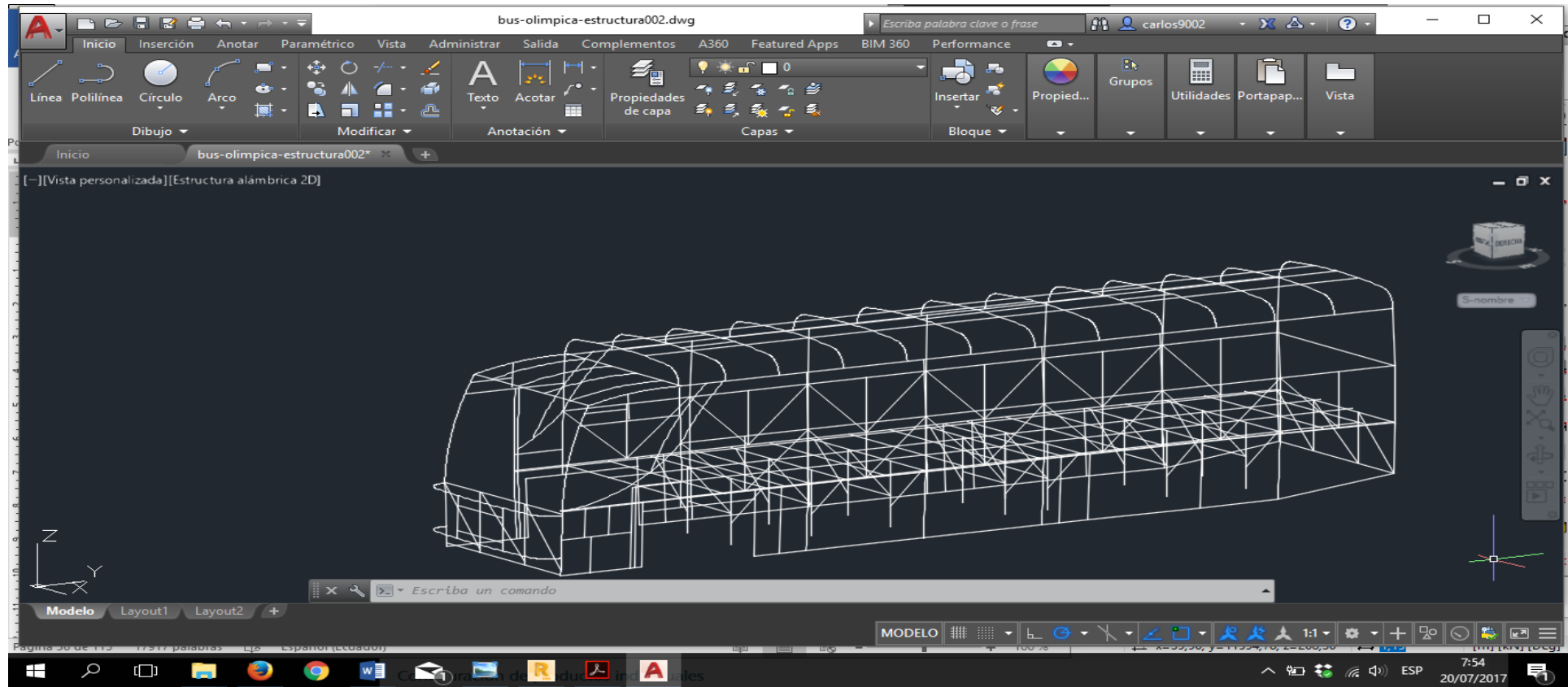
Los criterios de análisis por este método se basan en los de la teoría plástica.



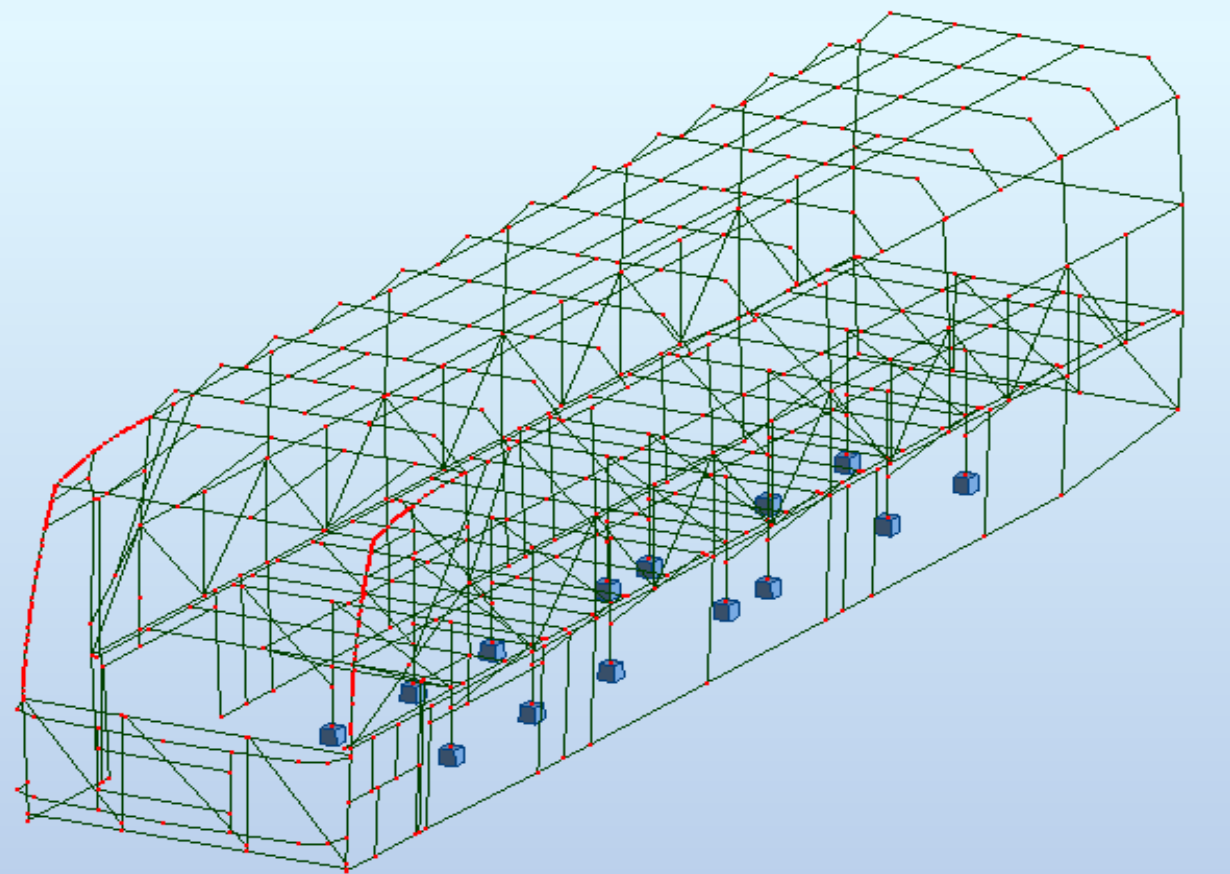
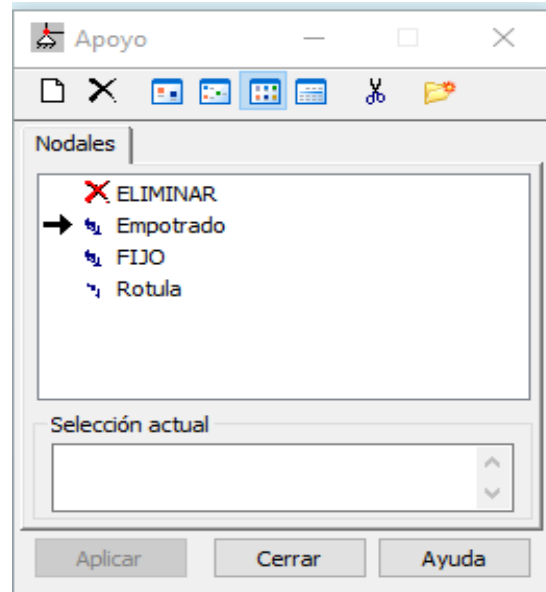
ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA CARROCERÍA



Modelado de la geometría



Asignación de apoyos



Asignación de materiales y perfiles estructurales

Definición del material

Acero Hormigón Aluminio Madera Otros

Nombre: ASTM A500 Descripción: UNE EN 10025 Steel S235

Elasticidad
módulo de Young, E: 200000,00 (MPa)
coeficiente de Poisson, ν : 0,3
coeficiente de Kirchoff, G: 76923,00 (MPa)

Resistencia
Característico: 320,00 (MPa)
reducción para el cortante: 1,54
límite de tracción: 405,00 (MPa)

Peso específico (densidad): 77,01 (kN/m³)
Dilatación térmica: 0,000012 (1/°C)
Coeficiente de Tratamiento térmico

Agregar Eliminar OK Cancelar Ayuda

Nueva sección

Tipo de perfil: Acero Ángulo gama: 0 (Deg)

Material: ACERO A500

Estándar Paramétrico Sección variable Compuesto Espacial

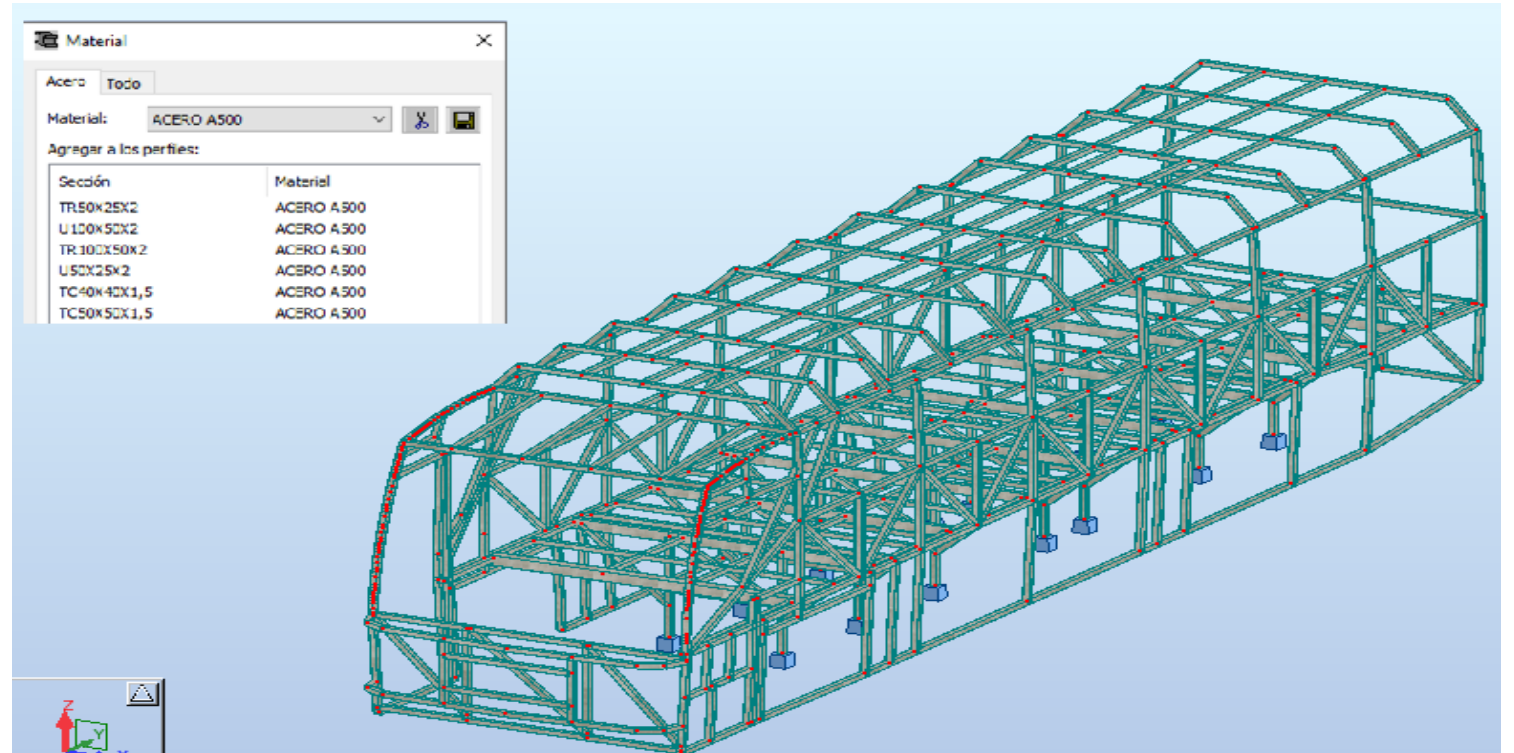
Nombre: TC Color: Auto

Dimensiones (cm)
b = 50
h = 50
t = 2

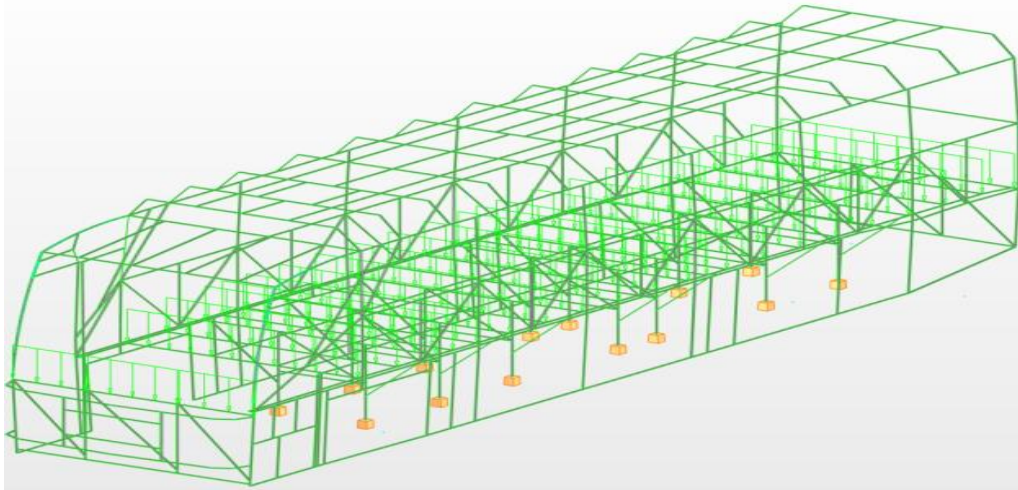
Completa

Análisis elasto-plástico

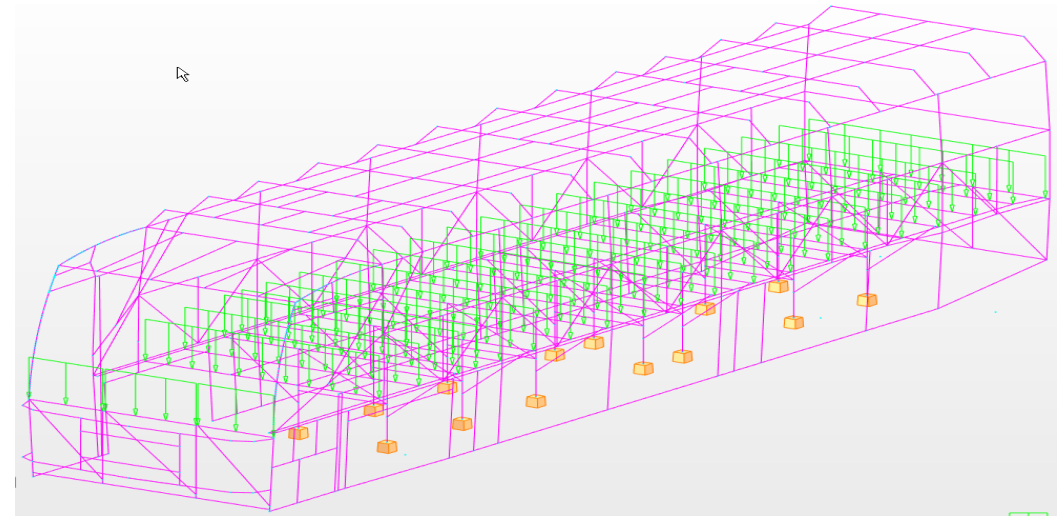
Agregar Cerrar Ayuda



Asignación de cargas



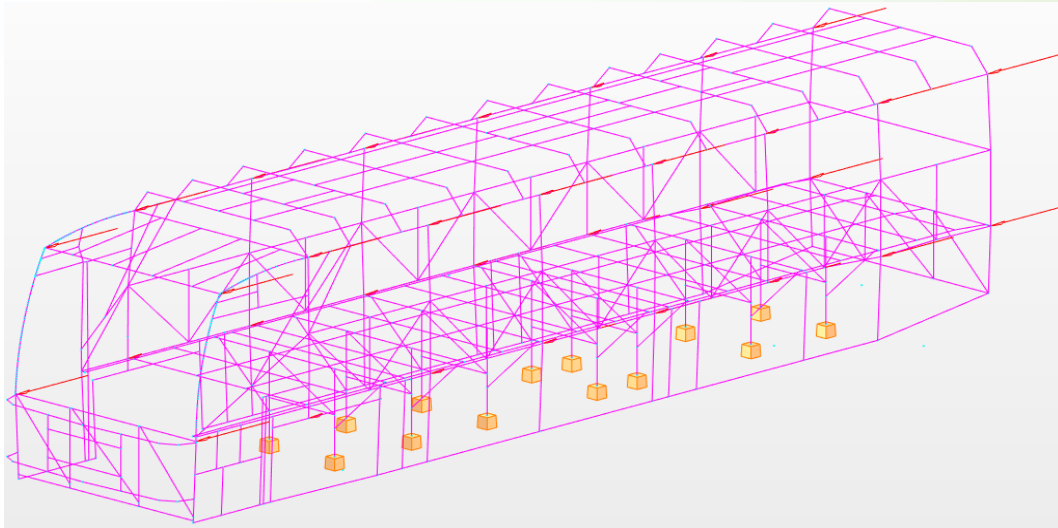
Carga Muerta



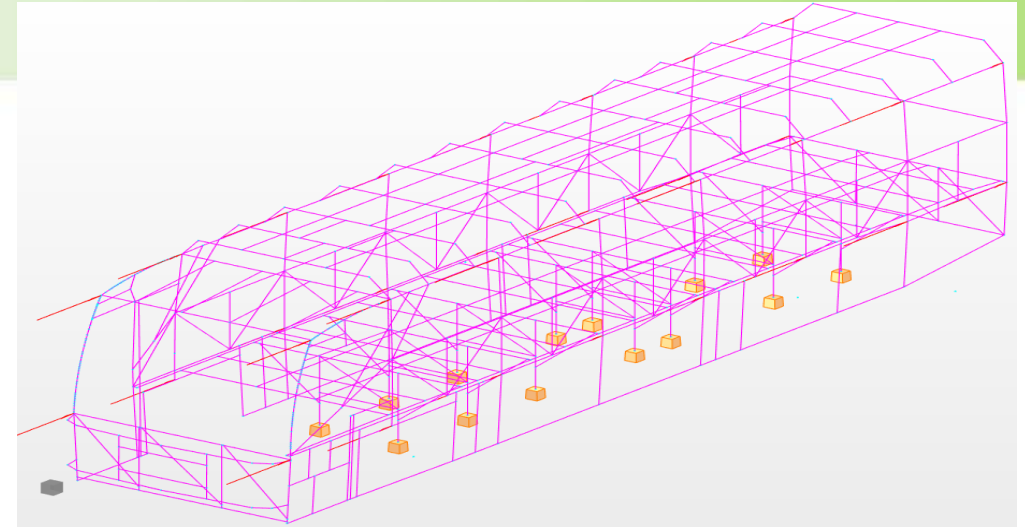
Carga Viva

Cargas Estáticas	VALOR (N)
Carga muerta	104399,4
Carga viva	33810
Cargas Dinámicas	
Carga de aceleración brusca	56412
Carga de frenado	56412
Carga de giro	22035,94
Carga por resistencia al aire frontal	2342,85

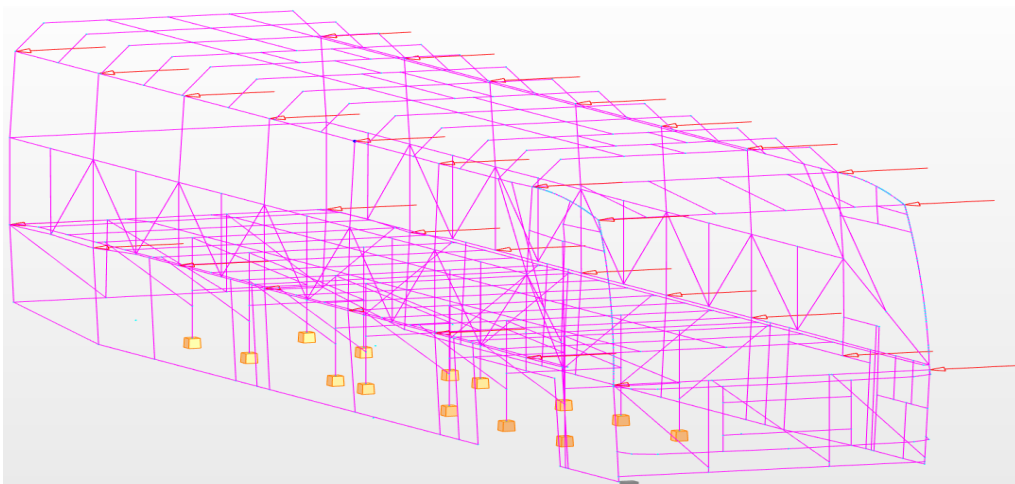




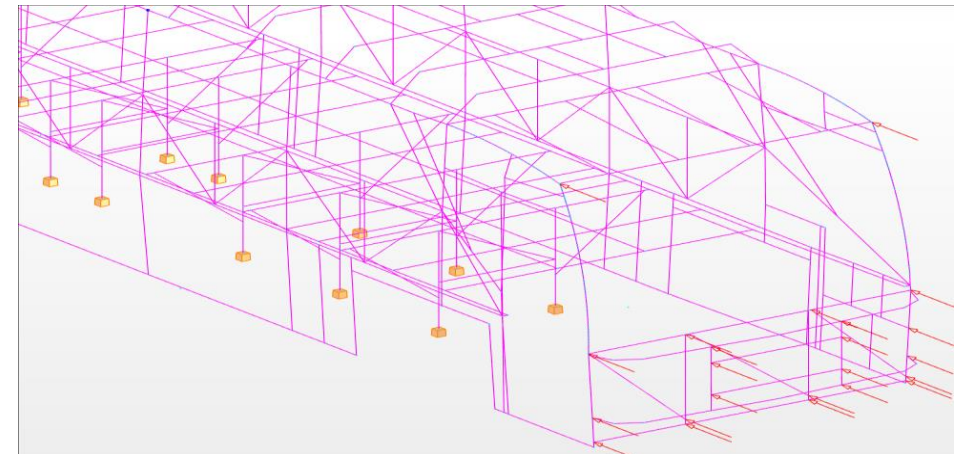
Carga de frenado



Carga de aceleración brusca



Carga de giro



Carga de resistencia al aire frontal



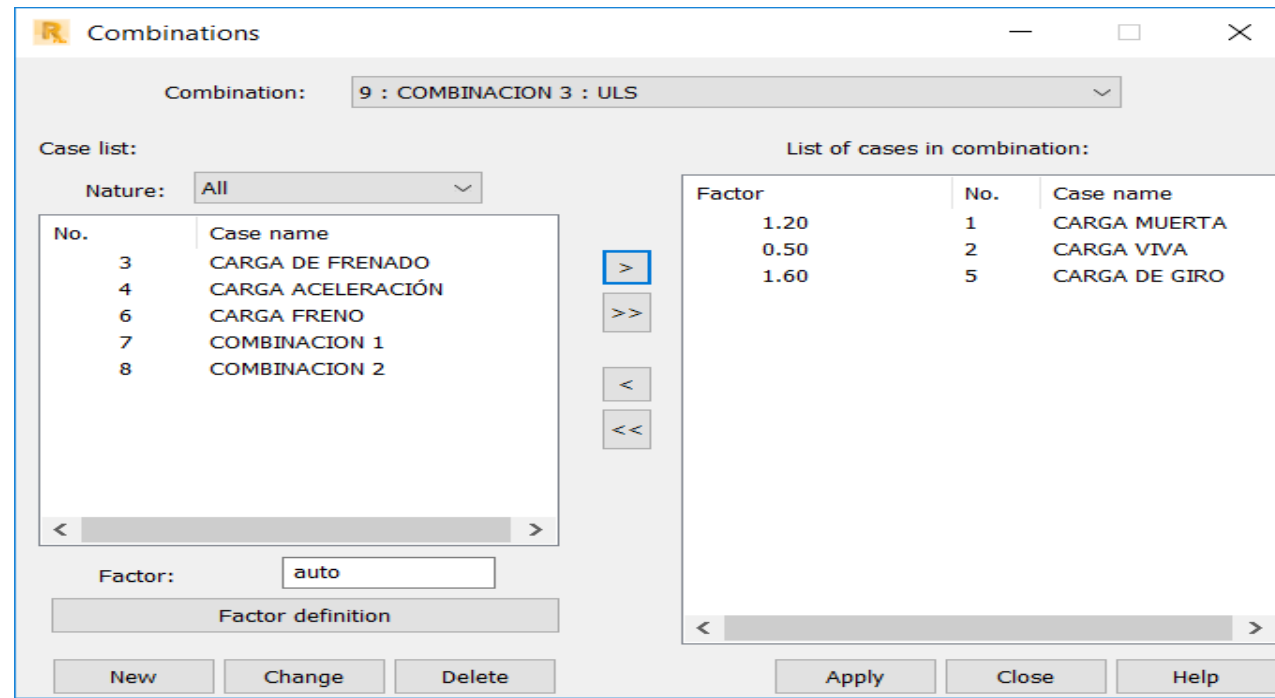
Valores de las combinaciones de carga (LRFD)

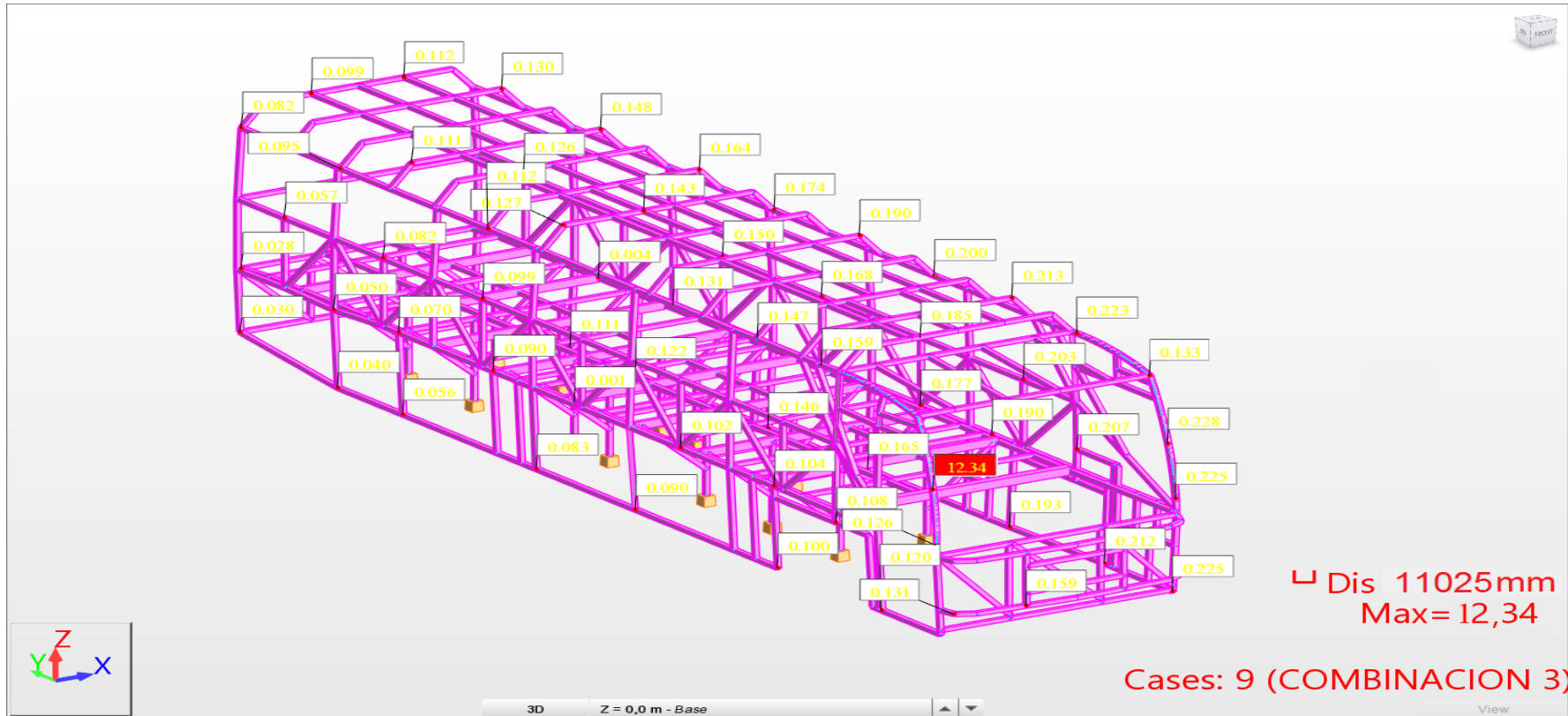
	Casos de combinaciones	Valor (N)
1	$1,4M + V$	179969,16
2	$1,2M + 1,6V + 0,5G$	190393,25
3	$1,2M + 0,5V + 1,6G$	177441,784
4	$1,2M + 1,6F + 0,8Raf$	217412,76
5	$1,2M + 0,5V + 0,5F + 1,3Raf$	173435,985
6	$1,2M + 1,5Ab + 0,5V$	226802,28
7	$0,9M - 1,3Raf$	90913,755
8	$0,9M + 1,3Raf$	97005,165



La norma solicita que la deformación máxima que puede tener el elemento estructural más crítico de la carrocería no debe sobrepasar el 1/240 de la longitud original de la carrocería

Combinación 3 1,2M+0,5V+1,6G





$$\frac{11025}{240} = 45,93\text{mm} \geq 12,34\text{mm}$$



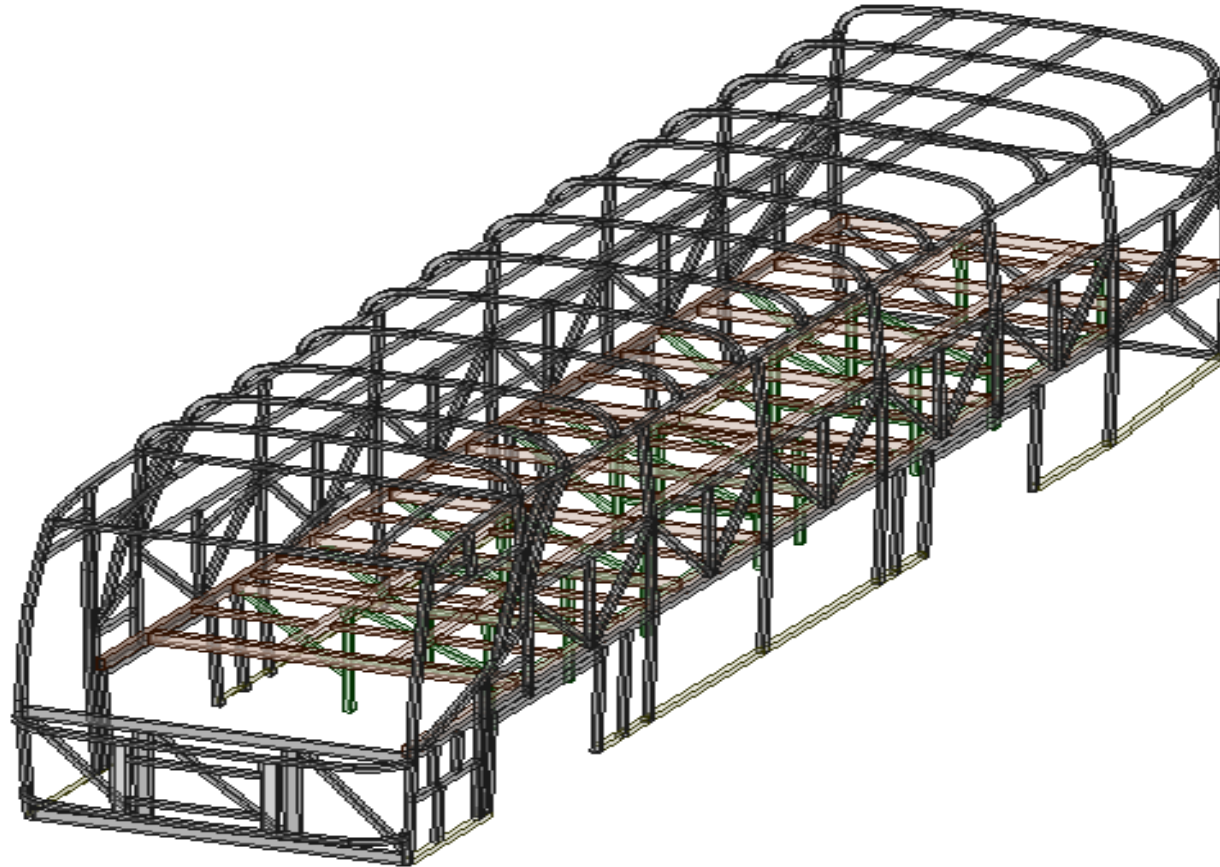


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA







PRE-PROCESAMIENTO DEL ANÁLISIS DINÁMICO



Modelado de la carrocería



Asignación de material

Properties of Outline Row 3: ASTM A500			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	 Material Field Variables	 Table	
3	 Density	7850	kg m ⁻³ ▼
4	 Isotropic Elasticity		
5	Derive from	Youn... ▼	
6	Young's Modulus	2E+11	Pa ▼
7	Poisson's Ratio	0,3	
8	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
9	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
10	 Bilinear Isotropic Hardening		
11	Yield Strength	320	MPa ▼
12	Tangent Modulus	1,45E+09	Pa ▼
13	 Specific Heat	434	J kg ^{...} ▼



Mallado de la estructura

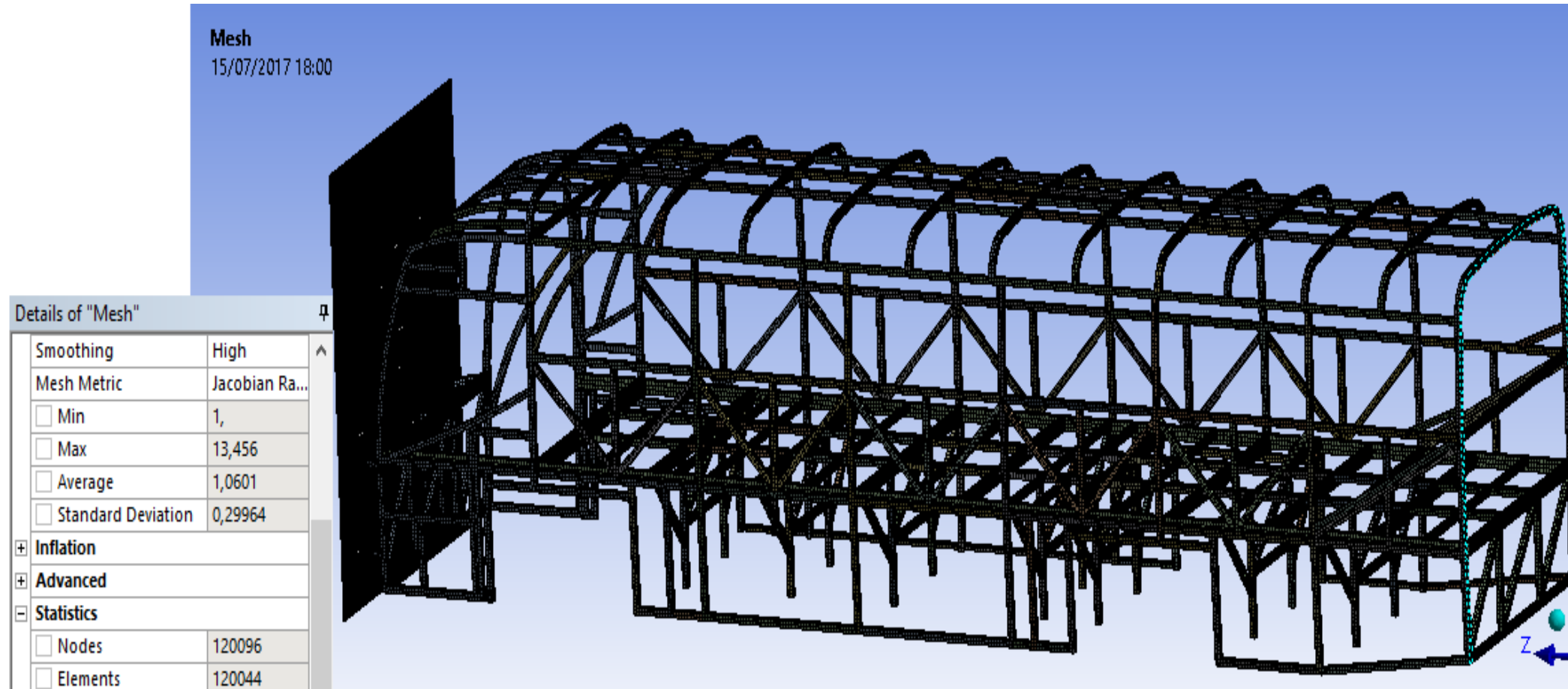
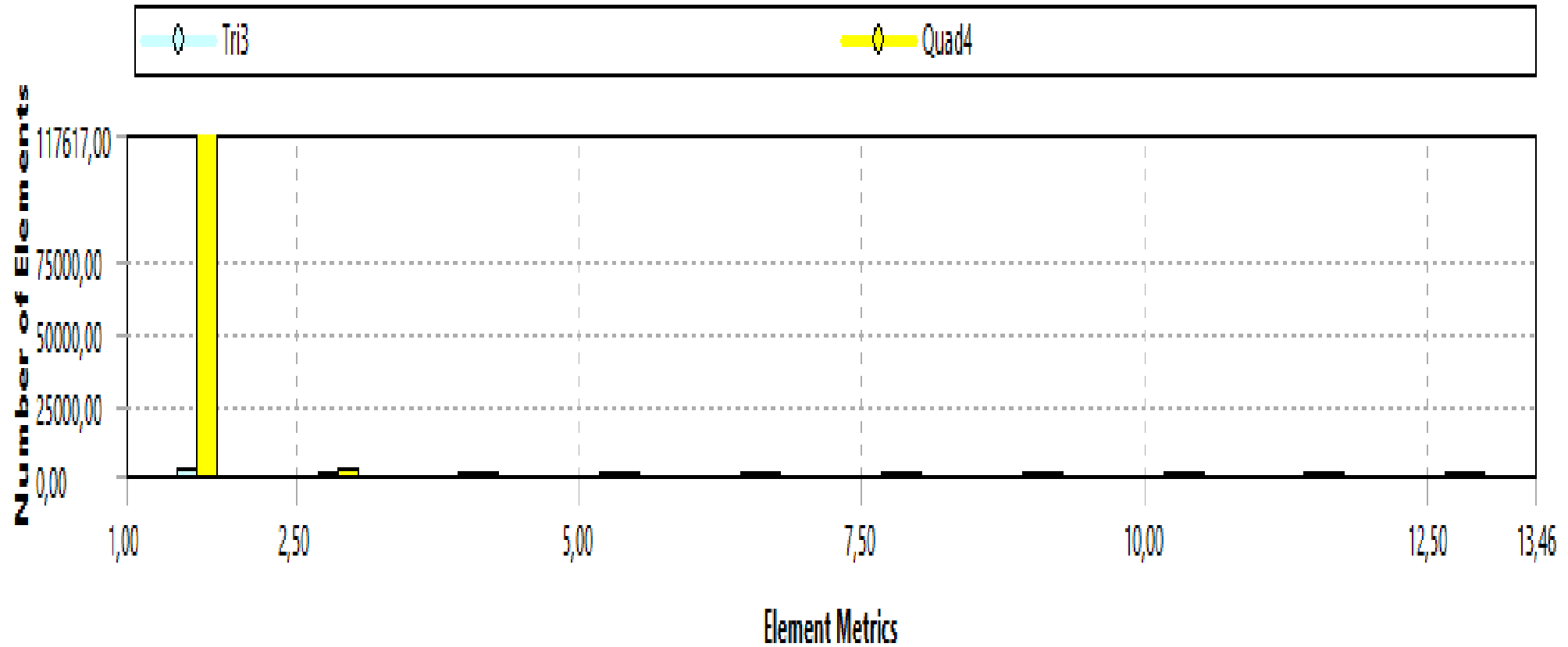


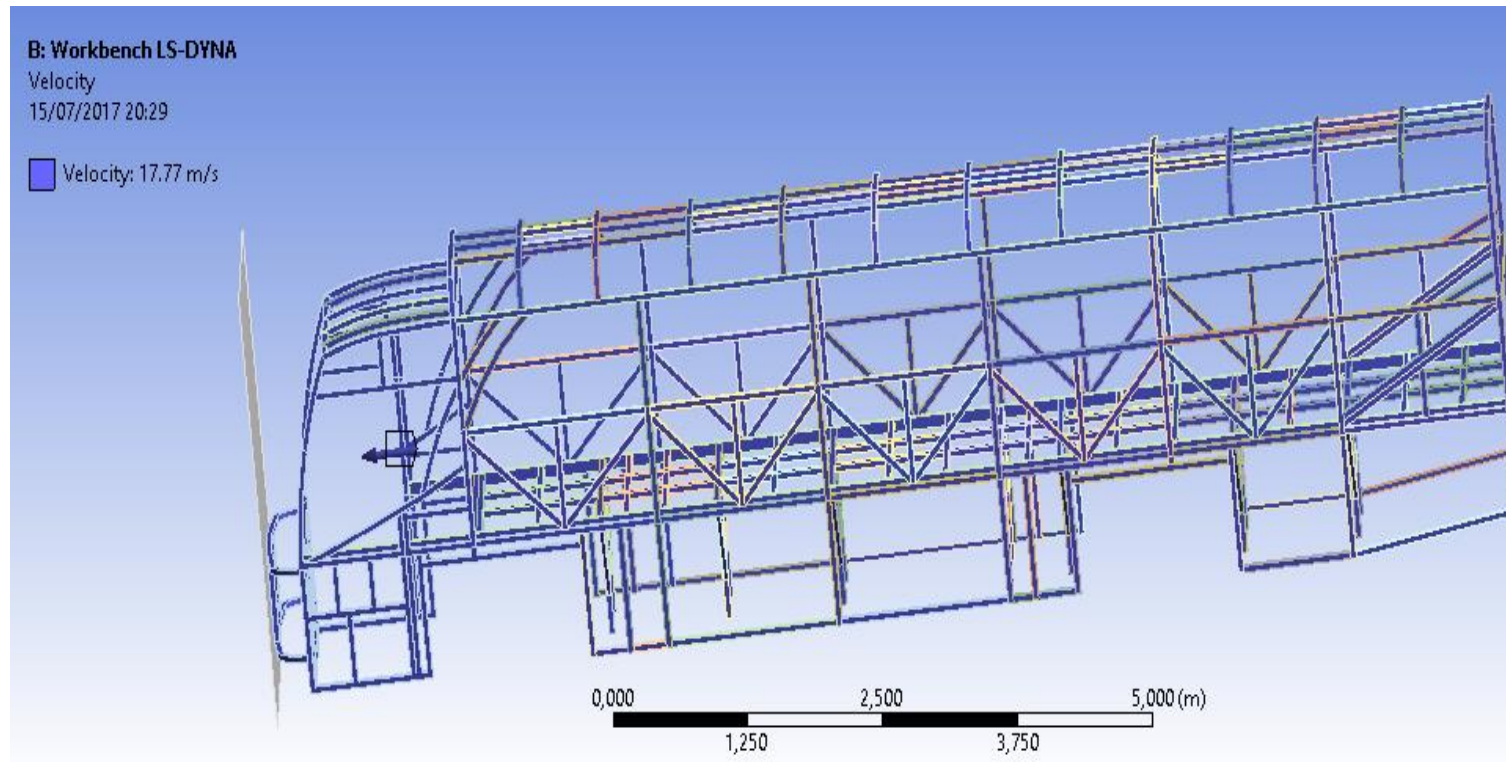
Gráfico estadístico del mallado



Condiciones iniciales del análisis

De acuerdo a la norma NCAP:

- Velocidad: 64Km/h (17,77m/s)



Ajustes del análisis

- Duración del impacto y tipo de Hourglass

B: Workbench LS-DYNA
Analysis Settings
Time: 0,1 s
15/07/2017 21:51

Details of "Analysis Settings"

Step Controls	
End Time	0,1
Time Step Safety ...	0,9
Maximum Numbe...	10000000
Automatic Mass ...	No
CPU and Memory Management	
Memory Allocation	Program Controll...
Number Of CPUs	4
Processing Type	Program Controll...
Solver Controls	
Solver Type	Program Controll...
Solver Precision	Program Controll...
Unit System	nmm
Initial Velocities	
Initial Velocities a...	Yes
Damping Controls	
Hourglass Controls	
Hourglass Type	Flanagan-Belyts...
LS-DYNA ID	4

0,000 1,250 2,500 3,750 5,000 (m)

Geometry Print Preview Report Preview

Soportes fijos

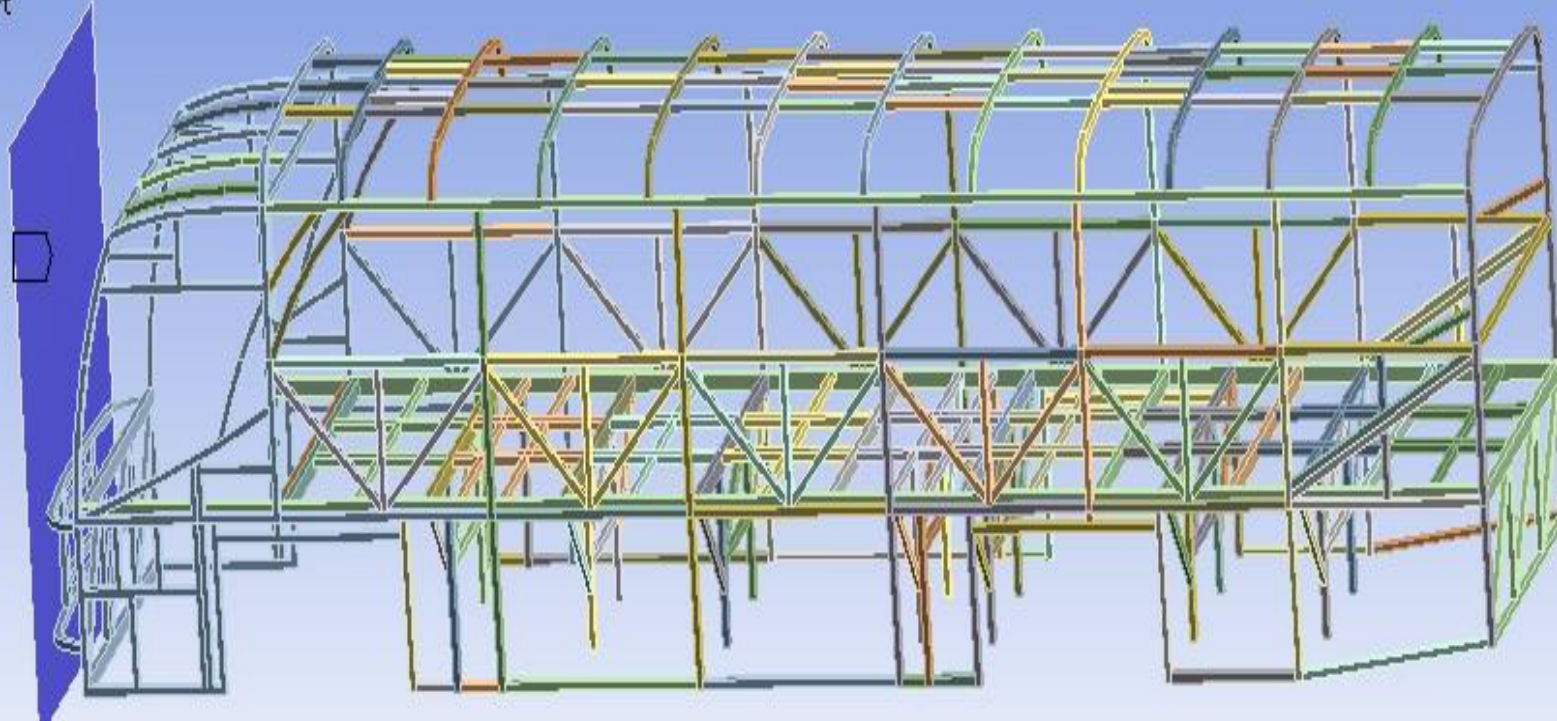
B: Workbench LS-DYNA

Fixed Support

Time: 0,1 s

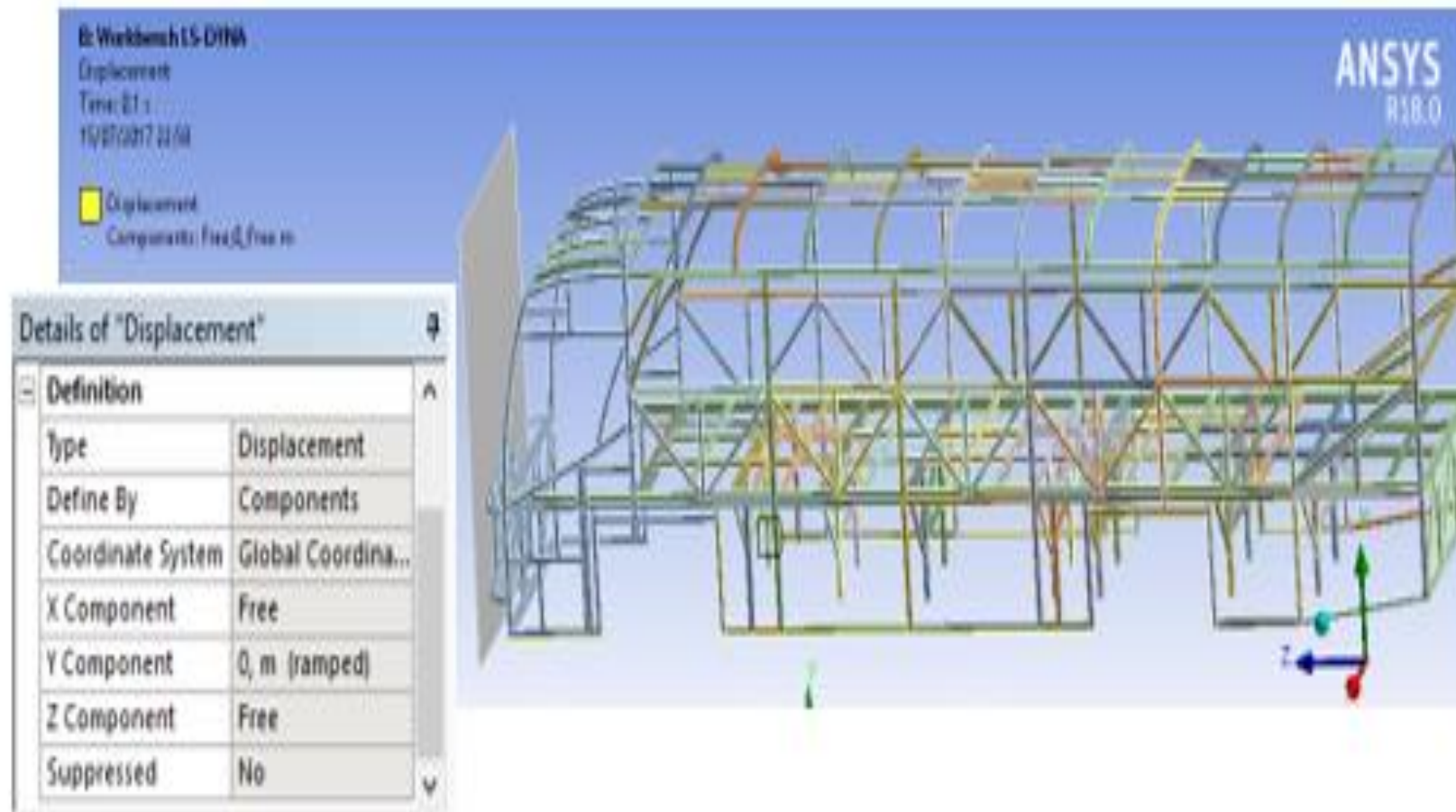
15/07/2017 21:57

Fixed Support



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Restricciones de desplazamiento

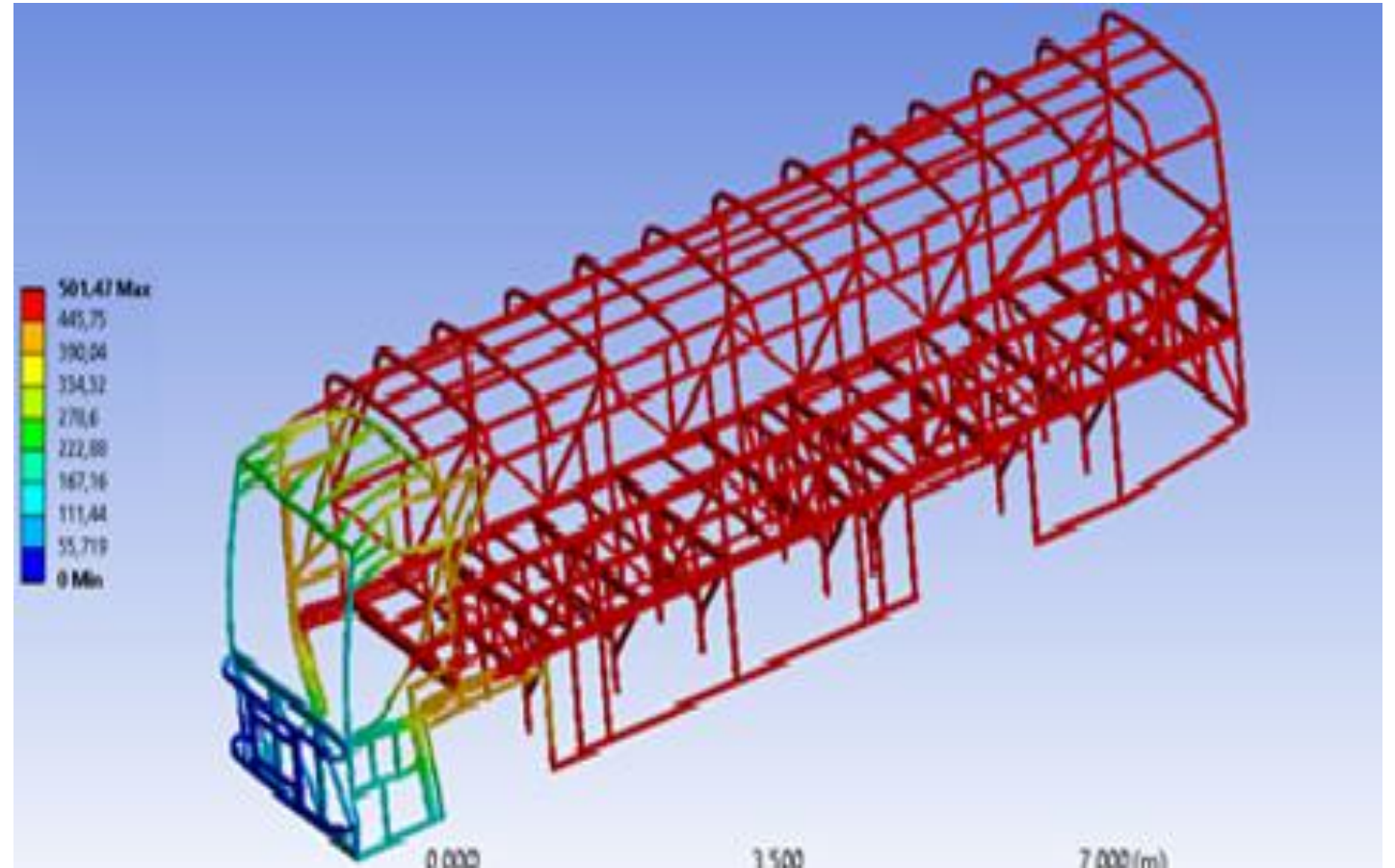


ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ESTUDIO DINÁMICO

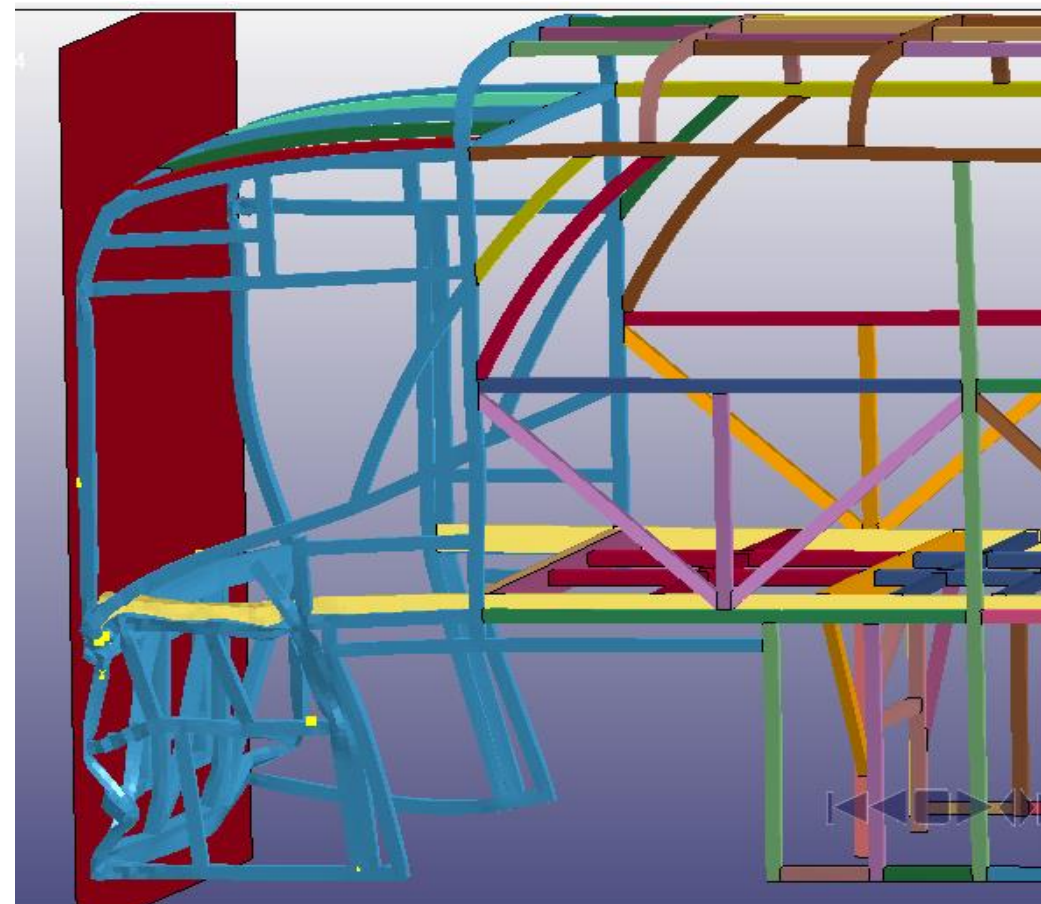
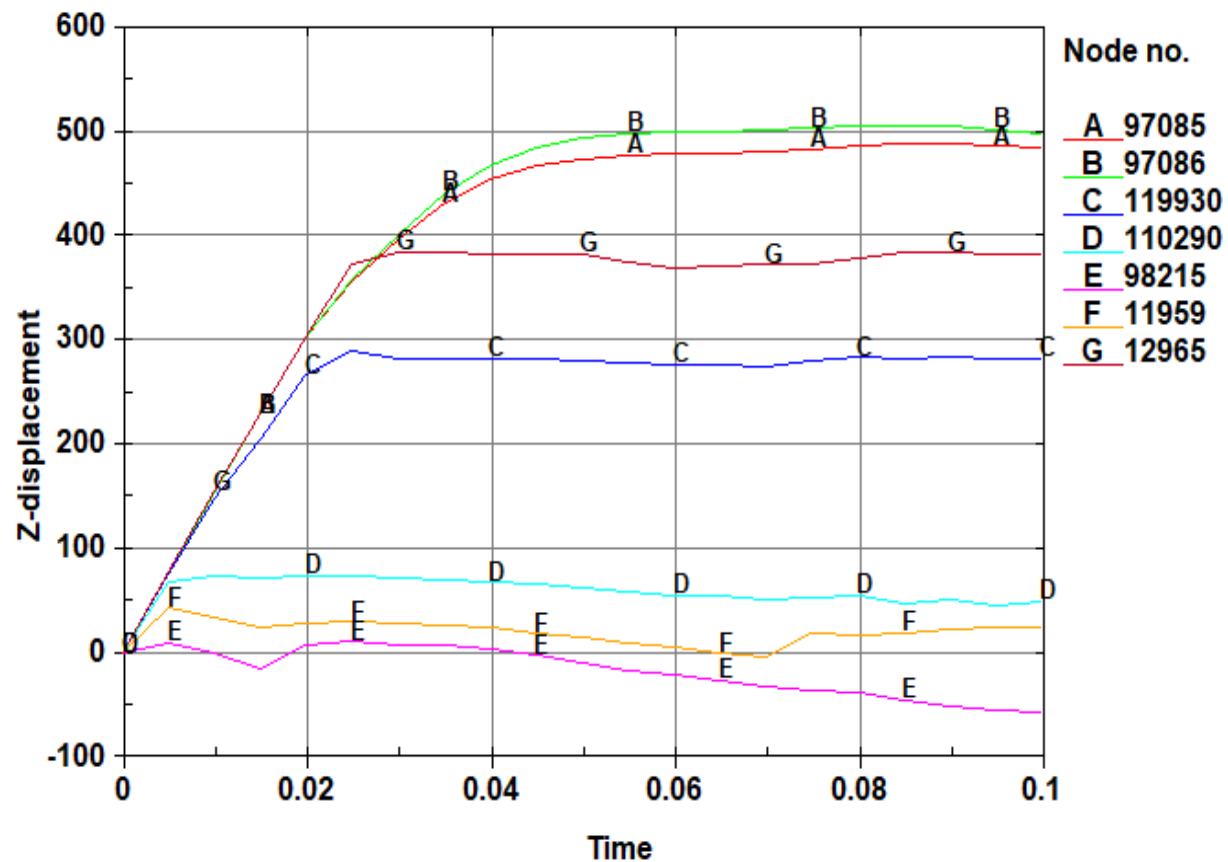


Deformación

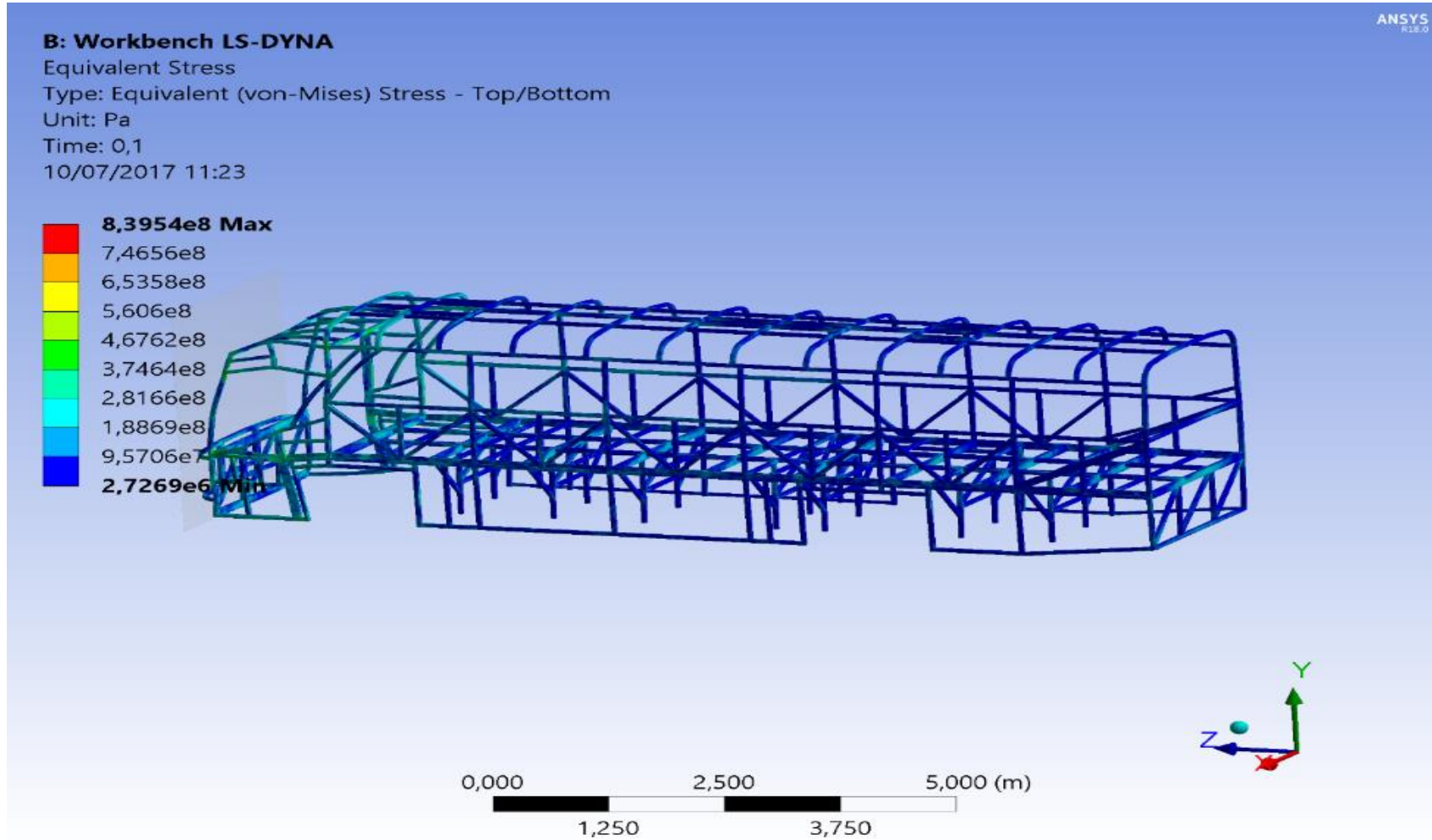
Deformación máxima en el eje z: 501,47mm



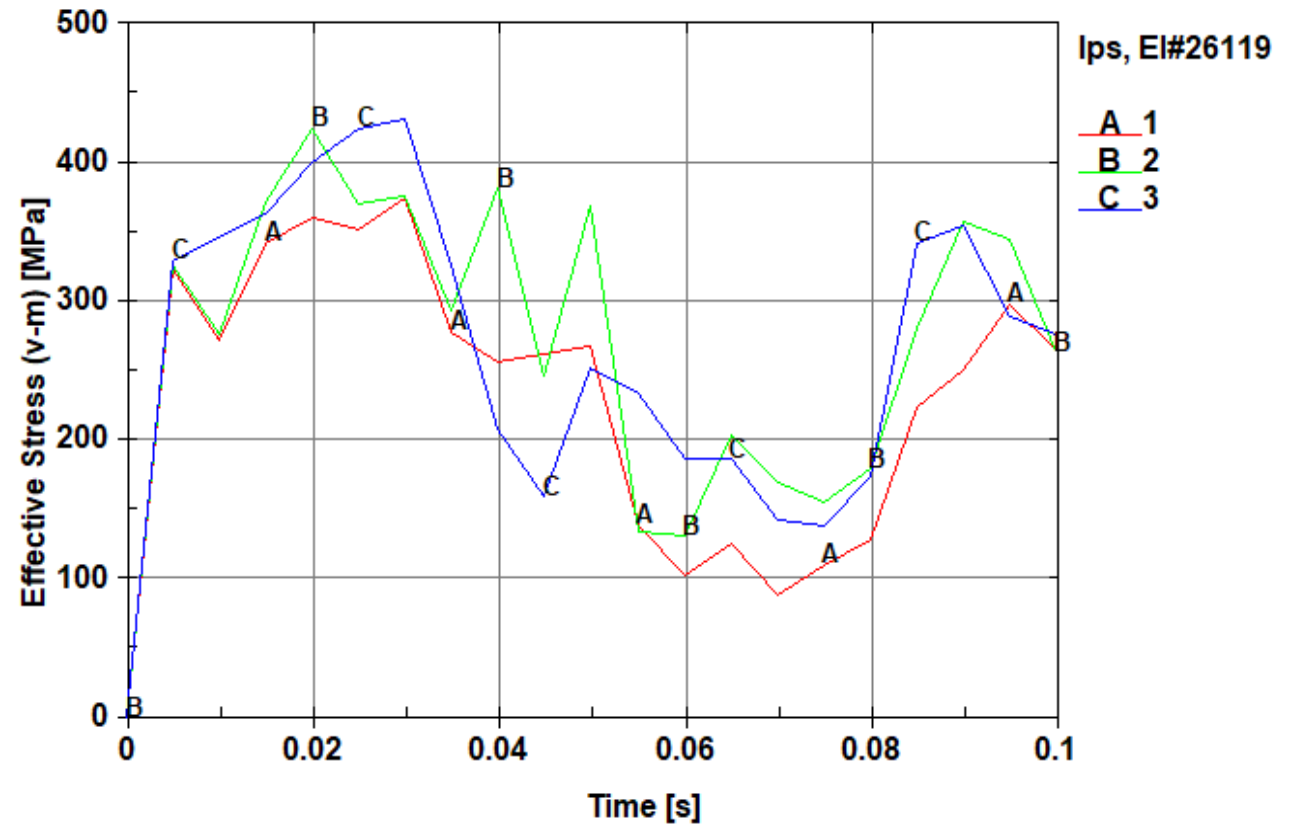
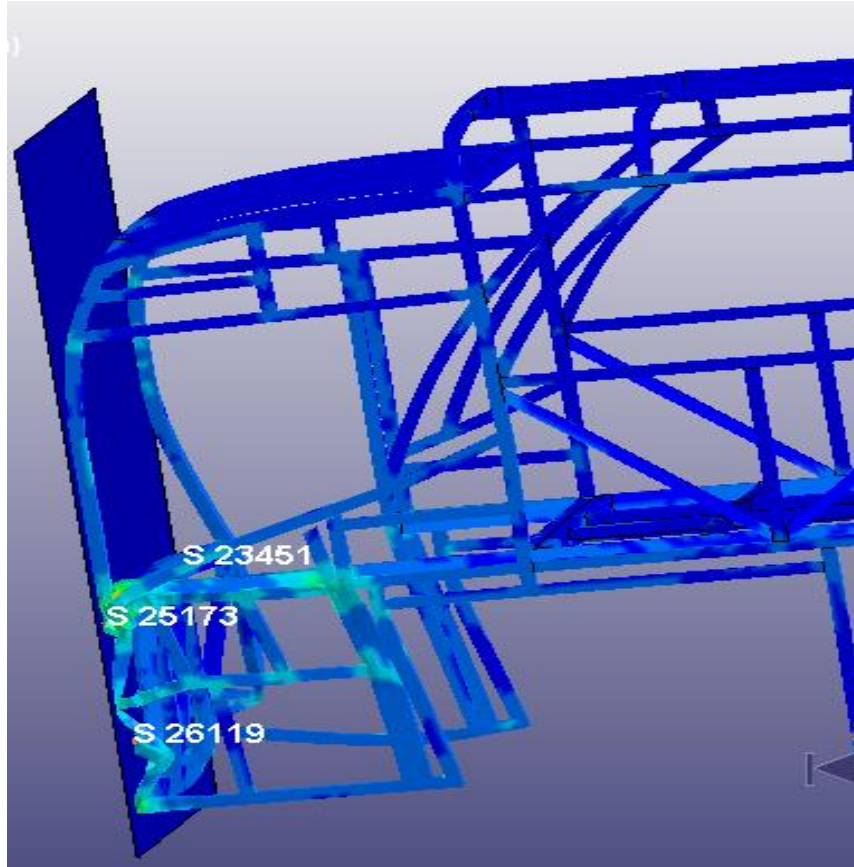
Deformación direccional de la carrocería



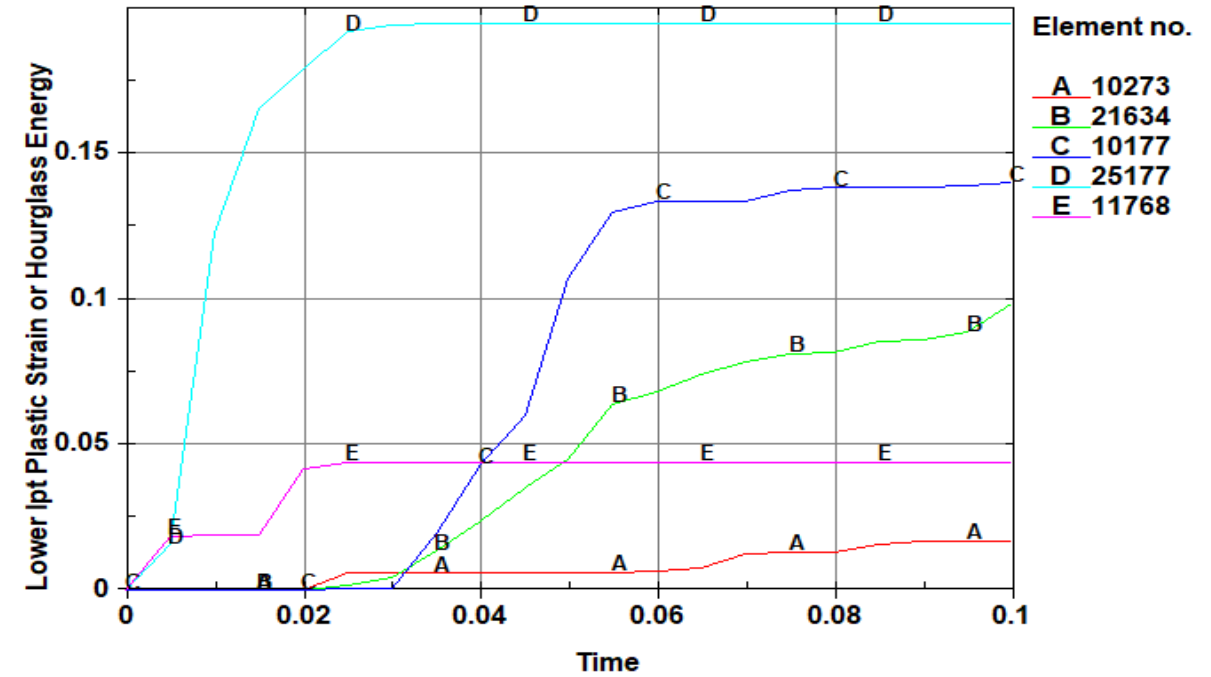
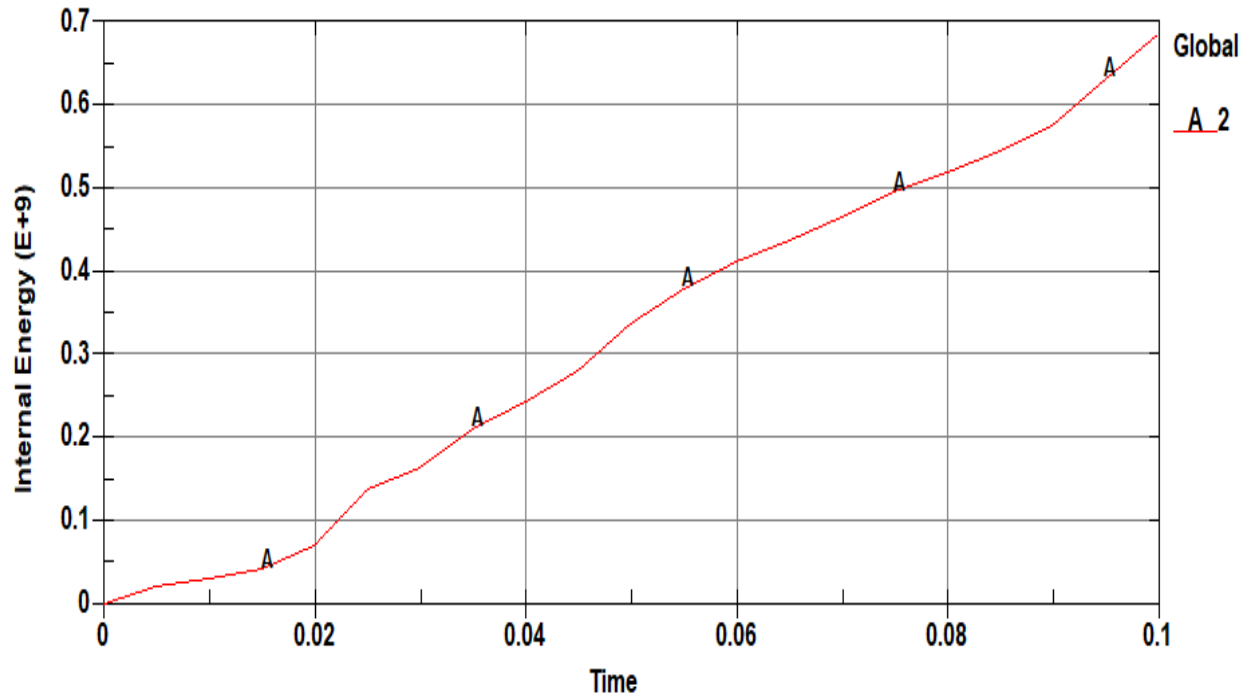
Esfuerzos



Comportamiento de elementos seleccionados



Validación del ensayo virtual



Validación del ensayo virtual

- Posteriormente se procede a calcular el porcentaje de energía Hourglass respecto a la energía interna.

$$Hourglass = 0,19 J$$

$$Energía Interna = 700000000 J$$

$$H = \frac{Hourglass}{Energía\ interna} \times 100\%$$

$$H = \frac{0,19}{700000000} \times 100\%$$

$$H = 0,00000002714\%$$



Túnel de viento subsónico

Velocidades hasta 400 km/h (~100m/s)

El aire se mueve con un sistema de la propulsión hecho de un ventilador axial



Partes del túnel de viento



ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL TUNEL DE VIENTO



ANÁLISIS BUS ORIGINAL



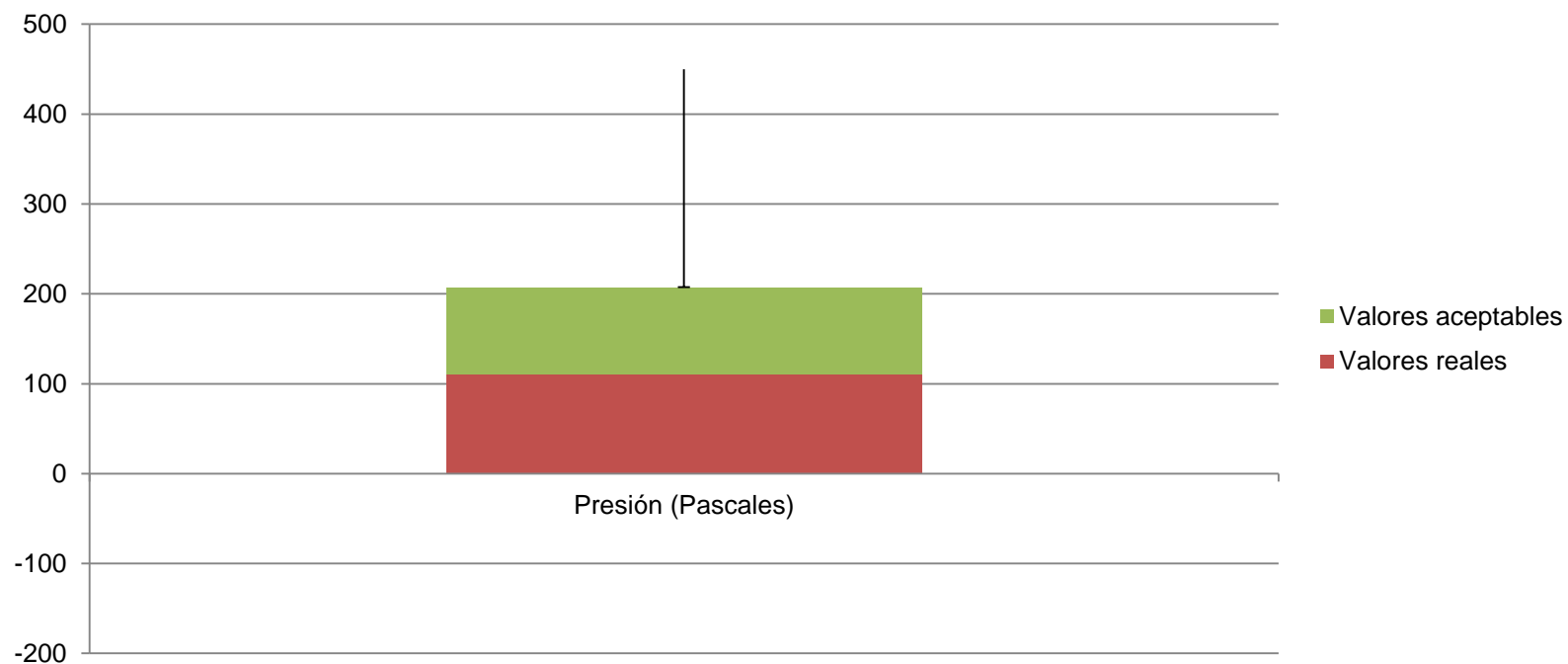
SENSOR 1

Tiempo (segundos)	Presión (Pascales)	Tiempo (segundos)	Presión (Pascales)	Tiempo (segundos)	Presión (Pascales)	Tiempo (segundos)	Presión (Pascales)
1	195,02	26	164,64	51	191,1	76	425,81
2	0	27	213,15	52	318,01	77	134,26
3	237,16	28	63,7	53	440,51	78	268,03
4	29,4	29	172,48	54	135,24	79	217,56
5	3,92	30	165,13	55	333,69	80	0
6	256,27	31	420,91	56	35,28	81	288,12
7	221,97	32	501,27	57	296,45	82	166,6
8	82,32	33	215,11	58	429,73	83	292,53
9	335,65	34	470,4	59	0	84	210,21
10	149,45	35	131,32	60	121,03	85	143,08
11	109,76	36	293,51	61	0	86	411,6
12	305,76	37	66,64	62	247,94	87	226,38
13	374,36	38	36,26	63	0	88	372,89
14	427,28	39	428,75	64	70,07	89	110,74
15	432,18	40	361,13	65	160,72	90	52,92
16	326,34	41	132,79	66	393,47	91	284,69
17	284,2	42	450,31	67	209,23	92	444,43
18	0	43	199,43	68	110,25	93	403,76
19	350,35	44	185,22	69	147,49	94	71,05
20	413,07	45	354,27	70	403,76	95	141,12
21	72,52	46	128,38	71	52,92	96	0
22	78,4	47	98	72	158,27	97	172,97
23	118,58	48	151,9	73	293,02	98	205,8
24	501,27	49	392,98	74	456,19	99	279,3
25	222,16	50	52,92	75	0	100	721,07

Tiempo (segundos)	Presión (Pascales)
2	0
18	0
59	0
5	3,92
4	29,4
56	35,28
38	36,26
71	52,92
90	52,92
28	63,7

Presión 0 - 76 Pascales

SENSOR 1

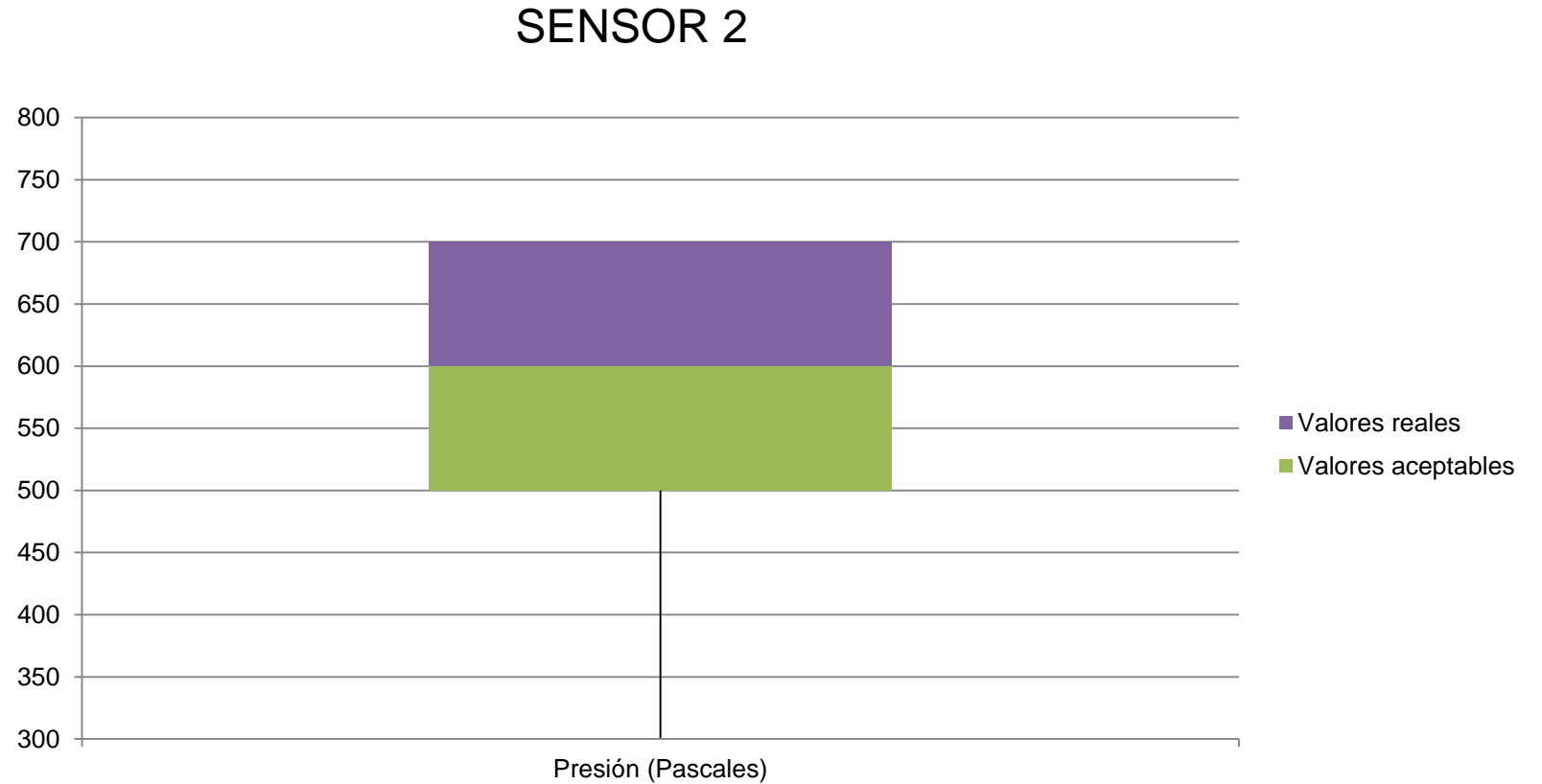


SENSOR 2

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	605,787	26	267,54	51	164,983	76	565,656
2	457,366	27	0	52	651,651	77	115,934
3	379,015	28	158,613	53	518,518	78	362,453
4	552,279	29	561,197	54	623,623	79	0
5	0	30	0	55	41,405	80	519,155
6	0	31	456,092	56	518,518	81	651,651
7	168,168	32	451,633	57	375,193	82	586,677
8	0	33	431,249	58	225,498	83	651,651
9	118,482	34	29,302	59	356,72	84	269,451
10	164,346	35	242,06	60	112,749	85	252,252
11	0	36	0	61	454,181	86	487,942
12	610,246	37	443,989	62	114,023	87	3,185
13	218,491	38	78,351	63	506,415	88	651,651
14	622,349	39	0	64	480,935	89	387,933
15	456,092	40	137,592	65	238,238	90	225,498
16	52,871	41	324,233	66	277,095	91	435,071
17	364,364	42	407,68	67	2,548	92	0
18	249,067	43	294,931	68	114,023	93	537,628
19	299,39	44	48,412	69	536,991	94	321,685
20	267,54	45	297,479	70	70,07	95	343,343
21	138,229	46	384,111	71	9,555	96	12,74
22	569,478	47	559,923	72	480,935	97	300,664
23	130,585	48	54,782	73	371,371	98	109,564
24	131,222	49	505,778	74	19,747	99	524,888

Time (segundos)	Presión (Pascales)
47	559,923
29	561,197
76	565,656
22	569,478
82	586,677
1	605,787
12	610,246
14	622,349
54	623,623
88	651,651

Presión 600 - 650 Pascales



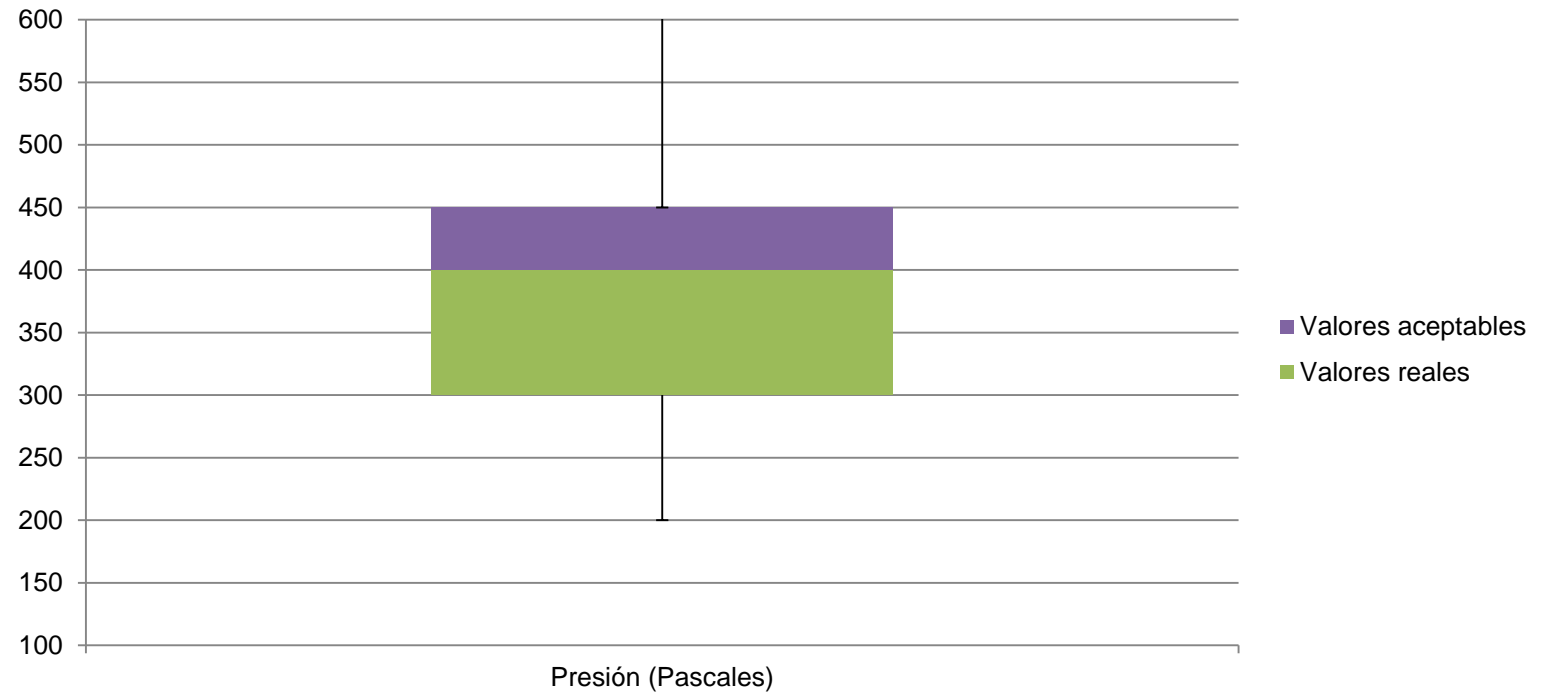
SENSOR 3

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	317,152	26	63,5775	51	85,26	76	134,873
2	303,555	27	86,3625	52	49,6125	77	92,9775
3	302,82	28	130,463	53	0	78	185,955
4	149,572	29	335,527	54	242,55	79	0
5	312,375	30	0	55	264,967	80	308,332
6	130,83	31	145,53	56	135,608	81	0
7	275,993	32	0	57	111,352	82	357,577
8	356,108	33	281,505	58	0	83	262,395
9	263,13	34	123,112	59	0	84	44,4675
10	168,315	35	163,905	60	0	85	316,05
11	160,965	36	353,903	61	64,3125	86	0
12	110,985	37	225,277	62	120,172	87	319,357
13	302,82	38	296,572	63	294,368	88	348,757
14	160,965	39	265,335	64	56,9625	89	80,115
15	375,952	40	0	65	84,1575	90	256,882
16	84,8925	41	65,0475	66	321,562	91	5,88
17	11,025	42	81,585	67	210,578	92	184,117
18	79,38	43	129,727	68	309,067	93	182,28
19	174,195	44	325,238	69	130,463	94	263,13
20	55,4925	45	279,3	70	86,3625	95	125,318
21	200,655	46	98,8575	71	274,522	96	117,6
22	147,735	47	36,75	72	341,775	97	2,94
23	271,215	48	214,987	73	294,368	98	244,755
24	298,043	49	300,248	74	275,257	99	54,7575

Time (segundos)	Presión (Pascales)
87	319,357
66	321,562
44	325,238
29	335,527
72	341,775
88	348,757
36	353,903
8	356,108
82	357,577
15	375,952

Presión 300 - 380 Pascales

SENSOR 3



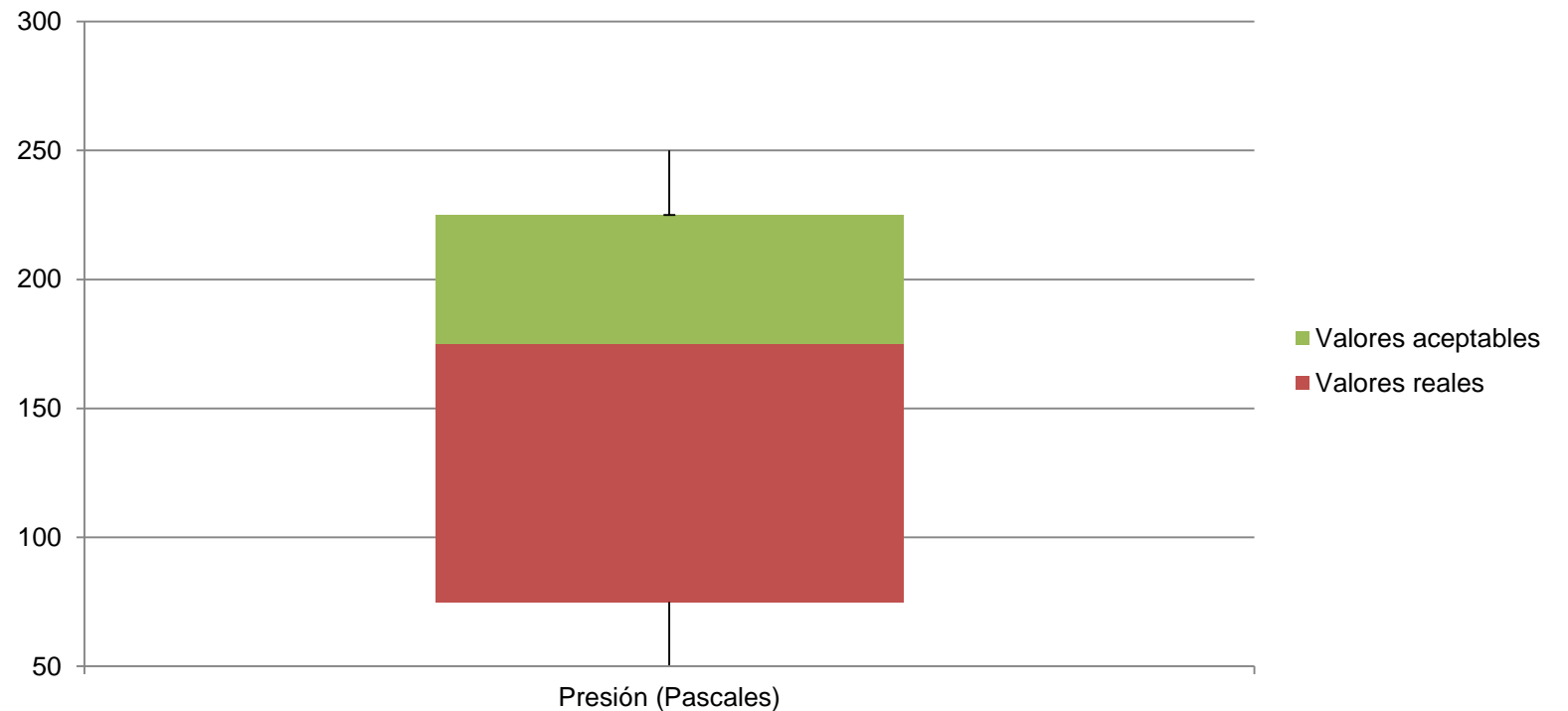
SENSOR 4

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	38,073	26	84,231	51	45,423	76	68,943
2	65,856	27	6,174	52	68,649	77	38,22
3	45,129	28	80,997	53	40,278	78	43,512
4	61,152	29	44,541	54	36,75	79	113,778
5	119,658	30	121,128	55	87,024	80	128,184
6	123,48	31	130,095	56	18,669	81	56,889
7	66,003	32	119,805	57	35,133	82	67,473
8	27,783	33	64,533	58	0	83	27,636
9	47,628	34	67,473	59	39,69	84	134,946
10	141,561	35	52,626	60	62,328	85	19,698
11	60,27	36	89,964	61	23,961	86	107,898
12	34,398	37	122,451	62	131,271	87	8,82
13	121,128	38	8,085	63	73,941	88	52,626
14	60,711	39	38,514	64	38,808	89	0
15	71,442	40	85,848	65	32,34	90	100,695
16	84,378	41	124,215	66	36,603	91	13,23
17	33,957	42	0	67	20,874	92	29,841
18	105,546	43	29,841	68	0	93	69,678
19	120,246	44	127,008	69	67,179	94	132,888
20	74,529	45	38,661	70	0	95	0
21	141,267	46	29,547	71	4,704	96	116,718
22	72,471	47	50,568	72	25,137	97	143,619
23	143,766	48	143,913	73	72,912	98	43,659
24	152,224	49	42,425	74	0	99	52,222

Time (segundos)	Presión (Pascales)
94	132,888
84	134,946
21	141,267
10	141,561
97	143,619
23	143,766
48	143,913
24	150,381
50	150,381
75	150,381

Presión 76 - 150 Pascales

SENSOR 4

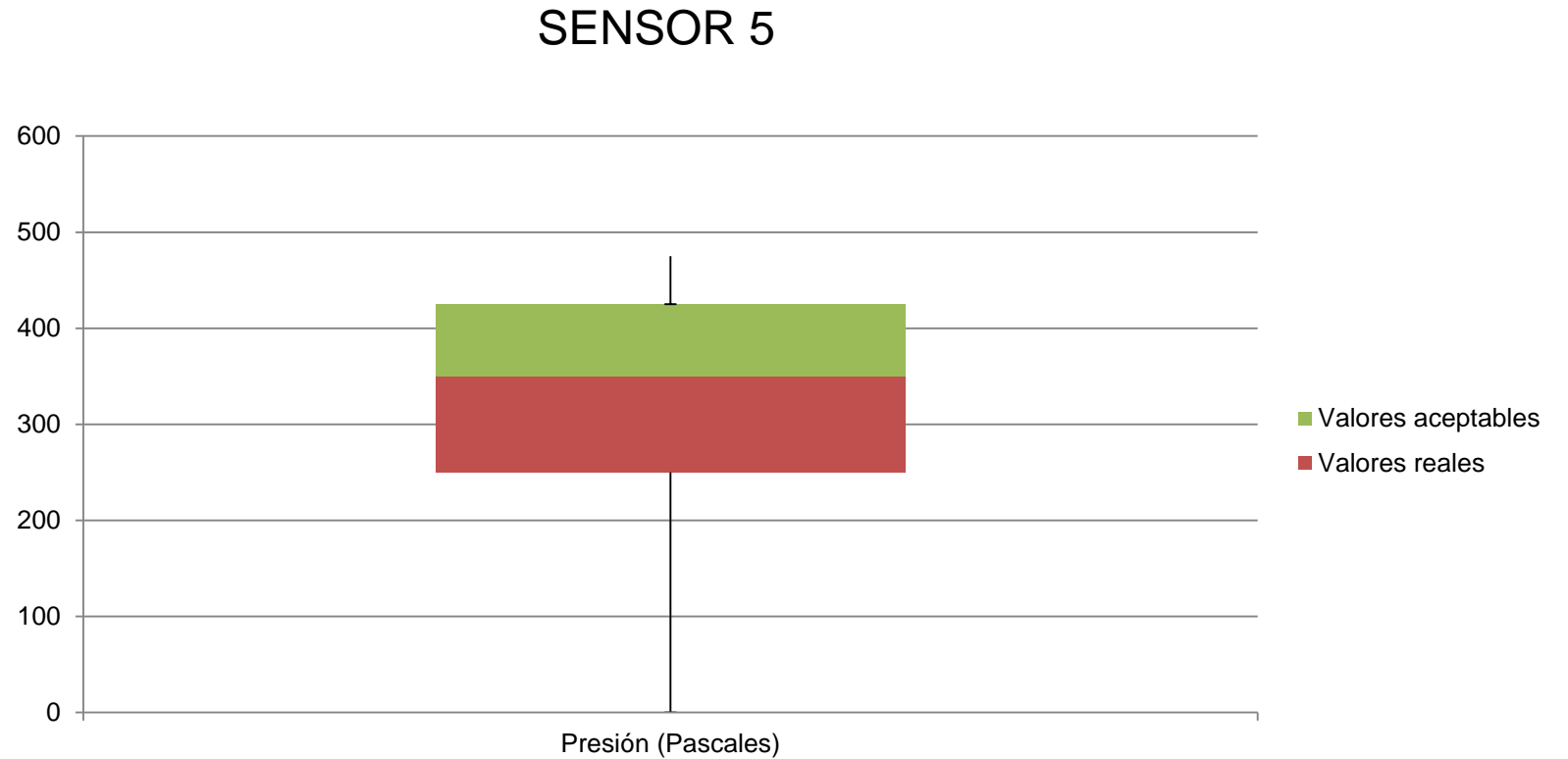


SENSOR 5

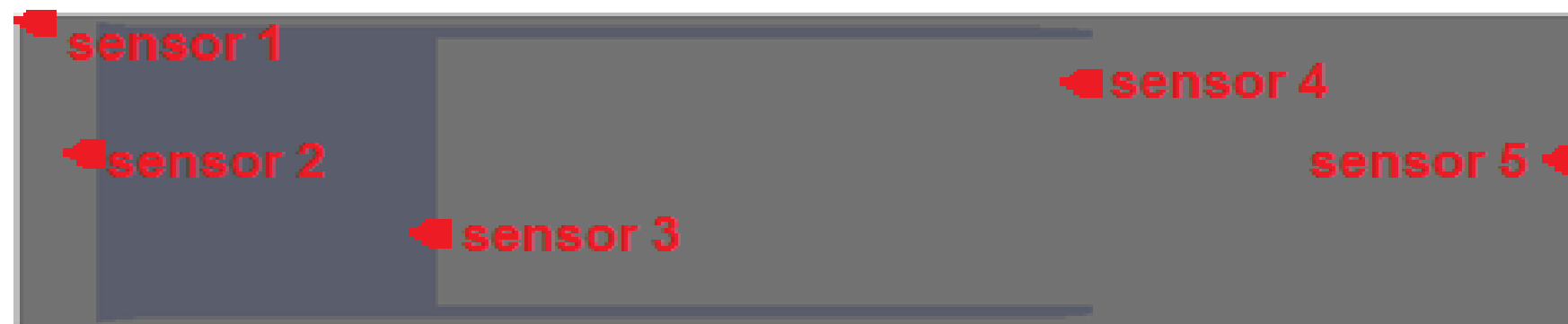
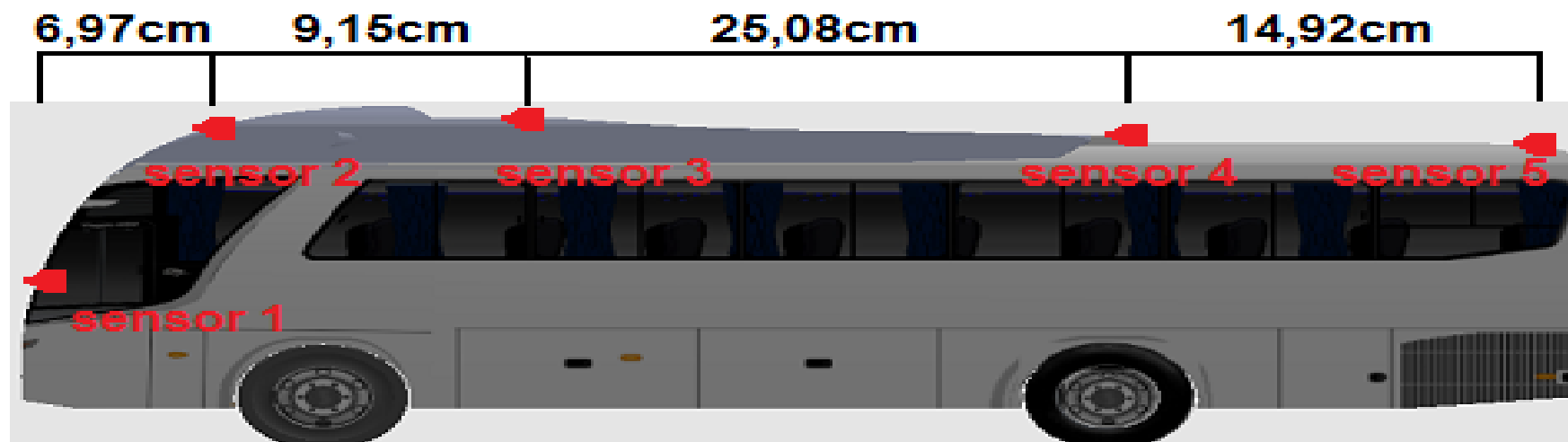
Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	83,496	26	11,172	51	199,92	76	263,424
2	113,484	27	17,052	52	234,024	77	282,828
3	158,466	28	0	53	254,016	78	156,114
4	184,338	29	175,518	54	243,138	79	144,942
5	0	30	212,268	55	45,57	80	131,418
6	0	31	232,848	56	106,428	81	98,784
7	39,396	32	214,326	57	184,044	82	181,692
8	122,598	33	120,246	58	0	83	101,43
9	288,708	34	131,418	59	179,928	84	74,382
10	69,678	35	159,348	60	0	85	63,798
11	0	36	248,136	61	23,52	86	163,758
12	254,31	37	202,566	62	62,916	87	190,512
13	0	38	0	63	57,624	88	59,388
14	104,076	39	177,282	64	0	89	0
15	215,502	40	144,648	65	49,98	90	249,606
16	87,612	41	155,526	66	146,706	91	263,13
17	231,672	42	0	67	129,948	92	159,054
18	69,384	43	224,91	68	185,22	93	188,16
19	78,204	44	224,322	69	165,522	94	0
20	291,354	45	41,16	70	31,164	95	280,182
21	2,352	46	183,162	71	268,128	96	248,43
22	0	47	238,434	72	64,386	97	238,434
23	0	48	190,218	73	226,38	98	207,27
24	203,742	49	2,94	74	85,554	99	87,318

Time (segundos)	Presión (Pascales)
53	254,016
12	254,31
91	263,13
76	263,424
71	268,128
95	280,182
77	282,828
9	288,708
20	291,354
50	300,762

Presión 202 - 315 Pascales



ANÁLISIS BUS CON UN ALERÓN



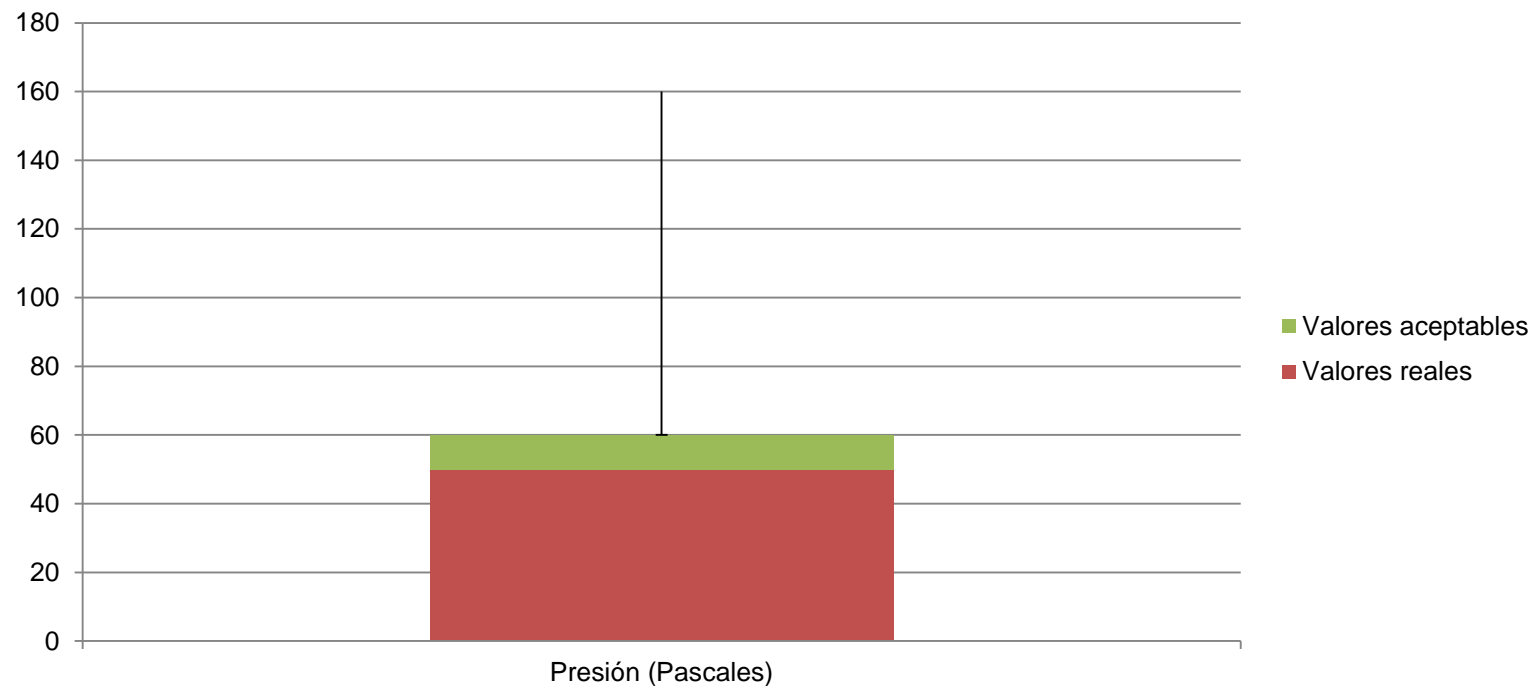
SENSOR 1

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	228,34	26	152,39	51	447,37	76	229,32
2	314,09	27	194,53	52	41,65	77	405,72
3	280,28	28	501,27	53	0	78	482,16
4	209,23	29	46,55	54	327,32	79	135,24
5	323,4	30	124,46	55	277,34	80	7,84
6	230,79	31	252,84	56	0	81	141,61
7	303,31	32	170,03	57	252,35	82	115,15
8	99,47	33	0	58	311,64	83	244,51
9	269,99	34	183,26	59	499,31	84	370,44
10	231,77	35	43,12	60	353,29	85	501,27
11	95,55	36	361,62	61	293,02	86	279,79
12	118,58	37	389,55	62	259,21	87	501,27
13	47,53	38	2,45	63	24,01	88	202,37
14	200,41	39	0	64	122,99	89	0
15	0	40	69,58	65	501,27	90	32,34
16	159,25	41	374,36	66	302,33	91	0
17	245	42	288,61	67	163,17	92	181,79
18	206,78	43	242,06	68	471,38	93	405,72
19	430,71	44	81,83	69	139,65	94	253,33
20	257,74	45	216,58	70	169,05	95	203,35
21	178,85	46	140,14	71	162,68	96	158,76
22	387,59	47	159,74	72	468,93	97	144,55
23	85,75	48	270,48	73	0	98	429,73
24	295,96	49	336,63	74	33,32	99	454,72

Time (segundos)	Presión (Pascales)
15	0
53	0
73	0
89	0
91	0
100	0,98
38	2,45
80	7,84
63	24,01
90	32,34

Presión 0 - 60 Pascales

SENSOR 1

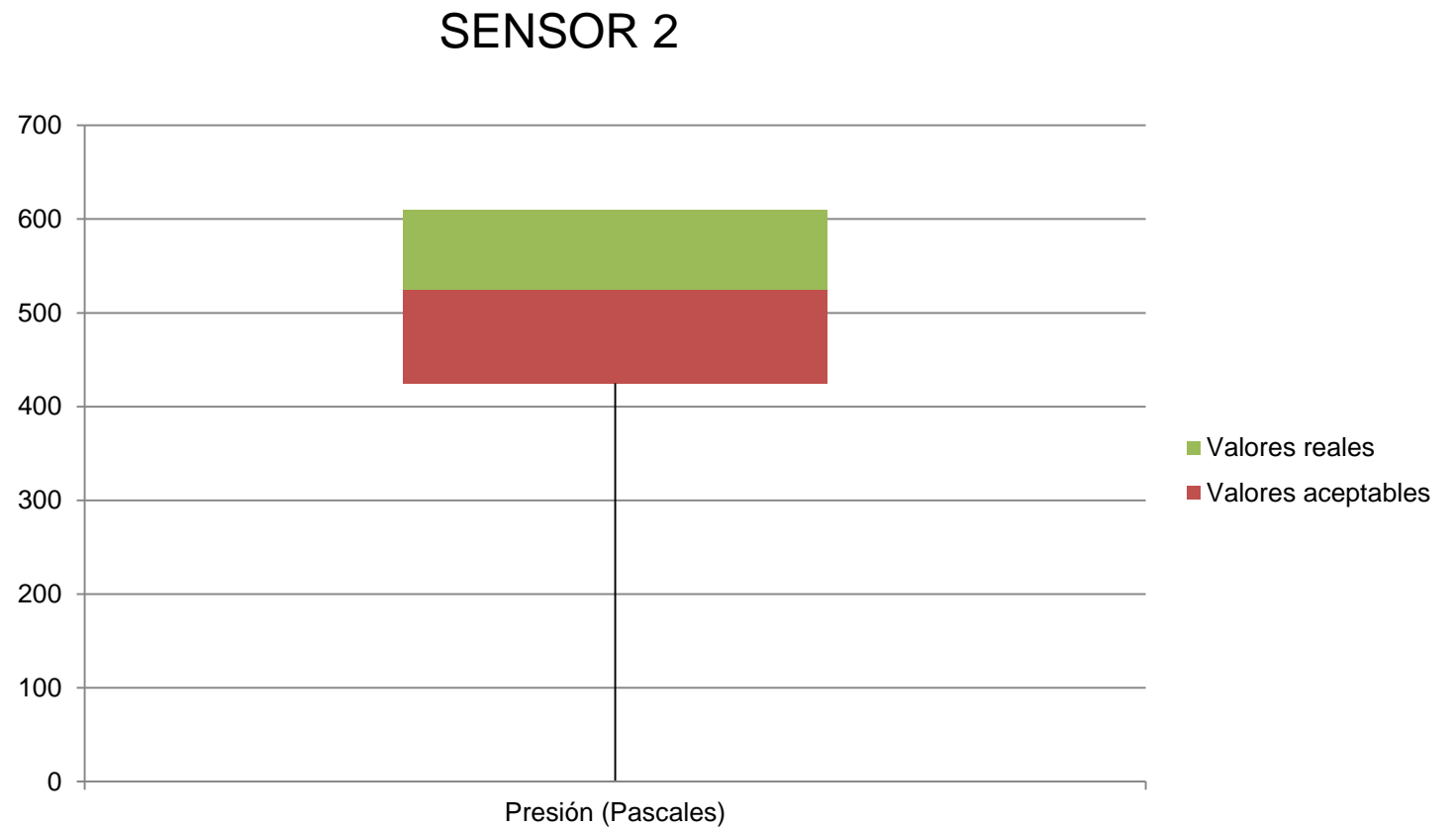


SENSOR 2

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	583,296	26	540,96	51	56,448	76	294
2	503,328	27	195,216	52	446,292	77	520,38
3	117,012	28	87,024	53	74,676	78	37,632
4	24,696	29	505,092	54	0	79	182,868
5	580,944	30	191,1	55	285,18	80	0
6	78,204	31	42,336	56	481,572	81	543,312
7	239,904	32	74,676	57	4,116	82	122,304
8	424,536	33	0	58	421,596	83	0
9	367,5	34	413,952	59	66,444	84	160,524
10	323,4	35	225,792	60	0	85	25,872
11	274,596	36	15,876	61	244,02	86	160,524
12	201,684	37	334,572	62	197,568	87	55,272
13	272,832	38	0	63	229,32	88	0
14	240,492	39	373,968	64	349,272	89	487,452
15	431,004	40	188,748	65	119,952	90	601,524
16	0	41	514,5	66	583,884	91	148,176
17	4,704	42	303,996	67	107,016	92	11,76
18	36,456	43	354,564	68	535,08	93	102,312
19	134,064	44	96,432	69	396,312	94	601,524
20	89,376	45	0	70	254,604	95	200,508
21	204,624	46	382,2	71	438,06	96	0
22	117,012	47	262,248	72	409,836	97	19,404
23	350,448	48	601,524	73	281,652	98	328,692
24	288,708	49	465,108	74	299,88	99	192,276

Time (segundos)	Presión (Pascales)
68	535,08
26	540,96
81	543,312
100	567,42
5	580,944
1	583,296
66	583,884
48	601,524
90	601,524
94	601,524

Presión 550 - 600 Pascales

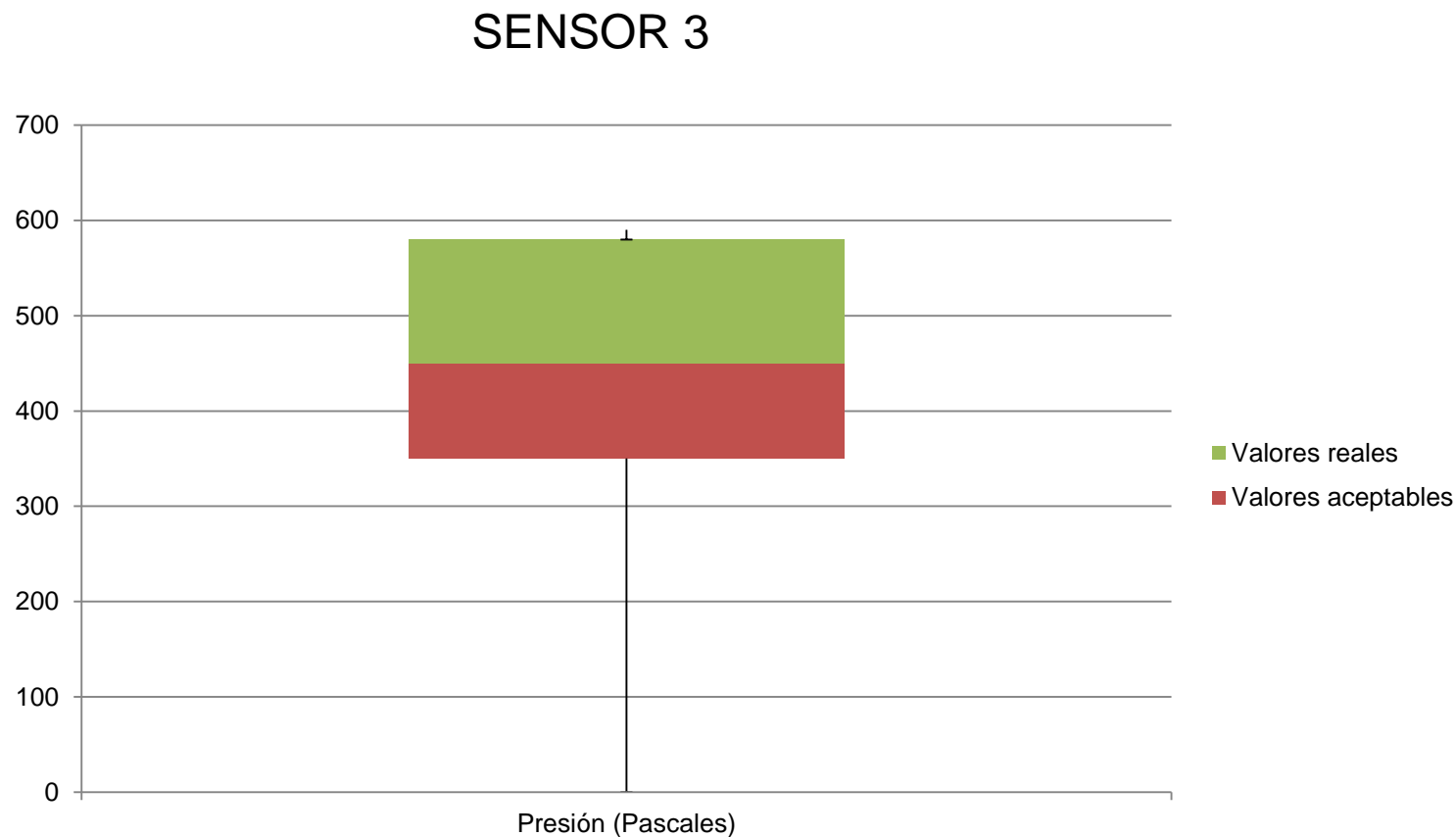


SENSOR 3

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	551,666	26	83,398	51	66,493	76	0
2	543,777	27	58,0405	52	0	77	0
3	309,361	28	144,256	53	375,291	78	540,96
4	44,5165	29	412,482	54	127,915	79	10,143
5	218,638	30	0	55	292,457	80	387,124
6	221,456	31	0	56	71,5645	81	186,518
7	0	32	445,165	57	466,578	82	286,822
8	0	33	537,015	58	267,099	83	0
9	346,553	34	0	59	39,445	84	134,677
10	397,831	35	215,821	60	130,168	85	150,454
11	343,735	36	187,645	61	282,877	86	466,014
12	245,686	37	130,168	62	468,269	87	49,0245
13	259,21	38	191,026	63	0	88	431,077
14	298,655	39	111,573	64	446,292	89	57,477
15	166,232	40	344,862	65	276,115	90	450,8
16	153,835	41	233,289	66	274,424	91	283,44
17	485,737	42	451,927	67	281,75	92	237,233
18	205,114	43	316,687	68	191,026	93	160,597
19	269,916	44	432,204	69	29,302	94	203,987
20	320,632	45	333,028	70	520,11	95	178,629
21	0	46	423,752	71	385,998	96	148,201
22	406,847	47	129,605	72	576,46	97	15,778
23	87,906	48	155,526	73	330,774	98	264,281
24	298,091	49	3,9445	74	0	99	0

Time (segundos)	Presión (Pascales)
57	466,578
62	468,269
17	485,737
70	520,11
33	537,015
78	540,96
2	543,777
1	551,666
25	576,46
72	576,46

Presión 450 - 450 Pascales



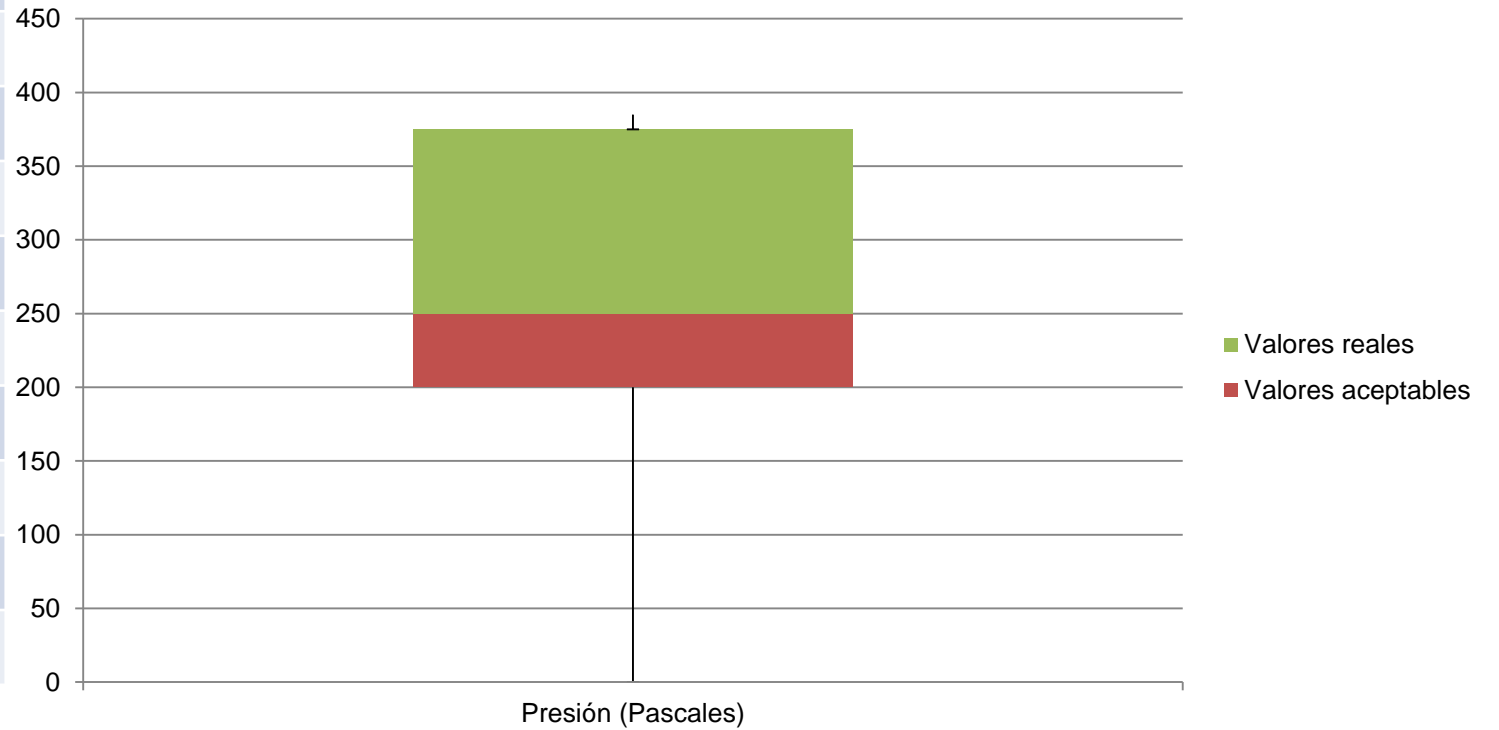
SENSOR 4

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	217,56	26	141,708	51	90,552	76	284,298
2	7,056	27	0	52	149,94	77	92,61
3	0	28	18,816	53	21,168	78	115,542
4	147,882	29	20,58	54	239,316	79	186,396
5	250,488	30	75,558	55	146,706	80	0
6	44,982	31	230,79	56	182,868	81	93,786
7	260,19	32	120,834	57	114,66	82	45,276
8	0	33	227,85	58	148,47	83	199,332
9	0	34	237,552	59	222,558	84	219,912
10	88,494	35	134,064	60	64,974	85	0
11	74,382	36	79,674	61	73,206	86	261,072
12	253,722	37	204,624	62	23,814	87	300,762
13	291,06	38	294,294	63	286,944	88	167,874
14	72,618	39	261,954	64	300,762	89	0
15	111,132	40	226,968	65	31,164	90	243,138
16	280,182	41	0	66	0	91	262,542
17	173,166	42	62,916	67	300,762	92	147,294
18	137,886	43	285,18	68	64,68	93	104,076
19	0	44	0	69	266,07	94	0
20	90,846	45	276,948	70	124,656	95	116,718
21	108,192	46	160,818	71	72,618	96	0
22	300,762	47	220,794	72	264,894	97	142,296
23	78,498	48	131,418	73	0	98	104,076
24	273,714	49	240,198	74	0	99	289,002

Time (segundos)	Presión (Pascales)
76	284,298
43	285,18
63	286,944
99	289,002
13	291,06
38	294,294
22	300,762
64	300,762
67	300,762
87	300,762

Presión 280 - 325 Pascales

SENSOR 4

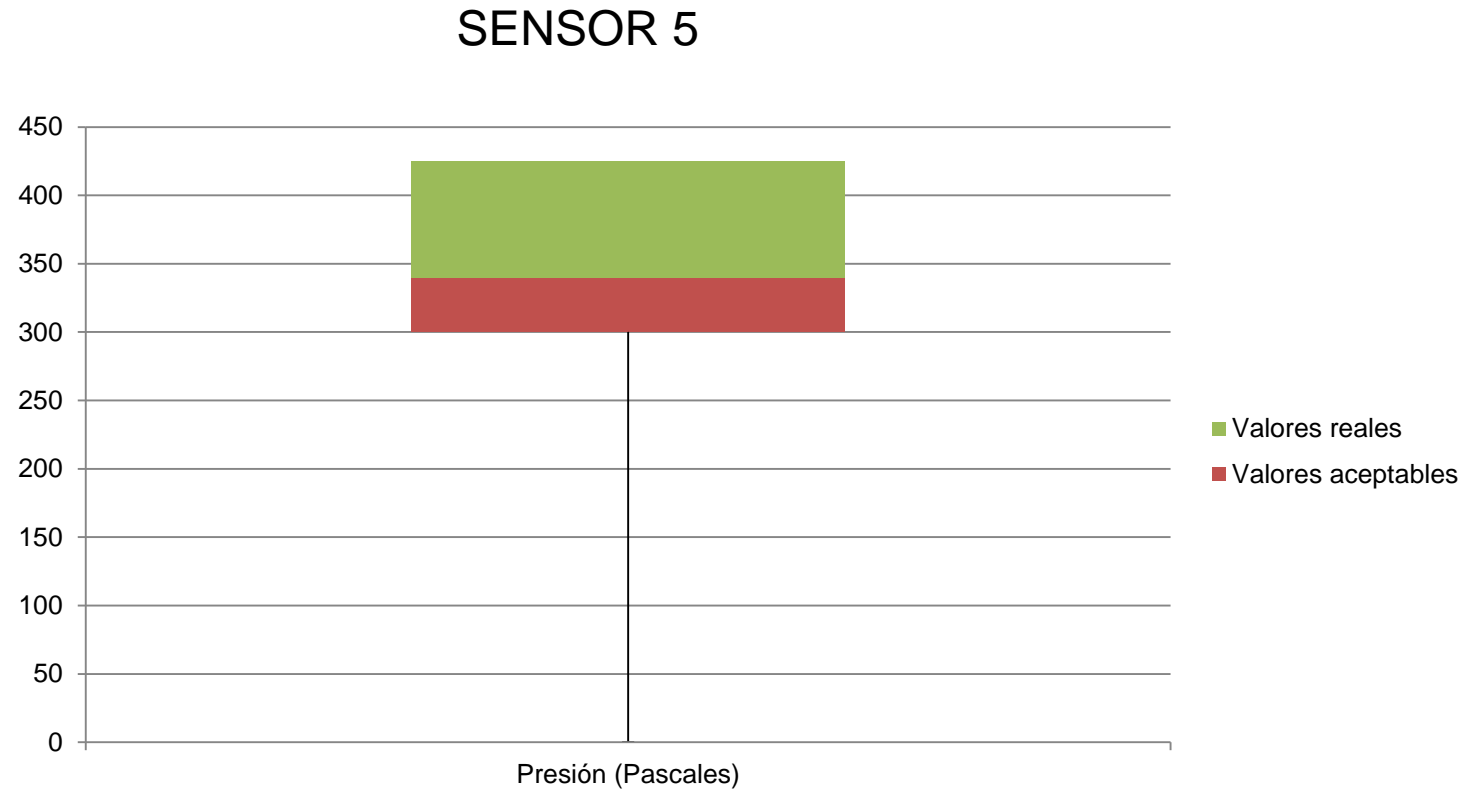


SENSOR 5

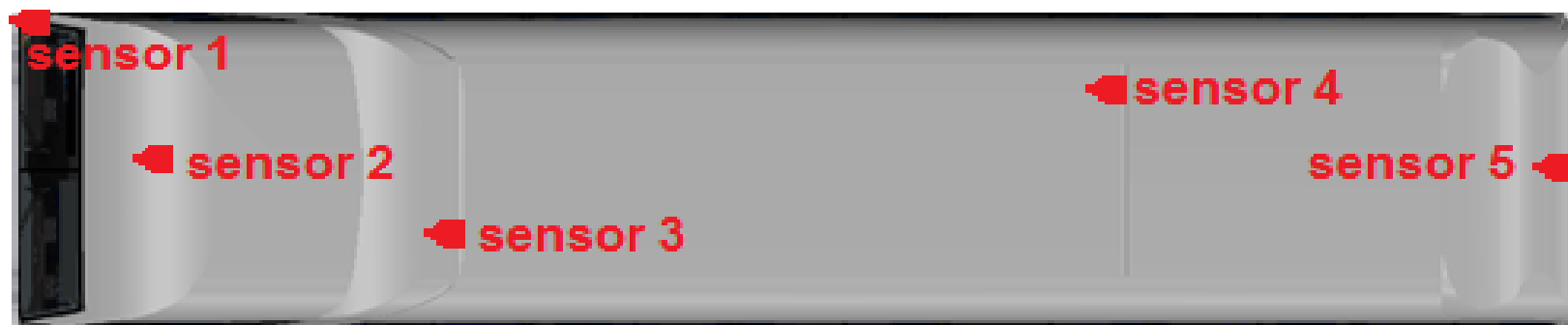
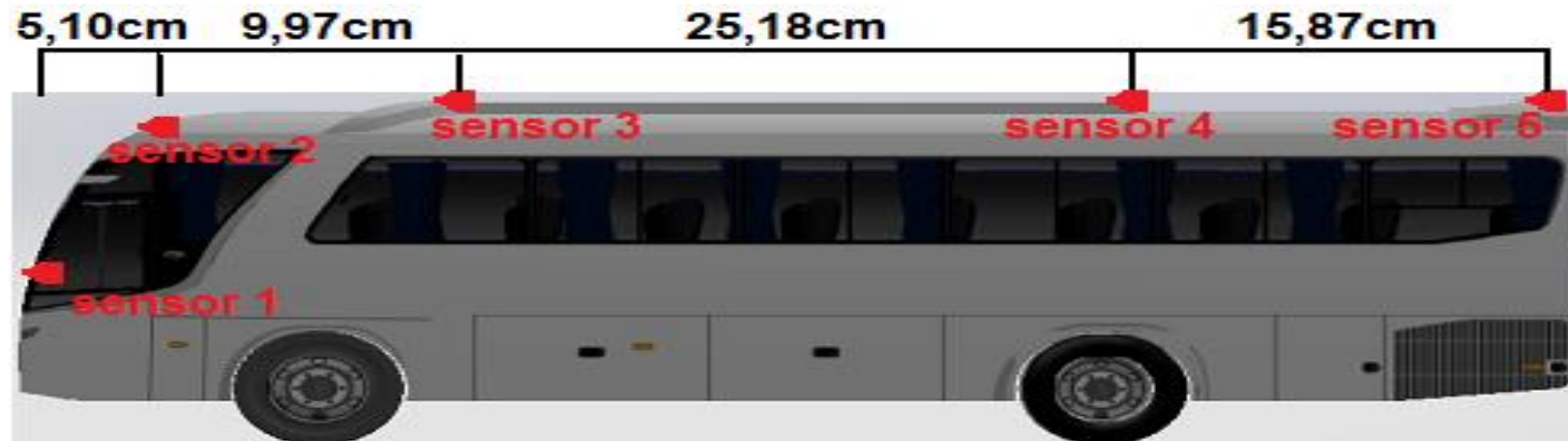
Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	332,024	26	179,144	51	179,928	76	147,392
2	0	27	203,056	52	143,08	77	73,696
3	138,376	28	166,992	53	144,256	78	167,776
4	401,016	29	165,424	54	19,6	79	83,496
5	145,04	30	163,464	55	240,296	80	0
6	332,808	31	268,128	56	0	81	0
7	290,08	32	281,456	57	86,632	82	30,184
8	347,704	33	158,368	58	267,736	83	0
9	119,168	34	237,944	59	201,096	84	302,624
10	101,528	35	207,368	60	81,536	85	186,592
11	68,6	36	252,056	61	272,44	86	377,496
12	186,984	37	190,12	62	347,704	87	216,776
13	346,528	38	371,616	63	21,168	88	401,016
14	0	39	268,912	64	0	89	401,016
15	144,256	40	369,656	65	0	90	139,16
16	313,6	41	351,624	66	56,448	91	86,24
17	59,192	42	202,664	67	97,216	92	305,76
18	74,088	43	183,456	68	11,76	93	174,44
19	253,232	44	219,912	69	147	94	234,024
20	57,624	45	7,84	70	97,216	95	134,848
21	385,336	46	244,608	71	76,048	96	225,4
22	0	47	223,832	72	353,584	97	0
23	38,416	48	276,752	73	145,824	98	3,136
24	1,96	49	336,728	74	0	99	168,952

Time (segundos)	Presión (Pascales)
41	351,624
72	353,584
25	360,248
40	369,656
38	371,616
86	377,496
21	385,336
4	401,016
88	401,016
89	401,016

Presión 350 - 400 Pascales



ANÁLISIS BUS CON DOS ALERONES



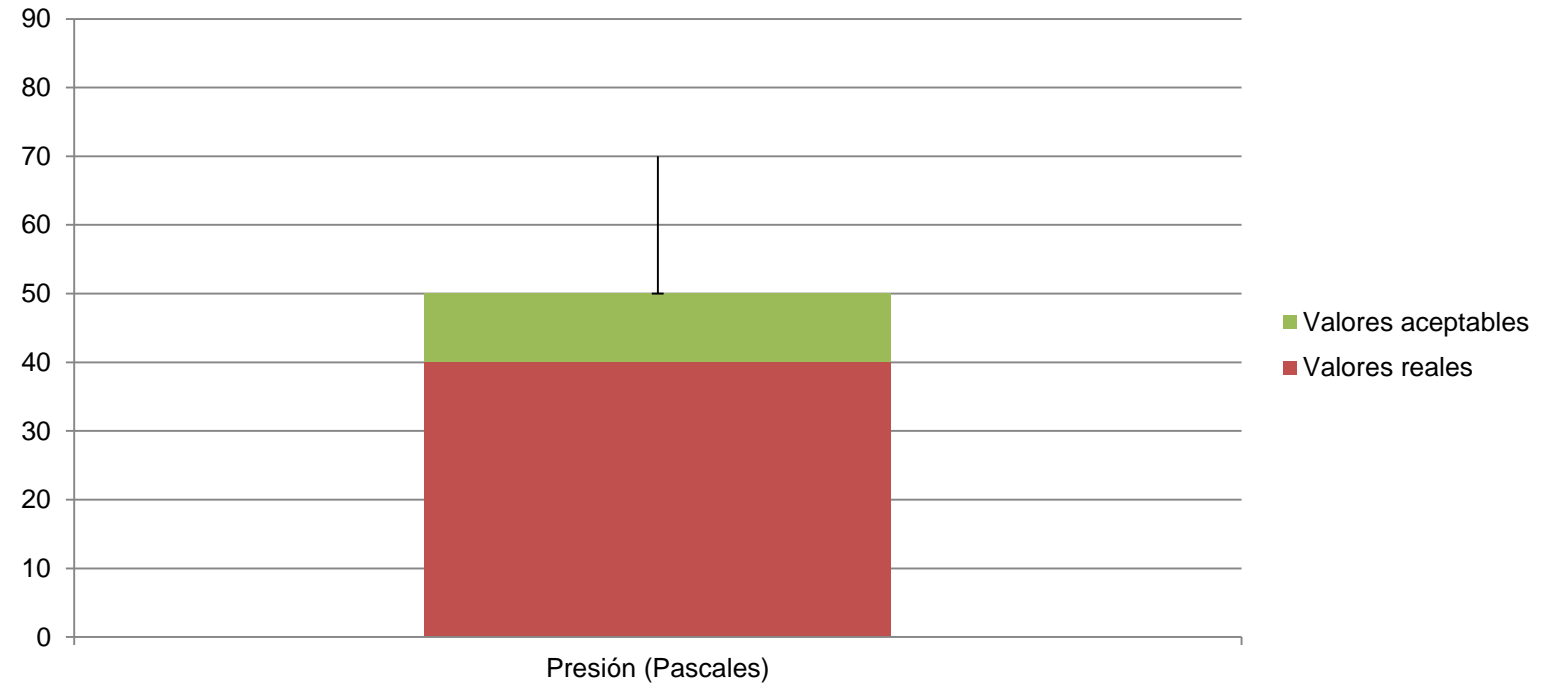
SENSOR 1

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	65,66	26	113,19	51	299,39	76	43,12
2	102,41	27	418,46	52	412,09	77	399,84
3	78,89	28	501,27	53	83,79	78	368,48
4	0	29	0	54	191,59	79	4,9
5	210,21	30	0	55	0	80	434,63
6	184,24	31	0	56	501,27	81	148,96
7	57,82	32	268,52	57	166,11	82	60,76
8	174,93	33	220,99	58	111,72	83	401,31
9	0	34	7,84	59	336,63	84	475,3
10	228,83	35	148,96	60	501,27	85	415,52
11	179,34	36	0	61	429,24	86	346,92
12	299,88	37	79,87	62	2,94	87	470,4
13	161,7	38	187,18	63	501,27	88	501,27
14	154,84	39	236,67	64	0	89	115,15
15	124,95	40	85,26	65	24,5	90	297,92
16	0	41	70,56	66	133,77	91	496,37
17	449,33	42	0	67	252,35	92	319,97
18	99,47	43	101,92	68	383,67	93	466,48
19	0	44	107,8	69	175,91	94	436,1
20	472,36	45	501,27	70	14,7	95	143,57
21	0	46	246,96	71	167,09	96	81,34
22	290,57	47	501,27	72	268,03	97	12,74
23	390,04	48	0	73	501,27	98	36,26
24	436,1	49	40,18	74	501,27	99	323,89

Time (segundos)	Presión (Pascales)
4	0
16	0
64	0
62	2,94
79	4,9
34	7,84
97	12,74
70	14,7
65	24,5
98	36,26

Presión 0 - 70 Pascales

SENSOR 1

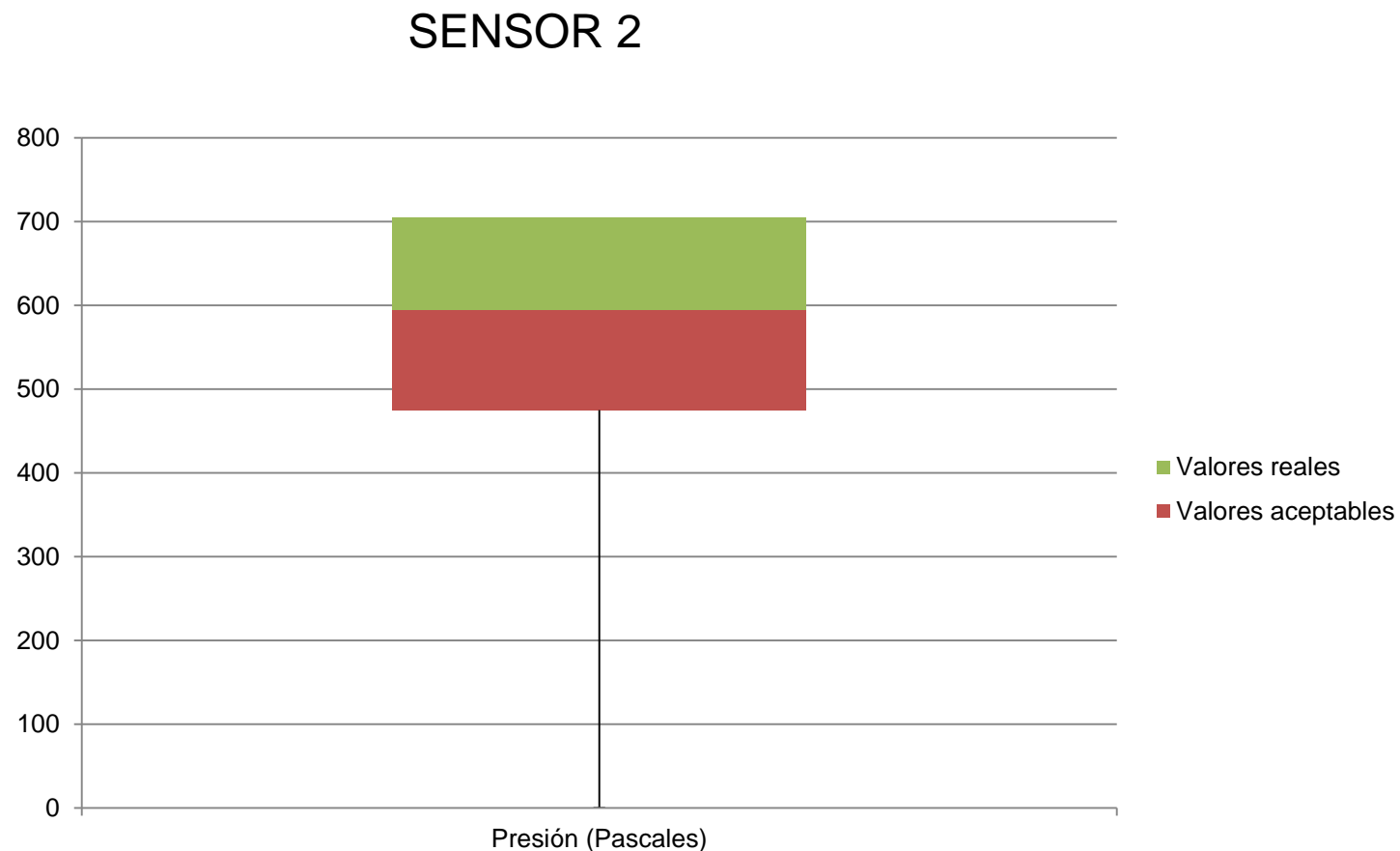


SENSOR 2

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	292,236	26	0	51	701,778	76	701,778
2	0	27	0	52	701,778	77	339,57
3	220,892	28	701,778	53	299,096	78	332,71
4	391,706	29	391,02	54	540,568	79	8,232
5	378,672	30	181,79	55	677,082	80	0
6	625,632	31	280,574	56	177,674	81	640,038
7	109,76	32	0	57	701,778	82	0
8	433,552	33	476,084	58	701,778	83	701,778
9	91,238	34	471,282	59	0	84	340,256
10	0	35	353,29	60	205,8	85	677,082
11	163,268	36	646,212	61	695,604	86	100,156
12	361,522	37	229,81	62	342,314	87	55,566
13	201,684	38	218,148	63	0	88	383,474
14	0	39	528,22	64	620,144	89	429,436
15	35,672	40	242,158	65	0	90	366,324
16	0	41	140,63	66	113,876	91	404,054
17	278,516	42	127,596	67	0	92	350,546
18	340,942	43	0	68	485,002	93	356,034
19	0	44	0	69	6,86	94	242,158
20	596,82	45	0	70	438,354	95	441,098
21	696,976	46	701,778	71	148,176	96	43,904
22	274,4	47	156,408	72	0	97	36,358
23	701,778	48	284,004	73	701,778	98	436,982
24	500,504	49	0	74	0	99	701,778

Time (segundos)	Presión (Pascales)
6	625,632
81	640,038
36	646,212
55	677,082
85	677,082
61	695,604
21	696,976
23	701,778
28	701,778
46	701,778

Presión 600 - 695 Pascales



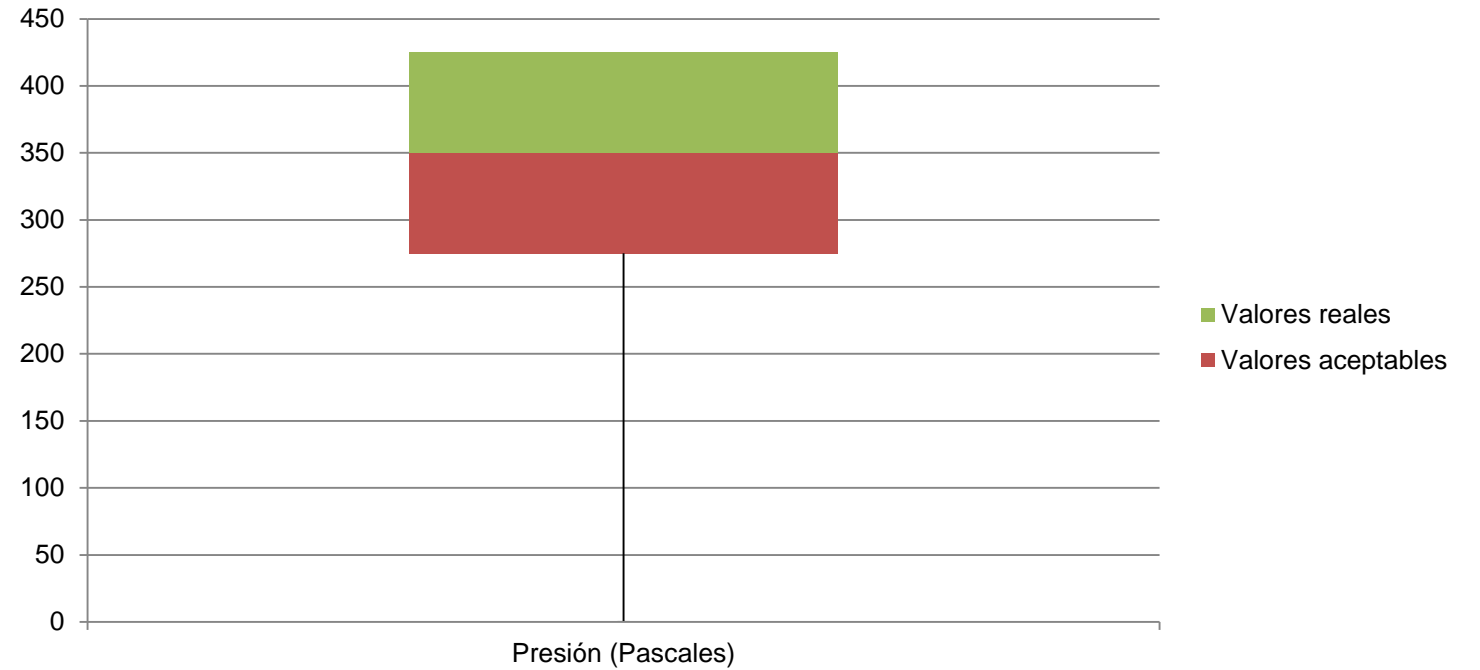
SENSOR 3

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	109,76	26	104,664	51	47,824	76	42,728
2	0	27	0	52	78,008	77	204,232
3	58,016	28	401,016	53	0	78	32,536
4	0	29	232,456	54	312,424	79	283,416
5	0	30	333,2	55	401,016	80	139,552
6	307,72	31	398,272	56	167,384	81	317,128
7	29,792	32	401,016	57	132,496	82	61,152
8	114,856	33	114,464	58	109,368	83	152,88
9	240,688	34	22,736	59	0	84	382,2
10	332,808	35	0	60	256,368	85	131,712
11	12,152	36	295,568	61	176,008	86	6,272
12	250,88	37	0	62	356,72	87	391,216
13	357,504	38	34,496	63	77,616	88	299,88
14	237,552	39	134,456	64	0	89	223,832
15	219,128	40	20,384	65	103,488	90	124,656
16	0	41	334,768	66	0	91	399,84
17	0	42	196,784	67	0	92	0,784
18	232,456	43	362,992	68	159,544	93	401,016
19	372,4	44	118,384	69	214,424	94	0
20	162,288	45	195,216	70	0	95	206,976
21	254,408	46	199,136	71	398,272	96	268,52
22	261,464	47	0	72	355,544	97	124,656
23	214,424	48	76,44	73	401,016	98	3,92
24	93,296	49	6,664	74	0	99	50,568

Time (segundos)	Presión (Pascales)
43	362,992
19	372,4
84	382,2
87	391,216
31	398,272
71	398,272
91	399,84
28	401,016
32	401,016
55	401,016

Presión 350 - 400 Pascales

SENSOR 3

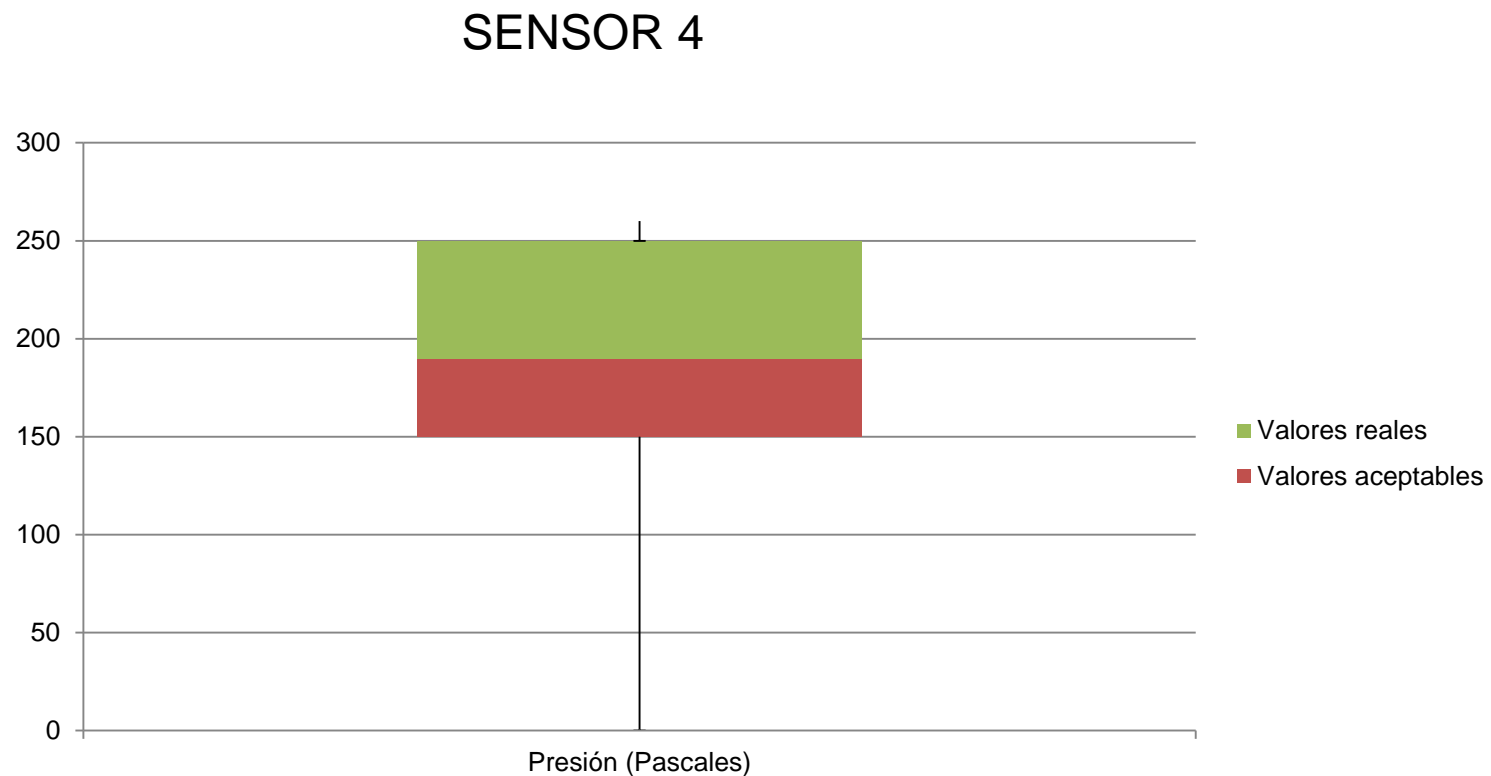


SENSOR 4

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	230,584	26	0	51	0	76	87,906
2	207,593	27	115,405	52	230,584	77	77,9884
3	97,5982	28	230,584	53	0	78	230,584
4	87,2298	29	7,4382	54	134,564	79	153,723
5	71,9026	30	230,584	55	0	80	59,0548
6	7,889	31	38,0926	56	230,584	81	219,765
7	72,128	32	12,397	57	129,83	82	0
8	60,6326	33	230,584	58	228,33	83	116,081
9	0	34	0	59	166,796	84	190,012
10	60,858	35	0	60	36,064	85	140,875
11	28,175	36	162,513	61	224,273	86	29,302
12	106,163	37	164,317	62	230,584	87	64,239
13	179,644	38	152,596	63	151,92	88	191,365
14	29,9782	39	63,5628	64	146,51	89	230,584
15	14,8764	40	61,5342	65	115,405	90	230,584
16	0	41	134,564	66	156,878	91	95,5696
17	0	42	0	67	0	92	36,5148
18	28,4004	43	198,577	68	0	93	117,433
19	12,1716	44	222,921	69	95,795	94	201,508
20	16,905	45	230,584	70	109,544	95	60,4072
21	113,602	46	135,916	71	230,584	96	175,361
22	90,8362	47	0	72	16,0034	97	143,805
23	24,1178	48	174,009	73	0	98	13,0732
24	212,552	49	210,749	74	230,584	99	208,72

Time (segundos)	Presión (Pascales)
49	210,749
24	212,552
81	219,765
44	222,921
61	224,273
58	228,33
1	230,584
28	230,584
30	230,584
33	230,584

Presión 200 - 280 Pascales

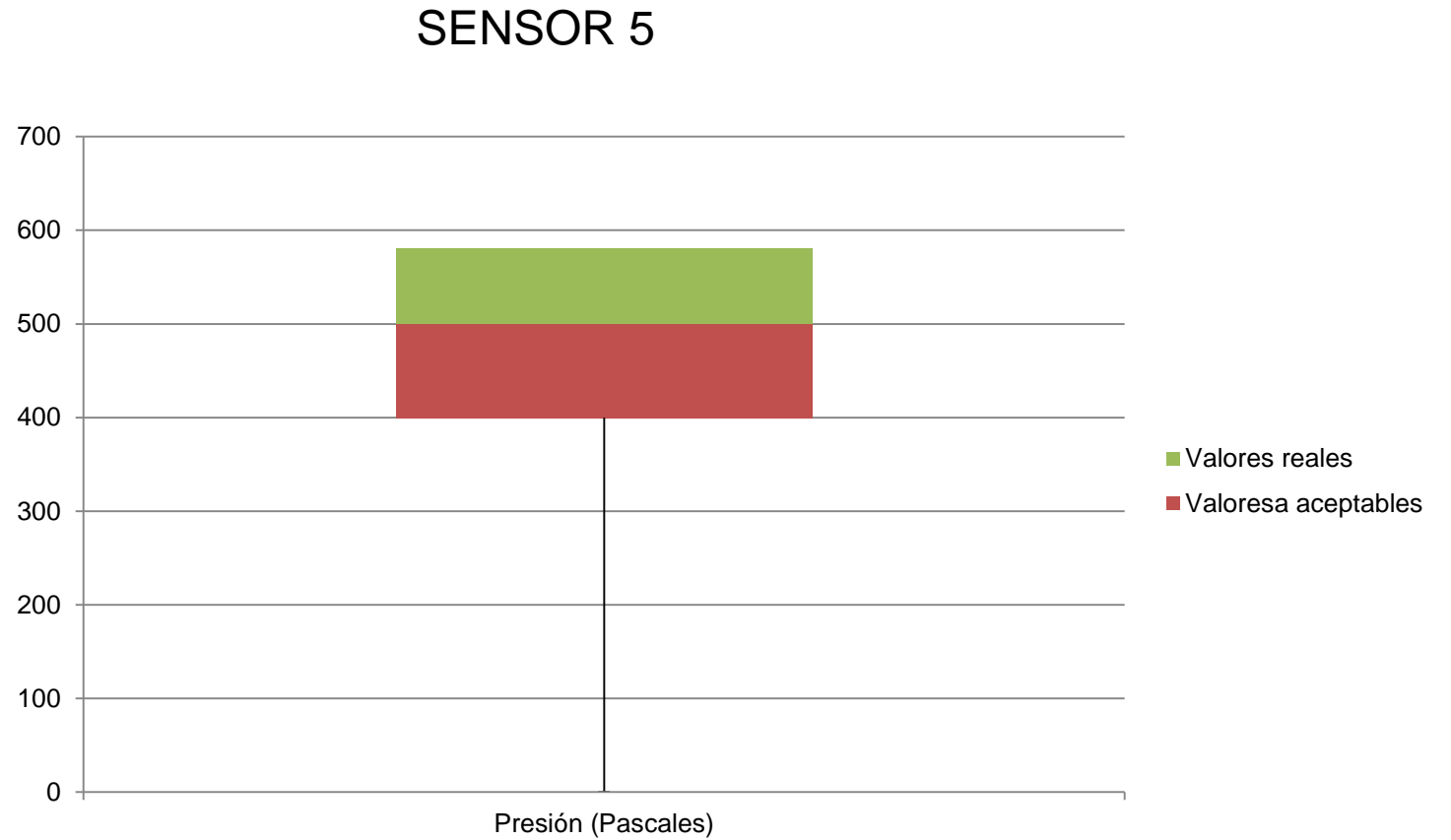


SENSOR 5

Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)	Time (segundos)	Presión (Pascales)
1	305,407	26	464,344	51	417,078	76	43,6296
2	310,082	27	531,346	52	5,194	77	53,4982
3	234,249	28	171,921	53	529,269	78	103,88
4	172,441	29	531,346	54	52,9788	79	66,4832
5	0	30	63,8862	55	202,566	80	309,562
6	212,435	31	229,575	56	450,32	81	0
7	47,7848	32	221,784	57	274,763	82	185,426
8	108,035	33	236,327	58	75,8324	83	82,0652
9	171,921	34	0	59	531,346	84	378,123
10	35,3192	35	48,8236	60	427,986	85	296,058
11	96,6084	36	358,386	61	531,346	86	232,691
12	0	37	118,423	62	239,443	87	226,978
13	360,464	38	24,4118	63	0	88	504,337
14	299,694	39	531,346	64	0	89	531,346
15	440,971	40	174,518	65	175,557	90	58,6922
16	318,392	41	531,346	66	475,77	91	379,681
17	0	42	326,183	67	0	92	531,346
18	421,233	43	112,19	68	0	93	39,9938
19	428,505	44	0	69	253,987	94	148,029
20	84,1428	45	517,842	70	0	95	523,555
21	487,717	46	364,619	71	241,521	96	0
22	266,972	47	169,324	72	136,602	97	501,74
23	247,754	48	219,706	73	511,09	98	32,2028
24	262,297	49	393,186	74	56,6146	99	151,145

Time (segundos)	Presión (Pascales)
97	501,74
88	504,337
73	511,09
45	517,842
95	523,555
53	529,269
25	531,346
27	531,346
29	531,346
39	531,346

Presión 500 - 550 Pascales



ANÁLISIS AERODINÁMICO



Condiciones iniciales

- Temperatura ambiente del aire en la sierra = 15 [°C]
- Presión atmosférica = 101325 [Pa]
- Densidad del aire = 1.225 [Kg/m³]
- Viscosidad dinámica = 1.3604x10⁻⁵ [Pa*s]
- Velocidad promedio del autobús = 25 [m/s]
- Área Transversal del vehículo perpendicular al movimiento del aire = 8.743 [m²]



Variables independientes

- Densidad del fluido
- Velocidad
- Fuerza en X (Fuerza de arrastre)
- Fuerza en Z (Fuerza de sustentación)
- Número de Reynolds



Variables dependientes

Type	Equation Goal
Formula	GG Force (X) $1/(0.5*GG \text{ Av Density (Fluid)} 1*(25^2)*8.743)$
Dimensionality	No units
Use in convergence	On

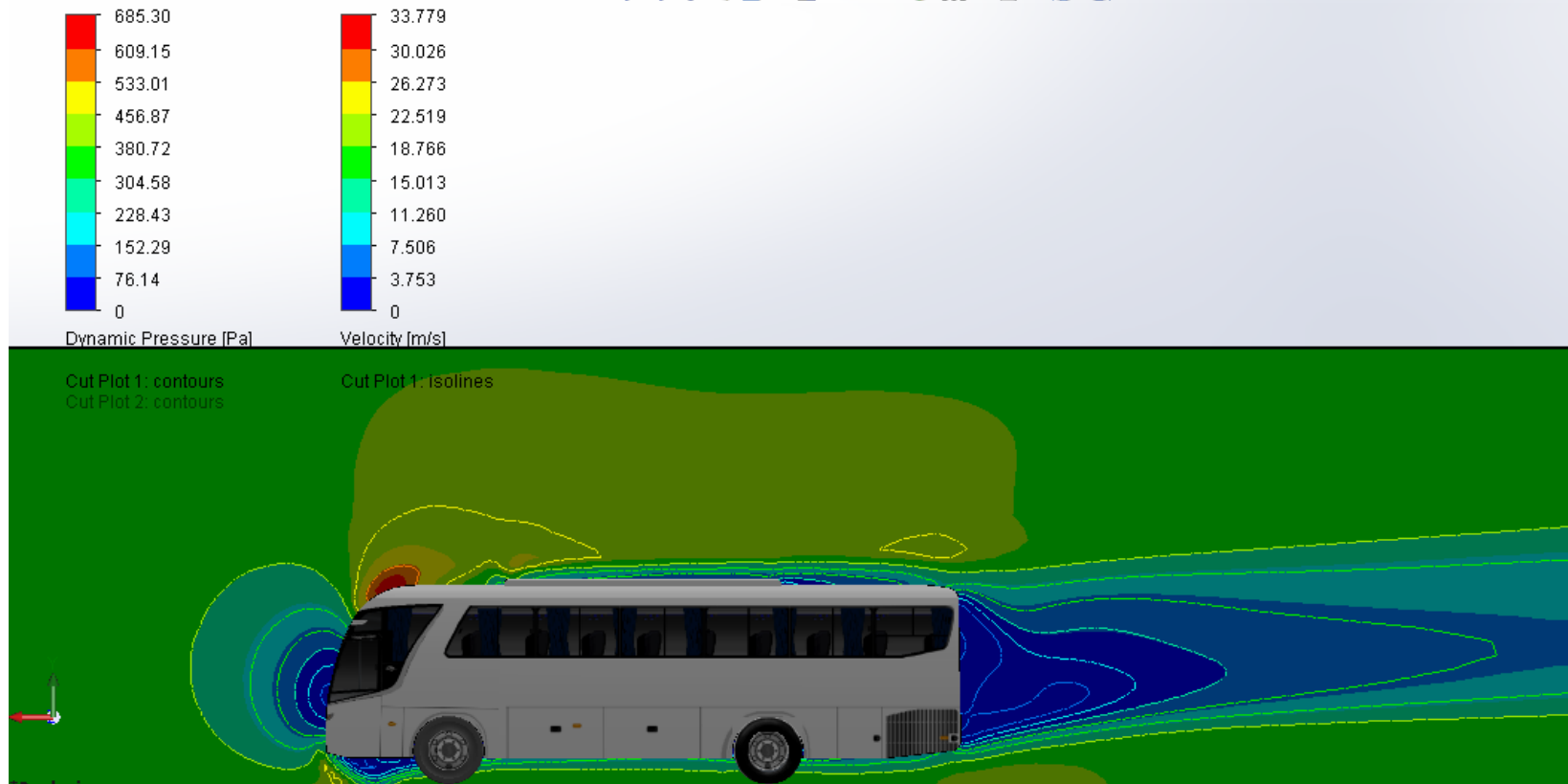
Type	Equation Goal
Formula	GG Force (Y) $1/(0.5*GG \text{ Av Density (Fluid)} 1*(25^2)*8.743)$
Dimensionality	No units
Use in convergence	On

Type	Equation Goal
Formula	$0.5*Cx*GG \text{ Av Density (Fluid)} 1*8,743*(25^3)$
Dimensionality	Energy
Use in convergence	On



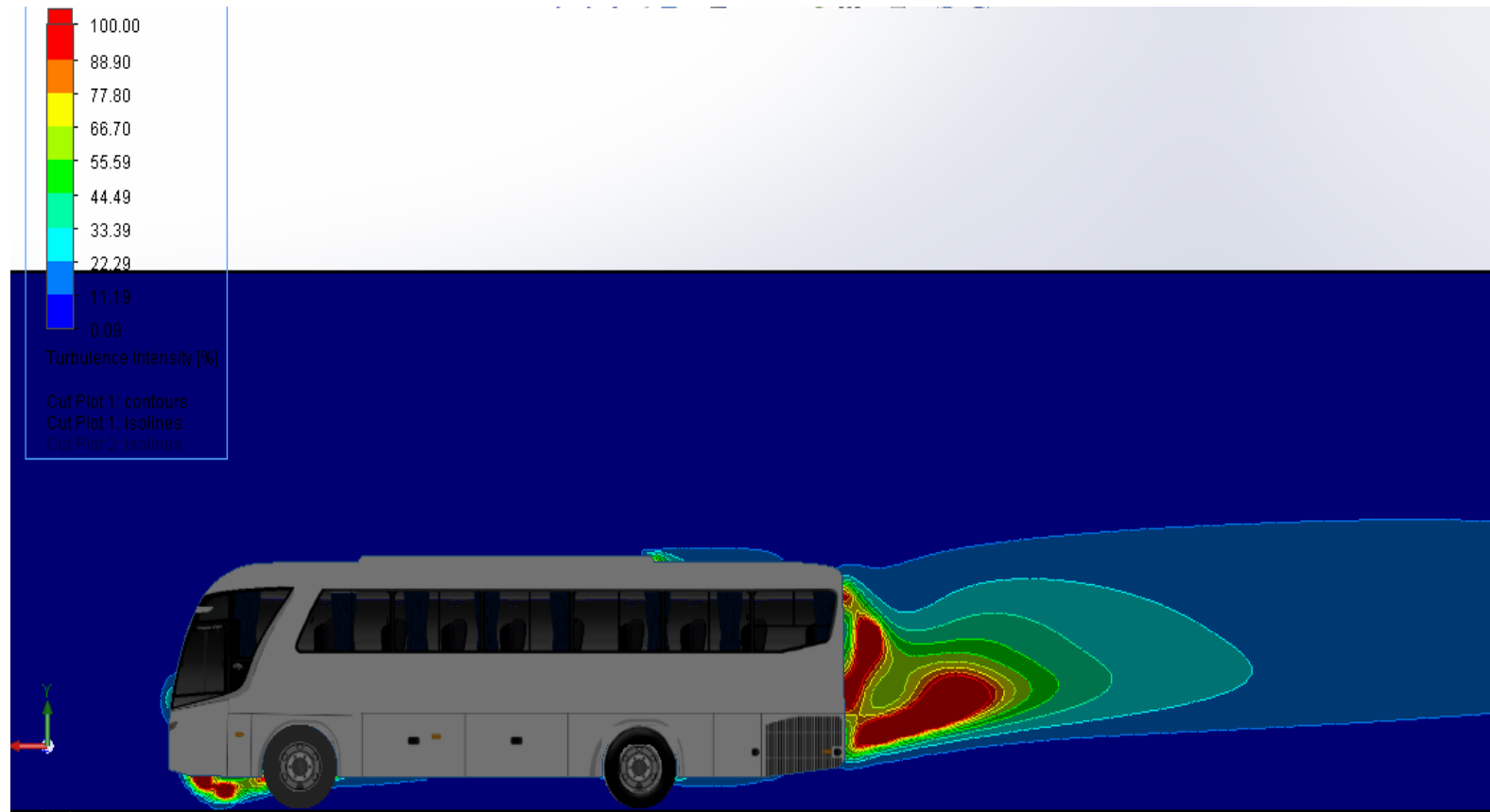
Análisis del modelo original

Presión dinámica



Análisis del modelo original

Intensidad de turbulencia

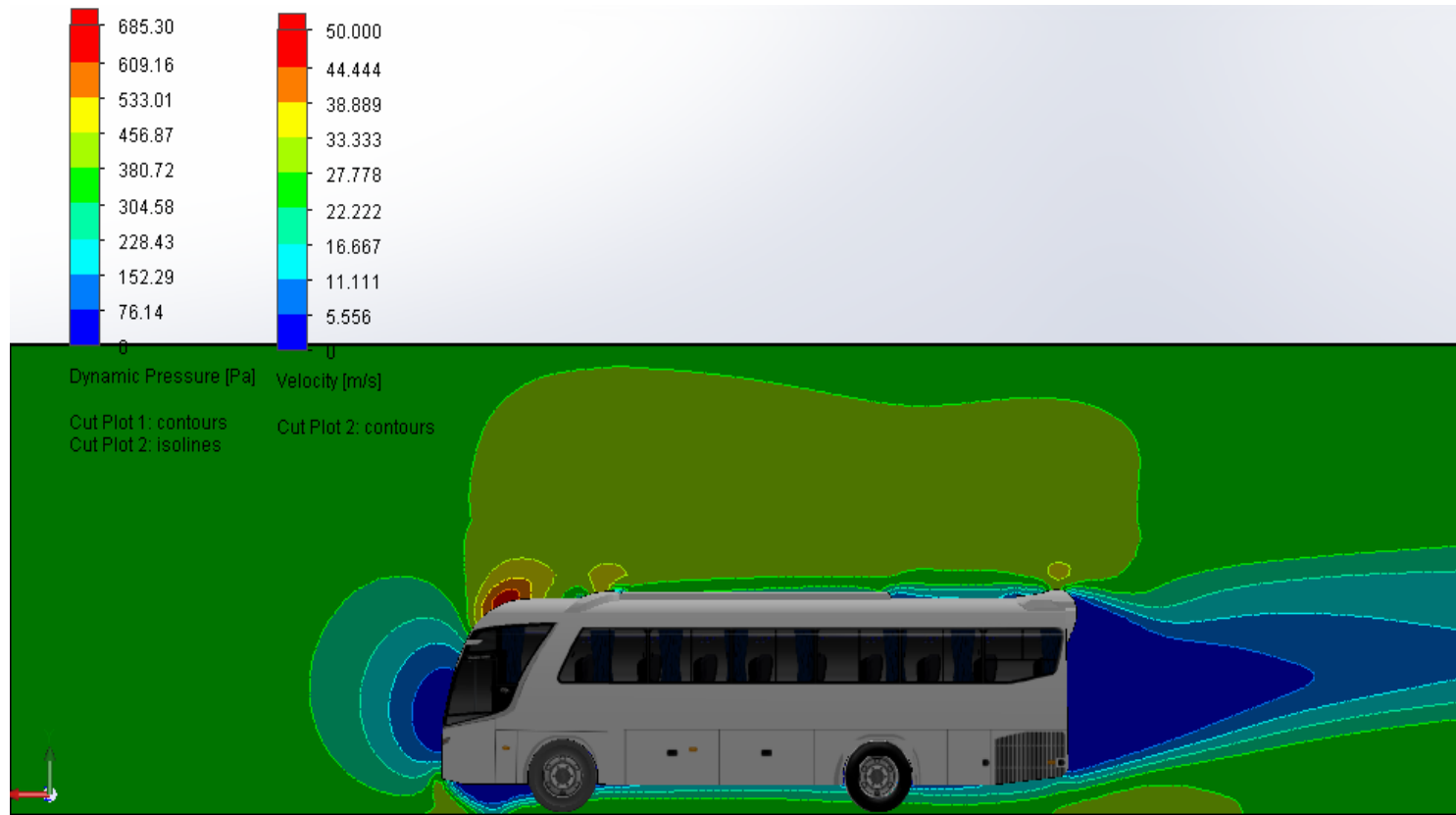


VARIABLES	UNIDADES	VALORES	VALOR PROMEDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Fuerza de arrastre (Fx)	[N]	2043,260381	2006,443634	1975,251827	2059,453623
Fuerza de sustentación (Fz)	[N]	866,0453682	869,8626747	826,2409041	905,0256673
Número de Reynolds (RE)		6402946,806	6403115,424	6402683,953	6403522,123
Coefficiente de arrastre (Cx)		0,621331276	0,610135922	0,600651612	0,62625527
Coefficiente de sustentación (Cz)		0,263354136	0,264515016	0,251250179	0,275207635
Potencia (Pot)	[W]	51081,50954	50161,09085	49381,29568	51486,34058



Análisis del modelo con dos alerones

Presión dinámica



Análisis del modelo con dos alerones

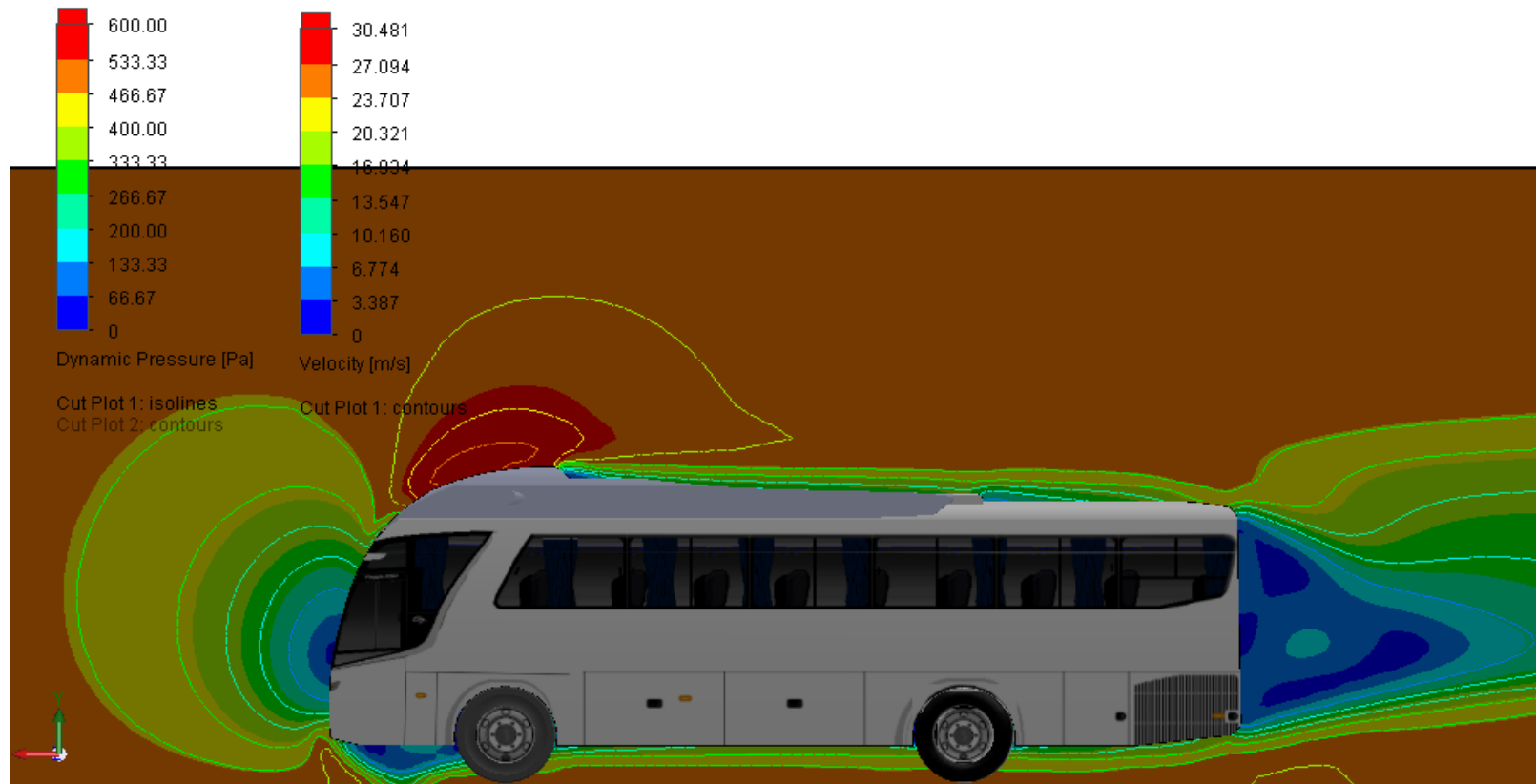
Intensidad de turbulencia



Variable	Unidad	Valor	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Fuerza de arrastre (Fx)	[N]	2103,397504	2103,505258	2099,193122	2110,303413
Fuerza de sustentación (Fz)	[N]	994,8635736	991,5950154	983,1724695	996,6119556
Número de Reynolds (RE)		6402195,956	6400665,233	6397272,624	6402195,956
Coeficiente de arrastre (Cx)		0,639618997	0,639651952	0,638340884	0,641720183
Coeficiente de sustentación (Cz)		0,302526574	0,301532731	0,298971805	0,303058793
Potencia (Pot)	[W]	52584,9376	52587,63145	52479,82806	52757,58533

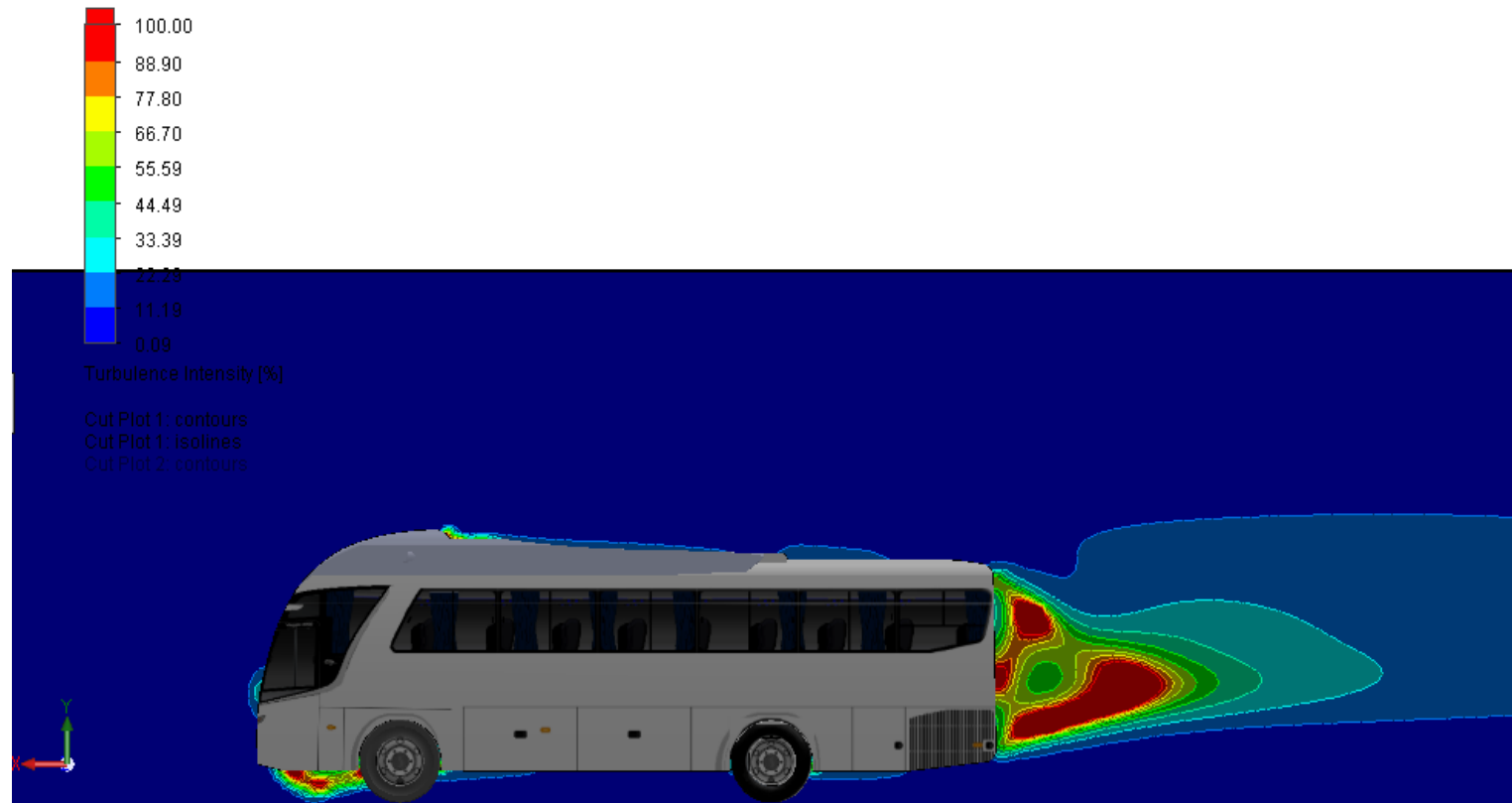
Análisis del modelo con deflector

Presión dinámica



Análisis del modelo con deflector

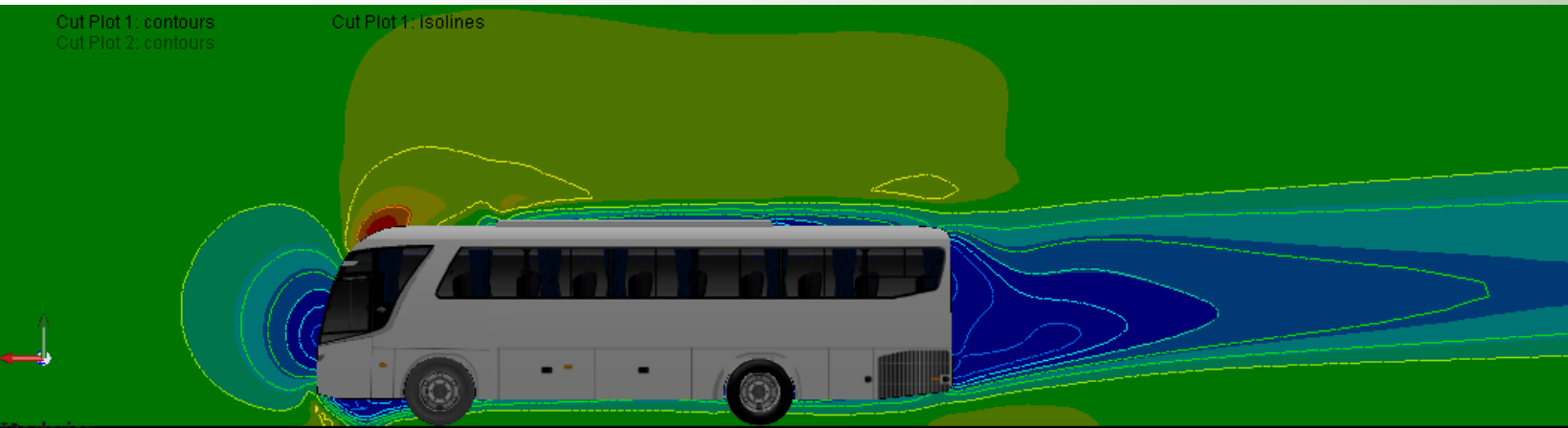
Intensidad de turbulencia



Variables	Unidades	Valores	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
Fuerza de arrastre (Fx)	[N]	2258,818039	2256,888173	2247,994704	2259,860921
Fuerza de sustentación (Fz)	[N]	998,6015103	997,6192573	992,3615559	999,4828573
Número de Reynolds (RE)		6388272,803	6387933,909	6386907,889	6388272,803
Coeficiente de arrastre (Cx)		0,69668833	0,68629641	0,683592359	0,687200427
Coeficiente de sustentación (Cz)		0,303664434	0,303365724	0,301766929	0,303932446
Potencia (Pot)	[W]	56470,45098	56422,20433	56199,86761	56496,52302

ANÁLISIS DE RESULTADOS AERODINÁMICO





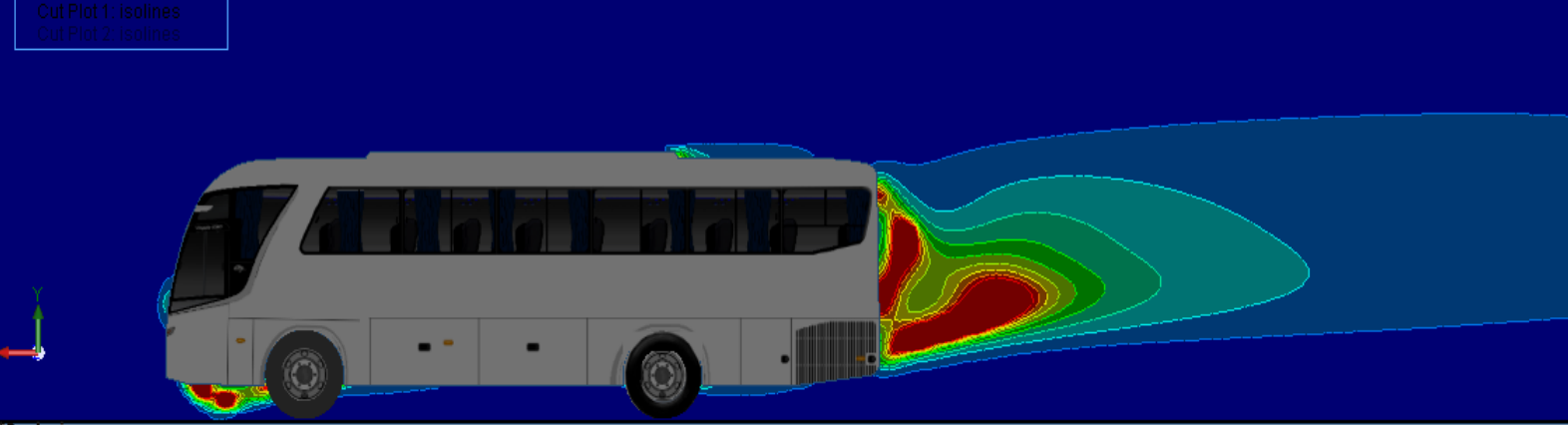
Modelo original

Modelo con dos alerones



Modelo con deflector

Cut Plot 1: isolines
Cut Plot 2: isolines



Modelo original

Modelo con dos alerones

Cut Plot 1: isolines
Cut Plot 2: isolines
Cut Plot 3: contours
Cut Plot 3: isolines



Cut Plot 1: contours
Cut Plot 1: isolines
Cut Plot 2: contours



Modelo con deflector



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Comparación de parámetros aerodinámicos

Variables	Unidades	Bus original	Bus con dos alerones	Bus con deflector
Fuerza de arrastre (Fx)	[N]	2043,260381	2103,397504	2258,818039
Fuerza de sustentación (Fz)	[N]	866,0453682	994,8635736	998,6015103
Coeficiente de arrastre (Cx)		0,621331276	0,639618997	0,69668833
Coeficiente de sustentación (Cz)		0,263354136	0,302526574	0,303664434
Potencia (Pot)	[W]	51081,50954	52584,9376	56470,45098

Conclusiones

La información necesaria para realizar el análisis de la estructura y los diferentes cálculos estáticos y dinámicos fueron facilitados por medio de la empresa Carrocerías Olímpica Quito.

El análisis estático, se determinó que todas las ocho combinaciones mediante el método LRFD cumplen con la Norma NTE INEN 1332:2009, donde la deformación elástica es menor a $1/240$ veces su longitud, siendo la mayor deformación de 12,64mm en un elemento estructural.

El impacto frontal se lo realizo utilizando las condiciones de ensayo de la normativa NCAP que establece que la velocidad del vehículo es de 64 Km/h ante una pared rígida.



Conclusiones

El comportamiento de la estructura de la carrocería para un bus interprovincial de la empresa Olímpica Quito, en el cual la deformación máxima es de 501mm, siendo esta aceptable de acuerdo a estudios previos similares.

La simulación del ensayo de impacto se la considera valida ya que la energía Hourglass cumple con lo establecido que debe ser menor al 10% de la energía interna.

El coeficiente de arrastre por debajo de lo establecido por la norma NTE INEN 1323:2009 por lo cual se desarrollaron dos alternativas, logrando alcanzar con una de ellas el valor establecido.



Conclusiones

Se realizó el prototipado en 3D del autobús y de los alerones a una escala de 1:200 la cual es aceptable de acuerdo a la norma CPE INEN 003.

Se construyó el túnel de viento en base a estudios realizados previamente, además se diseñó el circuito de control mediante un acondicionamiento de señal basada en la amplificación del integrado LM324 para que los sensores funcionen correctamente y amplíen la señal obtenida en las pruebas, generando una ganancia de 112 veces, de tal manera que el voltaje genera una señal de 0 a 330 mV y gracias a la amplificación el voltaje obtenido es de 0 a 5V.

Se realizó un programa en Labview Instruments mediante el uso de sus librerías para poder analizar los datos obtenidos de los sensores e interpretarlos de mejor manera.



Conclusiones

El análisis aerodinámico en el túnel de viento del modelo de bus y sus dos prototipos, obteniendo como resultado que en el prototipo con el deflector es el mejor ya que cumple con el coeficiente de arrastre establecido por la norma NTE INEN 1323:2009.

El análisis en el túnel de viento los tres diseños, obteniendo valores muy similares a los valores generados en el análisis computacional mediante el software de diseño, lo que nos determina que se puede ocupar dicho túnel de viento para análisis de prototipos a escala.



Conclusiones

Se redujo el número de valores obtenidos en las pruebas del túnel de viento mediante la ayuda del diagrama BoxPlot debido a que no todos los valores son reales, lo que ocasionaría un mal análisis del mismo, luego de separar los valores atípicos de los verdaderos se procedió al análisis de los mismos.

El incremento de la potencia necesaria para vencer la resistencia del aire es de 7,227 HP con respecto al modelo original, sin embargo, se logró incrementar el coeficiente de sustentación haciendo que el bus sea más estable.



Recomendaciones

Luego de realizar el modelado de la estructura de cualquier objeto se debe verificar que no existan errores en los elementos estructurales ya que al momento de exportar al software de análisis no se podrá realizar el estudio.

Verificar todos los valores a ser ingresados al momento de empezar con el análisis estático en el software de diseño, debido a que se puede obtener valores incorrectos y realizar un mal análisis del mismo.

Al momento de realizar estudios con el software ANSYS se recomienda dibujar el objeto a ser estudiado en un complemento del mismo software con la finalidad de evitar posibles conflictos al momento de realizar el estudio.



Recomendaciones

Realizar estudios pertinentes con la finalidad de generar una norma que permita a la industria carrocera guiarse bajo una normativa acorde a las condiciones del país ya que para realizar las simulaciones de impacto en la actualidad se basan en normas internacionales.

Se debe verificar que los circuitos eléctricos se encuentren funcionando correctamente para que no existan valores irracionales al momento de realizar las pruebas en el túnel de viento.

Se recomienda que para futuros estudios los cables de los sensores sean lo más cortos posibles ya que como los sensores generan valores en el rango de milivoltios, mientras mayor sea la longitud del cable se necesitará generar mayor ganancia en el circuito de acondicionamiento.

