

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**MAESTRÍA EN MECÁNICA**

**(COHORTE 2017)**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL  
ACERO HSLA ASTM A500 GR C UTILIZADO EN CARROCERÍAS DE  
BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

---

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención Diseño

**Autor:** Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco

**Director:** Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg

**Ambato- Ecuador**

**2020**

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería  
Civil y Mecánica.**

El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg., Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 GR C UTILIZADO EN CARROCERÍAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS” elaborado y presentado por el señor: Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica con mención en Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.  
Presidente del Tribunal



Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.  
Miembro del Tribunal



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg  
Miembro del Tribunal

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 GR C UTILIZADO EN CARROCERÍAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS” le corresponde exclusivamente al Ingeniero Luis Roberto Carrasco Carrasco, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco

C.C. 1804784237

**AUTOR**



Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg

C.C. 1803100898

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



---

Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco  
C.C. 1804784237

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedico a Dios por haberme brindado la oportunidad de existir y darme la alegría para superarme día a día. A mis padres Luis y Rosario por el apoyo moral, espiritual, afectivo, económico y por sus enseñanzas y consejos que me permitieron perseverar y seguir adelante sin rendirme. A mis hermanos: Omar, Xavier, Jessica, Jonathan y Thalía por su apoyo y por los momentos significativos compartidos. A amigos, compañeros y docentes y que me apoyaron en la realización de este trabajo académico.*

*Luis Carrasco*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a la Universidad Técnica de  
Ambato a sus autoridades, a la  
Facultad de Ingeniería Civil y  
Mecánica, a los directores a todos los  
docentes que impartieron sus  
conocimientos a lo largo de la  
maestría,*

*Al Ing. Gonzalo López por su tutoría  
en la tesis y ese ávido y altruista  
interés de enseñar.*

*A mis Padres y hermanos por el apoyo  
incondicional brindado durante todo  
este tiempo, pilar importante para la  
cristalización de esta meta.*

# ÍNDICE GENERAL

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.....	II
Autoría de la investigación.....	III
Derechos de autor.....	IV
Dedicatoria .....	V
Agradecimiento.....	VI
Índice general.....	VII
Índice de Figuras .....	XII
Índice de Tablas .....	XVII
Resumen ejecutivo .....	XIX
Introducción .....	XXI
CAPÍTULO I.....	1
1.    EL PROBLEMA .....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico .....	2
1.2.3 Prognosis .....	3
1.2.4 Formulación del problema .....	3
1.2.5 Preguntas directrices .....	3
1.2.6 Delimitación del problema.....	4
1.3 Justificación .....	4
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 General .....	5
1.4.2 Específicos .....	5
CAPÍTULO II .....	6
2.    MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes Investigativos.....	6
2.2 Fundamentación teórica .....	9

2.2.1 Propiedades de los aceros.....	9
2.2.2 Ensayo de tracción .....	9
2.2.3 Clasificación de los aceros por composición química .....	11
2.2.4 Aceros estructurales .....	12
2.2.5 Aceros de alta resistencia y baja aleación HSLA.....	13
2.2.6 Efectos del calor localizado .....	14
2.2.7 Grados de acero para secciones estructurales huecas y tubos.....	15
2.2.8 Soldadura en aceros de baja aleación y alta resistencia a la tracción.....	17
2.2.9 Soldabilidad.....	18
2.2.10 Electrodo para soldar estos tipos de acero.....	18
2.3 Fundamentación Filosófica .....	18
2.4 Fundamentación legal .....	18
2.5 Categorías fundamentales .....	20
2.6 Hipótesis.....	20
2.7 Señalamiento de variables.....	20
2.7.1 Variable independiente.....	20
2.7.2 Variable dependiente.....	21
2.7.3 Término de relación .....	21
CAPÍTULO III .....	22
3.    METODOLOGÍA .....	22
3.1 Enfoque .....	22
3.2 Modalidad Básica de la investigación.....	22
3.2.1 Investigación Experimental.....	22
3.2.2 Investigación Bibliográfica. ....	22
3.3 Nivel o tipo de investigación .....	23
3.3.1 Investigación descriptiva.....	23
3.3.2 Investigación correlacional .....	23
3.4 Población y muestra .....	23
3.5 Operacionalización de variables .....	25
3.5.1 Variable Independiente .....	25
3.5.2 Variable Dependiente.....	26



3.6 Recolección de la información.....	27
3.7 Procesamiento y análisis .....	28
CAPÍTULO IV.....	30
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	30
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	30
4.1.1 Características técnicas del material de soldadura.....	31
4.1.2 Normativa para el análisis de tracción .....	34
4.1.3 Ensayo de tracción material base sin soldaduras .....	40
4.1.4 Ensayo de tracción material base con soldadura a tope y electrodo E6011.....	55
4.1.5 Ensayo de tracción material base con soldadura a tope y electrodo ER70S-6..	70
4.2 Interpretación de datos .....	85
4.2.1 Curva promedio para el diagrama esfuerzo-deformación de las probetas de material base sin soldadura.....	85
4.2.2 Curva promedio para el diagrama esfuerzo-deformación de las probetas de material base con soldadura de electrodo E6011.....	87
4.2.3 Curva promedio para el diagrama esfuerzo-deformación de las probetas de material base con soldadura de electrodo ER70S-6.....	88
4.2.4 Propiedades mecánicas promedio para las probetas de material base (ASTM A500) sin soldadura.....	90
4.2.5 Propiedades mecánicas promedio para las probetas de material base (ASTM A500) con soldadura de electrodo E6011.....	93
4.2.6 Propiedades mecánicas promedio para las probetas de material base (ASTM A500) con soldadura de electrodo ER70S-6.....	96
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	99
CAPÍTULO V .....	101
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
5.1 CONCLUSIONES .....	101
5.2 RECOMENDACIONES .....	103
CAPÍTULO VI.....	104
6. PROPUESTA.....	104
6.1 Datos informativos.....	104

6.1.1 Título.....	104
6.1.2 Beneficiario.....	104
6.1.3 Ubicación.....	104
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	104
6.3 Justificación.....	106
6.4 Objetivos.....	106
6.4.1 General.....	106
6.4.2 Específicos.....	106
6.5 Análisis de factibilidad.....	107
6.6 Fundamentación.....	107
6.6.1 Normativa definición de cargas y parámetros de diseño.....	107
6.6.2 Materiales utilizados en la construcción de carrocerías de bus en el ecuador.....	109
6.6.3 Dimensiones del frente de la carrocería de bus interprovincial.....	110
6.6.4 Construcción del modelo del frente del bus.....	110
6.6.5 Análisis de la geometría.....	112
6.6.6 Análisis de la estructura sin afectación de la soldadura.....	113
6.6.7 Análisis de la estructura en la zona soldada E6011.....	121
6.6.8 Análisis de la estructura en la zona de soldadura ER70S-6.....	130
6.7 Metodología.....	138
6.7.1 Adquisición del material para en estudio.....	139
6.7.2 Preparación de material para las probetas.....	140
6.7.3 Soldadura del material.....	142
6.7.4 Corte de las probetas.....	143
6.7.5 Ensayo de tracción.....	145
6.7.6 Resultados.....	148
6.7.7 Análisis de los resultados.....	149
6.7.8 Modelación del frontal del autobús.....	150
6.7.9 Asignación de propiedades en zona soldada.....	152
6.7.10 Ejecución del programa de simulación de impacto.....	154
6.7.11 Análisis de resultados.....	157
6.8 Administración.....	158

6.8.1 Costos directos .....	158
6.8.2 Costos Indirectos .....	159
6.8.3 Costo total .....	159
6.9 Conclusiones de la propuesta .....	160
6.10 Previsión de la evaluación.....	161
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>162</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>164</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Microestructura de la zona sodada. ....	8
Figura 2-2: Esquema de una máquina para ensayo de tracción. ....	10
Figura 2-3: Curva Esfuerzo -Deformación .....	10
Figura 2-4 Estructura de acero. ....	13
Figura 2-5: Aceros más utilizados en la fabricación de carrocerías de automóviles. 14	
Figura 2-6: Zona afectada térmicamente por la soldadura.....	15
Figura 2-7: Categorías fundamentales .....	20
Figura 4-1: Tipos de posiciones de soldadura.....	34
Figura 4-2 Modelo probeta ensayo tracción.....	34
Figura 4-3 Valores y espesores aplicados según la norma ASTM E8 donde se analiza en base a las diferentes probetas a ser ensayadas.....	35
Figura 4-4 Modelo probeta ensayo tracción.....	36
Figura 4-5 Gráfica Esfuerzo-Deformación unitaria probeta N°1 .....	41
Figura 4-6 Gráfica Esfuerzo-Deformación probeta N°1 .....	42
Figura 4-7 Curva Esfuerzo-Deformación unitaria dada por la máquina de ensayos . 42	
Figura 4-8 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°2....	44
Figura 4-9 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria probeta N°2. ....	45
Figura 4-10 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina de ensayos.....	45
Figura 4-11 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°3..	48
Figura 4-12 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°3. ..	48
Figura 4-13 Curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina de ensayos.....	48
Figura 4-14 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°4..	50
Figura 4-15 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°4 ...	51
Figura 4-16 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	51
Figura 4-17 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°5. ..	53
Figura 4-18 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°5..	54
Figura 4-19 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	54
Figura 4-20 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°6. ....	56
Figura 4-21 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación [mm/mm] probeta N°6. ....	57
Figura 4-22 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	57

Figura 4-23 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°7. ..	59
Figura 4-24 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°7. ....	60
Figura 4-25 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	60
Figura 4-26 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°8. ....	62
Figura 4-27 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°8. ....	63
Figura 4-28 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	63
Figura 4-29 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°9. ....	65
Figura 4-30 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°9. ....	66
Figura 4-31 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	66
Figura 4-32 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°10. ....	68
Figura 4-33 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°10. ....	69
Figura 4-34 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	69
Figura 4-35 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°11. ....	72
Figura 4-36 Gráfica Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°11. ....	72
Figura 4-37 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	72
Figura 4-38 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°12. ....	74
Figura 4-39 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°12. ....	75
Figura 4-40 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	75
Figura 4-41 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°13. ....	77
Figura 4-42 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°13. ....	78
Figura 4-43 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	78
Figura 4-44 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta °14. ....	80
Figura 4-45 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°14. ....	81
Figura 4-46 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	81
Figura 4-47 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°15. ....	83
Figura 4-48 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°15. ....	84
Figura 4-49 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina. ....	84
Figura 4-50 Gráfica de la curva promedio Esfuerzo-Deformación para las placas de material base sin soldadura .....	86
Figura 4-51 Gráfica de la curva promedio Esfuerzo-Deformación para las placas con soldadura de electrodo E6011. ....	88
Figura 4-52 Gráfica de la curva promedio Esfuerzo-Deformación para las placas de material base con soldadura de electrodo ER70S-6. ....	88

Figura 4-53 Módulo de elasticidad para las placas de acero ASTM A500 y su promedio. ....	90
Figura 4-54 Esfuerzo de fluencia para las placas de acero ASTM A500 y su promedio. ....	91
Figura 4-55 Esfuerzo máximo para las placas de acero ASTM A500 y su promedio. ....	91
Figura 4-56 Porcentaje de elongación para las placas de acero ASTM A500 y su promedio. ....	92
Figura 4-57 Curvas de placas de acero ASTM A500 sin soldadura. ....	92
Figura 4-58 Módulo de elasticidad para las placas de acero ASTM A500 con soldadura E6011 y su promedio. ....	94
Figura 4-59 Esfuerzo de fluencia para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y su promedio. ....	94
Figura 4-60 Esfuerzo máximo para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y su promedio. ....	95
Figura 4-61 Porcentaje de elongación para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y su promedio. ....	95
Figura 4-62 Módulo de elasticidad para las placas de acero ASTM A500 con soldadura ER70S-6 y su promedio. ....	97
Figura 4-63 Esfuerzo de fluencia para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6 y su promedio. ....	97
Figura 4-64 Esfuerzo máximo para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6 y su promedio. ....	98
Figura 4-65 Porcentaje de elongación para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6 y su promedio. ....	98
Figura 6-1: Medidas estándar de un bus interprovincial. ....	110
Figura 6-2: Estructura de la carrocería interprovincial. ....	111
Figura 6-3: Sección frontal del bus. ....	112
Figura 6-4: Pared rígida para impacto de sección frontal del bus. ....	113
Figura 6-5: Material ASTM A500. ....	114
Figura 6-6: Material ASTM A500 Esfuerzo deformación. ....	114
Figura 6-7: Material ASTM A500. ....	115
Figura 6-8: Mallado sin soldadura. ....	115

Figura 6-9: Ubicación de los elementos (21151, 23258, 25350) .....	118
Figura 6-10: Esfuerzo en los elementos (21151, 23258, 25350) .....	119
Figura 6-11: Deformación plástica 25350.....	119
Figura 6-12 Variación de energía cinética e interna impacto frontal a 90 km/h.....	120
Figura 6-13 Curva de energía hourglass. ....	120
Figura 6-14 Comparación de Curva de energía hourglass e interna .....	121
Figura 6-15: Juntas de soldadura analizar.....	122
Figura 6-16: Material ASTM A500 + Electrodo E6011 .....	123
Figura 6-17: Material ASTM A500 Esfuerzo deformación.....	123
Figura 6-18: Mallado de la estructura del frente del bus interprovincial. ....	124
Figura 6-19: Mallado pared rígida. ....	124
Figura 6-20: Calidad de mallado.....	125
Figura 6-21: Ubicación de los elementos (22689, 28536, 21722) .....	127
Figura 6-22: Esfuerzos en los elementos (22689,28536,21722).....	128
Figura 6-23 Deformación plástica efectiva en el elemento N° 28536.....	128
Figura 6-24 Variación de energía cinética e interna impacto frontal a 90 km/h.....	129
Figura 6-25 Curva de energía hourglass. ....	129
Figura 6-26 Curva de energía hourglass. ....	130
Figura 6-27: Material ASTM A500 + Electrodo ER70S-6.....	131
Figura 6-28: Material ASTM A500 + ER70S-6 Esfuerzo deformación.....	131
Figura 6-29: Ubicación de los elementos (22689, 28536, 21722) .....	134
Figura 6-30: Esfuerzos en los elementos (21649,27973,23673).....	135
Figura 6-31 Deformación plástica efectiva en el elemento N° 21649.....	135
Figura 6-32 Variación de energía cinética e interna impacto frontal a 90 km/h.....	136
Figura 6-33 Curva de energía hourglass. ....	136
Figura 6-34 Curva de energía hourglass. ....	137
Figura 6-35 Ficha técnica del material.....	139
Figura 6-36 Corte longitudinal del tubo cuadrado. ....	140
Figura 6-37 Corte a la longitud de cada probeta. ....	140
Figura 6-38 Placas cortadas a la longitud de cada probeta. ....	141
Figura 6-39 Corte de las placas para soldadura a tope.....	141
Figura 6-40 Soldadura del material.....	142
Figura 6-41 Soldadura a tope las placas.....	142

Figura 6-42 Maquinado de las probetas. ....	143
Figura 6-43 Probetas maquinadas por grupo. ....	143
Figura 6-44 Numeración de las probetas. ....	144
Figura 6-45 Cada grupo de probetas para el ensayo. ....	144
Figura 6-46 Marcación de las probetas para ubicar el deformímetro en la zona central de la soldadura.....	145
Figura 6-47 Ensayo de tracción.....	145
Figura 6-48 Ubicación del deformímetro y aplicación de carga.....	146
Figura 6-49 Deformación de la probeta antes de romperse. Se puede observar que la ruptura será en cono y copa.....	146
Figura 6-50 Probetas después dl ensayo de tracción.....	147
Figura 6-51 Formato de los resultados del ensayo a tracción. ....	148
Figura 6-52 Modelación del frontal del bus y pared rígida.....	150
Figura 6-53 Vista isométrica frente de carrocería del bus para ensayo de impacto frontal. ....	151
Figura 6-54 Asignación de propiedades en ANSYS.....	151
Figura 6-55 Zona de afectación térmica de la soldadura para el análisis.....	152
Figura 6-56 Asignación de propiedades promedio a la zona soldado obtenidas mediante el ensayo de tracción. ....	152
Figura 6-57 Curva promedia para la zona soldada.....	153
Figura 6-58 Frente de carrocería de bus a instantes del impacto. ....	154
Figura 6-59 Deformación durante el impacto. ....	155
Figura 6-60 Deformación total del frente de carrocería. ....	156
Figura 6-61 Vista fontal de la deformación por impacto. ....	157
Figura 6-62 Esfuerzos máximos en la estructura y en la zona de soldadura.....	157



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Clasificación de los aceros sistemas AISI-SAE y UNS. ....	12
Tabla 2-2 Aceros HSLA y sus usos más frecuentes. ....	16
Tabla 2-3 Correlación de las NMX y ASTM de aceros estructurales.....	17
Tabla 3-1 Probetas para el ensayo de tracción. ....	24
Tabla 3-2: Variable independiente .....	25
Tabla 3-3: Variable dependiente.....	26
Tabla 4-1: Composición del material soldado .....	31
Tabla 4-2: Características del material.....	32
Tabla 4-3: Tipos de electrodos y amperajes.....	32
Tabla 4-4: Propiedades del alambre .....	33
Tabla 4-5: Propiedades mecánicas .....	33
Tabla 4-6: Parámetros de soldadura.....	33
Tabla 4-7: dimensiones para las probetas según Norma ASTM E8 .....	36
Tabla 4-8 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°1 sin soldadura. ....	41
Tabla 4-9 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°2 sin soldadura. ....	44
Tabla 4-10 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°3 sin soldadura. ....	47
Tabla 4-11 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°4 sin soldadura. ....	50
Tabla 4-12 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°5 sin soldadura. ....	53
Tabla 4-13 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°6 con soldadura E6011..	56
Tabla 4-14 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°7 con soldadura E6011..	59
Tabla 4-15 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°8 con soldadura E6011..	62
Tabla 4-16 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°9 con soldadura E6011..	65
Tabla 4-17 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°10 con soldadura E6011. .....	68
Tabla 4-18 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°11 soldadura ER70S-6..	71
Tabla 4-19 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°12 soldadura ER70S-6..	74
Tabla 4-20 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°13 soldadura ER70S-6..	77
Tabla 4-21 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°14 soldadura ER70S-6..	80
Tabla 4-22 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°15 soldadura ER70S-6..	83
Tabla 4-23 Datos de la curva promedio de la gráfica Esfuerzo-Deformación para las placas de material base sin soldadura.....	85

Tabla 4-24 Datos de la curva promedio de la gráfica Esfuerzo-Deformación para las placas de material base con soldadura de electrodo E6011. ....	87
Tabla 4-25 Datos de la curva promedio de la gráfica Esfuerzo-Deformación para las placas de material base con soldadura de electrodo ER70S-6.....	89
Tabla 4-26 Tabla de propiedades promedio para las probetas de acero ASTM A500 .....	90
Tabla 4-27 Tabla de propiedades promedio para las probetas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011. ....	93
Tabla 4-28 Tabla de propiedades promedio para las probetas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6.....	96
Tabla 4-29 Tabla de propiedades y sus porcentajes de variación con respecto al material base.....	99
Tabla 6-1: materiales utilizado en carrocerías .....	110
Tabla 6-2 Tabla de resultados y porcentajes de variación de las propiedades.....	149
Tabla 6-3 Costos Directos.....	158
Tabla 6-4. Costos indirectos.....	159
Tabla 6-5. Costos varios.....	159
Tabla 6-6 Costo total.....	159

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Esta investigación trata de definir la influencia del calor aportado por el proceso de soldadura de la carrocería de un autobús en las propiedades del material y su capacidad de resistencia al impacto, y para ello se empezó con la realización de ensayos del acero ASTM A500 sin soldadura, luego se realizó el ensayo con soldadura central de electrodo E6011 y con electrodo ER70S-6 midiendo la deformación con una longitud inicial de 100mm. Se puede comprobar efectivamente que el proceso de soldadura sí afecta a las propiedades del material. La propiedad más afectada fue el módulo de elasticidad con un cambio que superó el 80 por ciento, lo que significa que el proceso de soldadura modificó el material haciéndolo más rígido y frágil debido al cambio de temperatura y a la velocidad de enfriamiento. El esfuerzo de fluencia del material en la zona soldada disminuyó hasta un 10 por ciento lo que reduce también el factor de seguridad en esta zona. Seguido de esto se modeló y se realizó la simulación de impacto del frente de la carrocería del bus utilizando los resultados de los ensayos en la zona de soldadura. Los resultados de la simulación permitieron identificar las zonas donde se producen los mayores esfuerzos, estos se ubicaron en la zona del para choque frontal cerca de las uniones soldadas, pero no sobre las soldaduras. El esfuerzo en estas zonas sobrepasó el máximo esfuerzo de fluencia, pero las deformaciones porcentuales fueron menores a los ensayos sin llegar a romperse la estructura.

### **PALABRAS CLAVE:**

Acero ASTM A500, Propiedades mecánicas, Soldadura, Frente de carrocería, análisis de impacto.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

This research is intended to define the influence of the heat contributed by the welding process of the bus bodywork on the properties of the material and its capacity of resistance to impact, and for this purpose it began with the testing of ASTM A500 steel without welding. Then, the test was carried out with the E6011 electrode central weld and with the ER70S-6 electrode, measuring the deformation with an initial length of 100mm. It can be effectively verified that the welding process does affect the properties of the material. The most affected property was the modulus of elasticity with a change that exceeded 80 percent, which means that the welding process modified the material making it more rigid and brittle due to the change in temperature and the cooling rate. The yield stress of the material in the welded area decreased to 10 percent, which also reduces the safety factor in this area. Following this, the impact simulation of the front of the bus bodywork was modeled and performed by using the results of the tests in the welding area. The simulation results allowed to identify the areas where the greatest stresses occur, these were located in the area of the frontal collision near the welded joints, but not on the welds. The stress in these areas exceeded the maximum yield stress, but the percentage deformations were less than the tests without breaking the structure.

### **KEY WORDS:**

ASTM A500 Steel, Mechanical Properties, Welding, Bodywork Front, Impact Analysis.

## INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos de la Comisión Nacional de Tránsito siempre están enfocados en reducir al máximo los accidentes y las lesiones que se generen en las personas a causa de estos. Para ello se ha creado parámetros a cumplir mediante la norma INEN, para que las carrocerías garanticen la integridad de las personas en caso de accidente.

Siempre que se hable de aumentar la seguridad de un auto ante un choque y de reducir el riesgo de las personas a sufrir graves lesiones, en un pequeño o en un gran porcentaje, esas modificaciones que se realicen estarán muy bien justificadas dentro de un costo razonable. Para ello se plantea la necesidad de esta investigación, realizada de la siguiente manera:

En el Capítulo I se plantea el problema, que consiste en la necesidad de conocer cómo afecta el calor de la soldadura de la carrocería a la resistencia del material, donde se pone en contexto el problema en una visión macro, meso y micro analizando los diferentes procedimientos de soldadura y materiales más utilizados para la construcción de carrocerías. El material ASTM A500 es el más utilizado localmente donde se utilizan tanto la soldadura con electrodo E6011 y ER70S-6. Se definen en este capítulo el objetivo principal de la investigación que consiste en: Estudiar la influencia del proceso de soldadura del acero ASTM A500 utilizado en carrocerías de buses sobre su resistencia. Y donde a través de los objetivos específicos se limitan las propiedades a evaluar como son: La variación del módulo de elasticidad, la afectación de la soldadura a la resistencia a la fluencia, la afectación a la resistencia máxima a la tracción del material y el porcentaje de deformación.

En el Capítulo II se fundamenta el trabajo mediante la investigación bibliográfica de trabajos similares como: El estudio de los materiales más utilizados nacionalmente para la construcción de carrocerías, el efecto del calor aportado por la soldadura en el acero microaleado para cañerías y la zona de afectación térmica por la soldadura. La fundamentación teórica se la realizó en función a las categorías fundamentales revisando aspectos como: El ensayo a tracción en materiales metálicos, normas y clasificación de los aceros, aceros de alta resistencia y baja aleación, efectos del calor localizado en aceros y soldabilidad. El planteamiento de la hipótesis se formuló de la

siguiente manera: El proceso de soldadura del acero ASTM A500Gr C de la carrocería si tiene una afectación importante sobre la resistencia final del material.

En el Capítulo III se describe la modalidad, nivel y tipo de investigación. La población y muestra en esta investigación y el número de repeticiones por experimento se definió en cinco, tomando en cuenta el tipo de ensayo, la cantidad de material y la experiencia docente del tutor en este tipo de análisis para obtener la máxima cantidad de información al menor costo posible. La matriz del experimento es: Cinco probetas para ensayo a tracción del material base de acero ASTM A500 sin soldaduras, cinco probetas para el análisis a tracción del acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y cinco probetas para ensayo atracción con soldadura de electrodo ER70S-6. La operacionalización de variables se definió en base a las dos variables; Independiente: Proceso de soldadura del acero ASTM A500 Gr C utilizado en la fabricación de carrocerías. Y Variable Dependiente: Influencia sobre la resistencia final del material. Utilizando las técnicas e instrumentos como: Ensayo de tracción, Norma ASTM E8, Norma AWS B4.0 (Placas soldadas), ficha de datos, observación y programas de simulación.

En el Capítulo IV se empezó con definir las características técnicas de los materiales de aporte de los electrodos E6011 y ER70S-6 con sus composiciones químicas y usos más comunes. La normativa utilizada para el ensayo de tracción fue la normativa ASTM E8 y la AWS B4.0 para placas soldadas. El ensayo se empezó con las cinco probetas de material base de acero ASTM A500 sin soldadura y los resultados de cada una se muestran en una ficha técnica. De igual manera se hizo para las cinco probetas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y para las cinco probetas con soldadura de electrodo ER70S-6 donde los resultados de cada una se muestran en una ficha técnica. En la interpretación de datos se definió la curva promedio para cada grupo de probetas calculando la media aritmética del esfuerzo y la deformación. Las propiedades promedio de cada grupo de probetas se las definió con la media aritmética de cada propiedad. En la tabla 4-29 se puede observar que el proceso de soldadura del acero ASTM A500Gr C de la carrocería efectivamente si tiene una afectación importante sobre la resistencia final del material especialmente sobre el módulo de elasticidad que en el caso del acero soldado con el electrodo E6011 la variación es del 80,22% y para el caso de las probetas soldadas con el electrodo ER70S-6 la variación

llega alcanzar el 87,45%. La segunda propiedad más afectada por el proceso de soldadura es el porcentaje de elongación del material que para el caso de las placas soldadas con el electrodo E6011 la variación es de -34,36% y para las placas soldadas con ER70S-6 la variación es de -25,10%. Verificando de esta manera la hipótesis.

En el Capítulo V se determinó que el proceso de soldadura del acero ASTM A500 Gr C utilizado en carrocerías de buses si tiene un efecto importante sobre el material especialmente sobre el módulo de elasticidad. El incremento importante para el módulo de elasticidad de las placas soldadas manifiesta que el material en la zona soldada se volvió más rígido que en la zona sin soldadura debido a los cambios bruscos de temperatura y a la velocidad de enfriamiento. Se tuvo también una variación importante sobre el esfuerzo de fluencia en las placas soldadas con respecto al material base. Durante el proceso de soldadura del material se recomienda tener sumo cuidado en la velocidad de enfriamiento, ya que debido a este proceso se puede modificar de manera importante el módulo de elasticidad del material, reduciendo su ductilidad y haciéndolo más frágil.

En el Capítulo 6 se define analizar la resistencia al impacto frontal de un bus tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos. Se apoya la propuesta en base a la Norma INEN 1323. Se realizó un modelo estándar de frente de bus para simular el impacto con una pared rígida, se asignó las propiedades del material en base a los ensayos realizados. Para la simulación de la zona soldada se definió las propiedades de las probetas soldadas con electrodo E6011 y con electrodo ER70S-6.

La velocidad de impacto es la permitida para buses interprovinciales por la (ANT) (Agencia Nacional de Transito) para nuestro estudio es de 90km/h en el software se ingresa el valor de 25000 mm/s. La pared es rígida por lo que no sufre ninguna

Se realizó tres análisis para cada grupo de probetas, una con el material acero ASTM A500, otra con el acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y otra con electrodo ER70S-6.

Mediante las tres simulaciones de impacto de la zona frontal de la estructura del autobús utilizando los resultados del ensayo de las probetas de material base de acero ASTM A500 sin soldadura, ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6, se pudo determinar las zonas y la cantidad

de esfuerzo que se producen al momento del impacto y el comportamiento de las soldaduras en estas condiciones. Se observó que al momento del impacto del frontal de la carrocería se producen esfuerzos muy altos, pero estos no están en las zonas de soldadura de la estructura por lo que a pesar de que en las zonas soldadas se tiene una afectación en las propiedades y resistencia al momento del impacto estas zonas no se rompen debido a que los esfuerzos máximos no están en esa zona.



# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 TEMA**

“ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 GR C UTILIZADO EN CARROCEÍAS DE BUSES Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

En la década de los ochenta la industria automovilística mundial tuvo una revolución con la aparición de los aceros llamados HSLA (High Strength Low Alloy), Alta resistencia Baja aleación. Que permitieron reducir el peso de los automóviles hasta un 35% debido a que el límite de elasticidad de estos aceros podía alcanzar valores de 550MPa en comparación a los aceros tradicionales que alcanzaban los 300MPa, de esta manera mejorando sustancialmente la resistencia al impacto y a la torsión de la carrocería en caso de accidente. El problema a la hora de seleccionar un material para la fabricación de carrocerías era encontrar un material que pueda alcanzar altos niveles de resistencia y buena ductilidad al mismo tiempo. En el caso de los aceros al carbono, si aumentamos el porcentaje de este elemento aliante podemos obtener mejores valores de resistencia mecánica, pero a la vez aumentamos la rigidez del material disminuyendo así las propiedades plásticas de este. Las características más importantes de estos aceros es su elevada ductilidad y resistencia, la microestructura con un grano fino, su bajo contenido de carbono, además de combinar excelentes propiedades funcionales como una buena soldabilidad, buena capacidad de aplicar recubrimientos anticorrosivos, buena confortabilidad, entre otras. Su endurecimiento es debido a la pureza interna y controlada y la estructura de grano fino, lo que garantiza sus excelentes niveles de resistencia mecánica. En los últimos años varias compañías alrededor del mundo ya utilizan estos aceros para la fabricación de sus carrocerías entre las más grandes esta Toyota. El acero mediante la adición de micro liantes como el cromo,

boro, manganeso y posteriores tratamientos térmicos dan como resultado exentes valores de resistencia al choque e impacto [1].

En la industria local la mayoría de las empresas usan el acero ASTM A36 como material estructural, su criterio de selección se basa en las características técnicas del material en combinación con los costos y disponibilidad, También se utilizan en combinación con haceros HSLA como el ASTM A242 Gr 4-5, ASTM A500 Gr C, ASTM A514 Gr B, y el ASTM A572 Gr 50 siendo el ASTM A500 Gr C uno de los más utilizados localmente. El acero A36, posee una buena ductilidad, pero debido a su baja resistencia es necesario aumentar el grosor de los elementos que consecuentemente aumenta el peso general de la carrocería. El HSLA se encuentra principalmente en las zonas de impacto del vehículo, siendo su función principal absorber la energía del impacto en caso de choque y evitar que esta energía se transfiera a la zona de pasajeros. También poseen una alta resistencia al desplazamiento que al momento de un impacto se arrugan absorbiendo la energía [2].

Los procesos más utilizados para la realización de las soldaduras son el GMAW y SMAW, donde la mayoría de las empresas tiene conocimiento acerca del electrodo a utilizar, siendo el E6011 el más utilizado en SMAW y el ER70S-6 el único en el proceso GMAW [1].

La soldadura es un proceso que produce una zona afectada térmicamente (ZAT), en sus alrededores, esto provoca endurecimiento, distorsiones térmicas, deformaciones, manchas y rebabas de material [3].

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

El acero ASTM A500 Gr C es un acero de alta resistencia y excelente ductilidad, que lo hace un material excelente para ser utilizado en la fabricación de carrocerías para buses. Sin embargo, debido a su característica en la fabricación en donde para conseguir esas propiedades es necesario la utilización de elementos aliantes, procesos especiales para alcanzar una buena pureza del material y procesos térmicos para afinar el grano de su micro estructura, es un material que es muy sucesible a cambiar sus propiedades mecánicas, debido a los procesos utilizado en la fabricación de carrocerías especialmente el proceso de soldadura. Todos estos son factores que pueden influir de manera sustancial en la ductilidad y resistencia de este material. Las propiedades de resistencia y ductilidad son precisamente las características más importantes por las

que se utiliza este material en la fabricación de carrocerías y en el proceso de soldadura se pueden alterar esas propiedades de manera sustancial, y estaremos afectando consecuentemente a la resistencia final de la carrocería haciendo inútil la inversión en la utilización de este material.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

Existen procesos en la fabricación de la estructura de la carrocería donde se afectan las propiedades mecánicas del material. El proceso de soldadura es el más crítico, donde es necesario elevar la temperatura del material para poderlo unirlo a otro, donde se pueden generar esfuerzos residuales. Esta afectación fragiliza esas zonas de la estructura que generalmente son zonas críticas donde el material debe comportarse de manera óptima. Por ende, si no se realizará esta investigación estaremos ignorando la influencia que tienen estos procesos sobre el comportamiento real de la estructura.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El estudio de la influencia de la soldadura en las propiedades mecánicas del acero ASTM A500 utilizado en la fabricación de carrocerías de buses permitirá conocer la afectación de este proceso sobre la resistencia final de la estructura?

### **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Cuáles son los procesos de soldadura más utilizados en la fabricación de carrocerías de autobuses?

¿Cuál es el módulo de elasticidad del material en la zona afectada térmicamente por el proceso de soldadura?

¿Cómo afecta la soldadura a la resistencia a la fluencia del material en la zona de afectación térmica?

¿Cómo es la afectación del proceso de soldadura a la resistencia última del material en la zona de afectación térmica?

¿Cómo influye el proceso de soldadura sobre la resistencia al impacto frontal de la estructura de la carrocería de un bus?

## **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1 Delimitación de contenidos**

El presente estudio se fundamentó en el campo de la “Maestría en Diseño Mecánico” en el área de materiales, con los módulos de: Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos, Diagnostico Industrial, Modelación de sistemas mecánicos y Diseño por elemento finito.

### **1.2.6.2 Delimitación espacial**

La presente investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, Laboratorios de materiales y de ensayos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

### **1.2.6.3 Delimitación temporal**

El presente estudio se desarrolló en los meses comprendidos entre Julio del 2019 a julio del 2020.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El proyecto plantea la necesidad de conocer cómo afecta el proceso de soldadura sobre las propiedades mecánicas de resistencia del acero ASTM A500. Siendo la soldadura un proceso que produce una zona de afectación térmicamente, además de otros inconvenientes como, distorsiones, agrietamientos, endurecimientos, una gran formación de escoria, es necesario conocer el impacto del proceso sobre la resistencia real de la carrocería. Debido a las características propias del material ASTM A500, que, para alcanzar una alta resistencia sin la adición de un porcentaje alto de carbono en su composición química, se utilizan varios procesos especiales y tratamientos térmicos, y puede ser muy susceptible de sufrir cambios importantes en su microestructura y afectar directamente a la resistencia mecánica de este, y consecuentemente a la resistencia final de la estructura.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 GENERAL**

- Estudiar la influencia del proceso de soldadura del acero ASTM A500 Gr C utilizado en carrocerías de buses sobre su resistencia mecánica.

### **1.4.2 ESPECÍFICOS**

- Conocer las características de los procesos de soldadura más utilizados en la fabricación de carrocerías de autobuses.
- Analizar la variación del módulo de elasticidad del material en la zona afectada térmicamente por el proceso de soldadura.
- Determinar la afectación de la soldadura a la resistencia a la fluencia del material en la zona de afectación térmica.
- Estudiar la afectación del proceso de soldadura a la resistencia máxima a la tracción del material en la zona de afectación térmica

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

**TESIS:** “ESTUDIO DE ACEROS ESTRUCTURALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA BUSES”

**Institución:** ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

**Autores:** Aranda Pazmiño Diego Oswaldo & Dután Aman Verónica Patricia.

El material más empleado en la fabricación de estructuras para carrocerías metálicas es el acero ASTM A36 debido a su disponibilidad en el mercado, a su costo. Al emplear un acero HSLA en la estructura de la carrocería, con su diseño adecuado, el peso del vehículo se reducirá, ya que por su alta resistencia se empleará menos material en comparación al que se utilizaría si se utilizara acero aliado normal. Se recomienda también el empleo de aceros de alta resistencia que tenga propiedades y composiciones similares para la fabricación de carrocerías, así como son el ASTM A588, ASTM 572 y ASTM A514, puesto que los beneficios obtenidos serán similares [4].

Es indispensable que las empresas carroceras no construyan sus perfiles, puesto que simplemente están llevando a cabo un proceso de doblado, sin una base técnica que garantice el cumplimiento de las características estructurales específicas en normas requeridas para esta aplicación [4].

**ARTÍCULO CIENTÍFICO:** EFECTO DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA SOBRE LAS PROPIEDADES DE UNIONES SOLDADAS DE ACEROS MICROALEADOS PARA CAÑERÍA

**Autores:** Mónica Zalazar, N. Mabel Ramini de Rissone, Estela S. Surian, Roberto Bruna, Esteban Baralla.

El objetivo del trabajo fue, en esta primera etapa, comparar las propiedades mecánicas y la microestructura del acero HIC, aleado al Nb-Ti-Cu-Ni, resistente a la corrosión,

con las del acero normal NOR, microaleado con Nb-V-Ti, ambos caracterizados mediante análisis químico, mediciones de dureza, estudios metalográficos y ensayos de tracción e impacto. Con el fin de establecer la temperatura de precalentamiento óptima se realizaron ensayos de soldabilidad Tekken a distintas temperaturas y de acuerdo con la Norma JIS Z 3158. Luego se llevaron a cabo soldaduras circunferenciales de cañerías fabricadas con ambos aceros diseñándose procedimientos para la utilización, por un lado, de electrodos revestidos (SMAW: shielded metal arc welding, electrodos de distintos proveedores) para todas las pasadas y por el otro, la primera pasada usando soldadura automática con alambre macizo bajo CO<sub>2</sub> (GMAW: gas metal arc welding) y el resto de las mismas con alambre tubular autoprotegido (FCAW-S: flux cored arc welding-selfshielded). Las soldaduras fueron calificadas de acuerdo con el Código API 1104. Los resultados de los análisis metalográficos y los ensayos mecánicos de tracción, dureza e impacto de las juntas soldadas revelaron la influencia de los consumibles de soldadura y del metal base en las propiedades de las uniones. Se observaron diferencias en las propiedades de las uniones soldadas con consumibles de igual especificación y distintos proveedores. De las diferentes combinaciones ensayadas se definieron valores óptimos para la soldadura de estos aceros [5].

### **Conclusiones**

- Todos los procedimientos pudieron calificarse satisfactoriamente en ambos aceros, de acuerdo con el Código API 1104, habiéndose utilizado una temperatura de precalentamiento de 75 °C, determinada a través de ensayos de soldabilidad Tekken, que responden a la norma JIS Z 3158. Todas las probetas soldadas alcanzaron los valores de resistencia a la tracción mínimos requeridos por el Código API 1104 para un acero API 5L X65, y las probetas soldadas con el acero NOR superaron los requisitos mínimos de tracción del Código API 1104 para un acero API 5L X70 [5].
- Las diferencias de composición química entre los dos aceros, basadas en un menor contenido de carbono, agregado de cobre y níquel, con menor P<sub>cm</sub> y C<sub>eq</sub>, del acero HIC, se vieron reflejadas en menores valores de propiedades de tracción y dureza de los aceros, conservándose en las ZAC una vez soldados con los distintos procedimientos [5].
- Para los dos aceros las probetas soldadas por el proceso FCAW-S presentaron los mayores valores de energía absorbida en el ensayo de impacto Charpy-V, mayores

incluso que los valores del MB, para ambos aceros. Las probetas soldadas con el acero HIC, con ambos procesos dieron valores de tenacidad mayores a las soldadas con el acero NOR [5].

- En todos los casos los valores de dureza de la ZAC no superaron los 22 HRc (248 Hv) que exigen [5].

**ARTÍCULO CIENTÍFICO: “EFECTO DEL CALOR APORTADO POR LA SOLDADURA EN UN ACERO MICROALEADO”.**

**Autores:** López Martínez Edgar, Campillo Illanes Bernardo Fabián, Garnica González Pedro, Vergara Hernández Héctor Javier.

Se estudió el efecto del calor aportado, suministrado por el proceso de soldadura, la gráfica 1 muestra la microestructura y en el perfil de micro durezas de la zona de la soldadura de un acero micro aleado experimental de alta resistencia. Se decidió utilizar el proceso de soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) para producir un arco eléctrico sobre una placa del acero microaleado bajo estudio para simular una soldadura de una pasada; con esto, se eliminó la variable del diseño de la junta. Para obtener una calidad alta de la soldadura, la antorcha de la soldadora fue implementada en una máquina de corte con plasma, con lo que se logró obtener una velocidad de soldadura y una distancia entre el electrodo y la placa constantes. El calor aportado por soldadura produjo una variedad de microestructuras, lo que se vio directamente reflejado en un ablandamiento de la zona afectada por el calor [6].

**Conclusiones:**

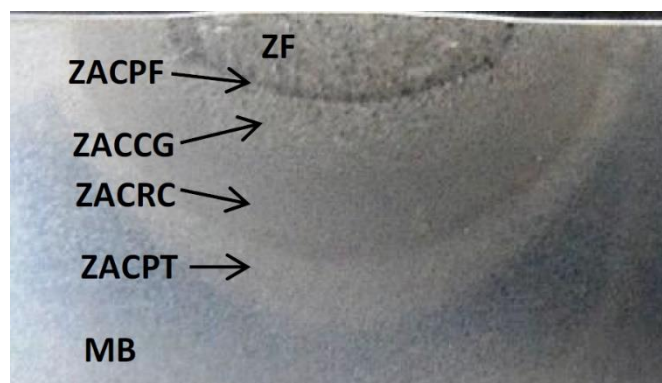


Figura 2-1 Microestructura de la zona sodada.  
Fuente: [6].



MB: metal base; ZACPT: subzona parcialmente transformada; ZACRC: subzona de recristalización; ZACCG: subzona de crecimiento de grano; ZACPF: subzona parcialmente fundida; ZF: zona de fusión. El calor aportado por el proceso de la soldadura provocó la formación de diversas microestructuras en la zona de la soldadura. En la ZACCG se formó martensita, bainita y ferrita Widmanstätten; en la ZACRC, se formó bainita, ferrita de borde de grano y ferrita poligonal; en la ZACPT, se formó ferrita de borde de grano, ferrita poligonal y ferrita acicular, además de martensita y bainita del material base. Adicionalmente, en la ZACCG, se presentó un tamaño de grano tres veces más grande que el que se presentó en la ZACRC. El efecto de estas microestructuras, se ve directamente en el perfil de microdurezas obtenidas, en donde se presentó un ablandamiento de la ZAC. Aunque en la ZACIC no se observa un cambio microestructural, se presentó un ablandamiento, lo cual se le puede atribuir a un ciclo térmico equivalente al de revenido de la martensita [6].

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.2.1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS**

#### **2.2.2 ENSAYO DE TRACCIÓN**

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo [7].

En la figura 2-2, se muestra el esquema de una máquina de ensayos. Este ensayo consiste en someter una muestra, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta [8].

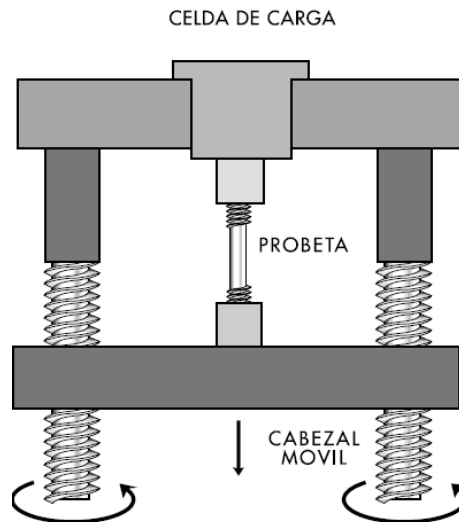


Figura 2-2: Esquema de una máquina para ensayo de tracción.  
Fuente: [9]

Con los resultados de la elongación de la probeta, se puede graficar una curva de carga contra alargamiento, que generalmente se registran como valores de esfuerzo y deformación unitarios, y son independientes de la geometría de la probeta. En la figura 2-3 se puede observar la gráfica del esquema esfuerzo- deformación del ensayo de tracción [7].

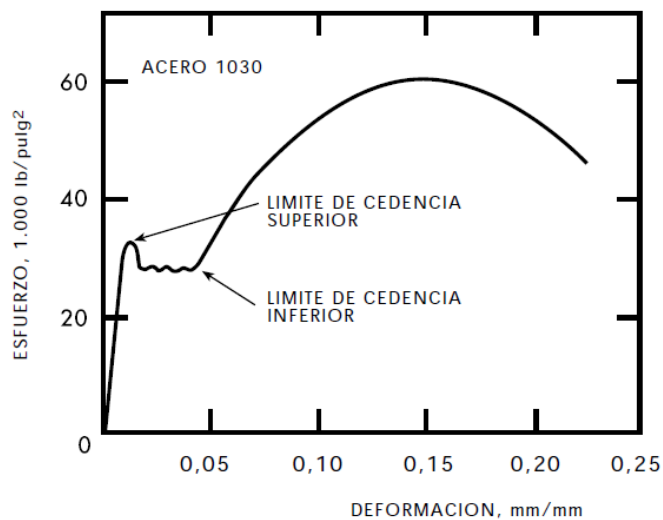


Figura 2-3: Curva Esfuerzo -Deformación  
Fuente: [8].

Al iniciarse el ensayo, el material se deforma elásticamente; esto significa que, si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, esto es, no recuperable. En otras palabras, el material no recupera su longitud inicial si se elimina la carga aplicada [7].

El esfuerzo alcanza su máximo en el valor de resistencia máxima a la tensión. En este valor de esfuerzo, se forma en la probeta una estricción o cuello, la cual es una reducción localizada en el área de la sección transversal, en la que se concentra todo el alargamiento posterior [7].

Una vez formado este cuello, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la probeta se rompe [8].

### **2.2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS POR COMPOSICIÓN QUÍMICA**

**Aceros al Carbono:** aquellos aceros en los que está presente el Carbono y los elementos residuales, como el Manganeso, Silicio, Fósforo y Azufre, en cantidades consideradas como normales [9].

**Aceros aleados de baja aleación:** aquellos aceros en que los elementos residuales están presentes arriba de cantidades normales, o donde están presentes nuevos elementos aleantes, cuya cantidad total no sobrepasa un valor determinado (normalmente un 3,0 al 3,5%). En este tipo de acero, la cantidad total de elementos aleantes no es suficiente para alterar la microestructura de los aceros resultantes, así como la naturaleza de los tratamientos térmicos a que deben ser sometidos [9].

**Aceros aleados de alta aleación:** aquellos aceros en que la cantidad total de elementos aleantes se encuentra, en el mínimo, de un 10 a 12%. En estas condiciones, no sólo la microestructura de los aceros correspondientes puede ser profundamente alterada, sino que igualmente los tratamientos térmicos comerciales sufren modificaciones, exigiendo técnicas, cuidados especiales y frecuentemente, múltiples operaciones [9].

**Aceros aleados de media aleación:** Aquellos aceros que pueden ser considerados un grupo intermedio entre los dos anteriores. En la Tabla 2-1, se puede observar la clasificación de los aceros sistemas según las normas AISI-SAE, y UNS [9].

Tabla 2-1 Clasificación de los aceros sistemas AISI-SAE y UNS.

Designación		TIPOS DE ACEROS
AISI-SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aceros al carbono comunes
11XX	G11XXX	Aceros, maquinables con alto S
12XX	G12XXX	Aceros, maquinables con alto P y S
13XX	G13XXX	Aceros al Manganeso, con 1,75% Mn
15XX	G15XXX	Aceros al Manganeso, con Mn sobre 1%
40XX	G40XXX	Aceros al Molibdeno, con 0,25% Mo
41XX	G41XXX	Aceros al Cromo-Molibdeno, con 0,40 a 1,1% Cr y 0,08 a 0,35% Mo
43XX	G43XXX	Aceros al Ni-Cr-Mo, con 1,65 a 2%, 0,4 a 0,9% Cr y 0,2 a 0,3% Mo
46XX	G46XXX	Aceros Ni-Mo, con 0,7 a 2% Ni y 0,15 a 0,3% Mo
47XX	G47XXX	Aceros Ni-Mo, con 3,25 Ni y 0,2 a 0,3% Mo
48XX	G48XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 1,05% Cr, 0,45% Cr y 0,2% Mo
51XX	G51XXX	Aceros al cromo, con 0,7 a 1,1% Cr
E51100	G51986	Aceros al cromo (horno eléctrico), con 1,0% Cr
E52100	G52986	Aceros al cromo (horno eléctrico), con 1,45% Cr
61XX	G61XXX	Aceros Cr-V, con 0,6 a 0,95% Cr y 0,1 a 0,15% V mínimo
86XX	G86XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5 % Cr y 0,2% Mo
87XX	G87XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5 % Cr y 0,25% Mo
88XX	G88XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,55% Ni, 0,5 % Cr y 0,3 a 0,4% Mo
9260	G92XXX	Aceros al silicio, con 1,8 a 2,2 % Si
50BXX	G50XXX	Aceros al Cr, con 0,2 a 0,6% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
51B60	G51601	Aceros al Cr, con 0,8% Cr y 0,0005 a 0,003% boro
81B45	G81B51	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,3% Ni, 0,45 % Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B
94BXX	G94XXX	Aceros Ni-Cr-Mo, con 0,45% Ni, 0,4 % Cr, 0,12% Mo y 0,0005 a 0,003% B

Fuente: [9].

## 2.2.4 ACEROS ESTRUCTURALES

Entre los materiales de construcción, como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería, en las estructuras, como se muestra en la figura 2.7 en construcción de puentes, edificios, etc. o sean móviles, en la industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica, etc [10].

De esta forma, los aceros al Carbono comunes, simplemente laminados y sin ningún tratamiento térmico, son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje dentro los aceros estructurales [10].

En otras aplicaciones, se exige una relación resistencia/peso más satisfactorio. Es el caso de la industria del transporte, en donde el equipo utilizado –camiones, buses,

equipo ferroviario, naval, etc.- debido a las condiciones propias del servicio, debe caracterizarse por un peso relativamente bajo y una alta resistencia. Esta condición es fundamental ya que estas estructuras están sujetas a esfuerzos e impactos severos, además de una resistencia a la corrosión adecuada [10].

Para todas estas aplicaciones, los aceros indicados son los de baja aleación, más conocidos como los de "alta resistencia y baja aleación". En la figura 2-4 se puede observar una estructura de acero [10].



Figura 2-4 Estructura de acero.

Fuente: [10].

De esta forma, se puede establecer la siguiente división de los aceros empleados en estructuras:

- Aceros al Carbono
- Aceros de alta resistencia y baja aleación [10].

### **2.2.5 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN HSLA**

De alta resistencia y baja aleación (HSLA) es un tipo de acero de aleación de acero que proporciona mejores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la corrosión que el acero al carbono. Aceros HSLA puede variar en otros aceros en que no se hacen para cumplir con una composición química específica, sino más bien a las propiedades específicas de mecánica. Con un contenido de carbono entre 0.05-0.25% para mantener la conformabilidad y soldabilidad. Otros elementos de aleación son de hasta 2,0% de manganeso y pequeñas cantidades de cobre, níquel, niobio, nitrógeno, vanadio, cromo, molibdeno, titanio, calcio, elementos de tierras raras, o zirconio. Cobre, titanio, vanadio, niobio y se agregan con fines de fortalecimiento. Estos elementos están destinados a alterar la microestructura de los aceros al carbono, que suele ser un agregado de ferrita-perlita, para producir una dispersión muy fina aleación

de carburos en una matriz de ferrita casi puro. Esto elimina el efecto de reducción de la dureza de una fracción de volumen de perlita, sin embargo, mantiene y aumenta la resistencia del material al refinar el tamaño de grano, que en el caso de la fuerza de ferrita aumenta el rendimiento en un 50% por cada reducción a la mitad del diámetro medio de grano. El fortalecimiento de la precipitación juega un papel de menor importancia, también. Sus límites de elasticidad pueden ser entre 250-590 mega pascales (36,000-86,000 psi). Debido a su mayor resistencia y dureza aceros HSLA por lo general requieren de potencia de 25 a 30% más a la forma, en comparación con los aceros al carbono [9].

Se utilizan en los automóviles, camiones, grúas, puentes, montañas rusas y otras estructuras que están diseñados para manejar grandes cantidades de estrés o necesidad de una buena relación resistencia-peso. Aceros HSLA son normalmente de 20 a 30% más ligero que el acero al carbono con la misma fuerza. En la figura 2-5 se tiene una gráfica de la proporción de aceros utilizados en la industria automovilística [10].

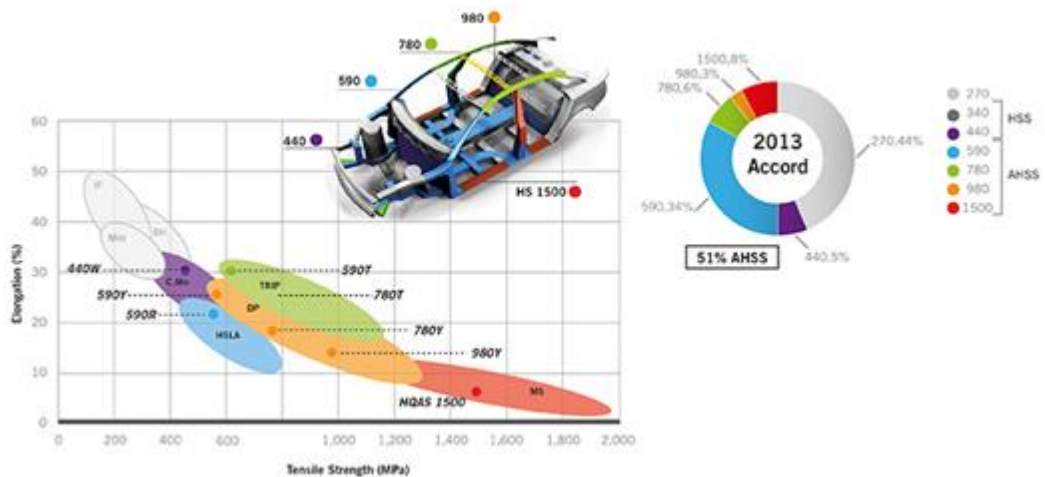


Figura 2-5: Aceros más utilizados en la fabricación de carrocerías de automóviles. Fuente: [10].

## 2.2.6 EFECTOS DEL CALOR LOCALIZADO

Los efectos del calor a partir de fuentes tales como la soldadura y corte con soplete dependerá de la magnitud y la duración del calor involucrados. Sólo los perfiles pequeños o placas serán afectados significativamente. Para perfiles con medianos a grandes dimensiones el calor localizado sólo afectará a la distribución de tensiones residuales en las inmediaciones de la soldadura o de llama de corte. Como el calor es intenso y muy localizado, el enfriamiento posterior será muy rápido. El índice de

enfriamiento se puede bajar con precalentamiento o poscalentamiento, lo que disminuirá las tensiones residuales. El alto índice de enfriamiento asociado con la soldadura y corte con soplete provoca cambios en la estructura del grano en las inmediaciones de la fuente de calor. Estos resultados en un material de grano fino en las proximidades de la soldadura y la llama de corte, lo hacen más fuerte, más duro y menos dúctil que el resto del metal base. En la figura 2-6 se puede observar los efectos del calor y la zona afectada térmicamente [10].

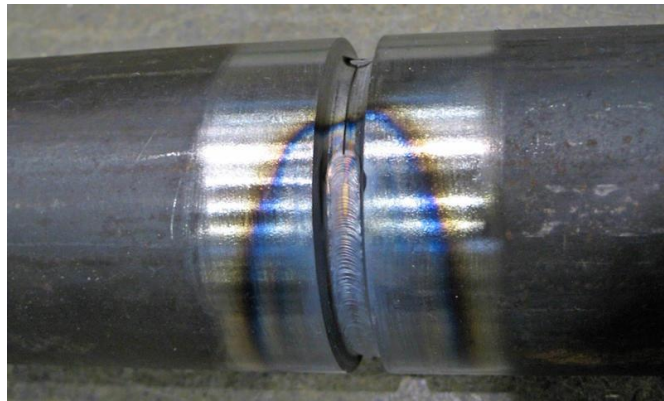


Figura 2-6: Zona afectada térmicamente por la soldadura.  
Fuente: [10].

Algunos de los efectos del rolado en frío ya se han comentado. Por ejemplo, el enderezado se hace normalmente a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente, lo que se clasifica como enderezado en frío. A fin de lograr una curvatura permanente en la configuración de un elemento recto, las deformaciones plásticas se presentan como consecuencia, con el resultado de que las tensiones residuales originales son redistribuidas. Un perfil rolado en frío, tiene entonces valores más bajos de esfuerzos residuales. En los perfiles rolados en frío, se manifiesta en ciertas regiones una mayor resistencia localizada y menor deformabilidad. En la fabricación en general se recomienda evitar la soldadura en o cerca de las áreas de la sección transversal del rolado. Esto requiere un diseño y detallado que considere estas regiones [10].

### **2.2.7 GRADOS DE ACERO PARA SECCIONES ESTRUCTURALES HUECAS Y TUBOS**

En la figura 2-1 se indica los diferentes aceros su uso y aplicación en las diferentes áreas de la industria es así que, ASTM A500 está disponible para perfiles redondos formados en frío HSS en tres grados, y también en tres grados para cuadrados o

rectangulares formados en frío [6]. HSS. Las propiedades de HSS cuadrados y rectangulares difieren de las del HSS redondos. El grado más común es el ASTM A500 grado B, cuyo esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción se encuentra en el orden de los 46 y 58 ksi (3,250 y 4,100 kg/cm<sup>2</sup>) [10].

Tabla 2-2 Aceros HSLA y sus usos más frecuentes.

ASTM A36	Placas de Conexión
	Anclajes de barras redondas lisas y perfiles
	Cuerdas superiores e inferiores de armaduras
	Montantes y diagonales de armaduras
	Largueros tipo joist
	Contravientos de cubiertas
ASTM A528 G50	Placas hasta 1" de espesor
	Canales pequeños utilizados para alfaradas de escaleras y conexiones de postes de viento
	Cuerdas de armaduras
	Montantes y diagonales de armaduras
ASTM A572 G50	Contravientos laterales
	Placas hasta 4"
	Vigas principales tipo (IR)
	Vigas secundarias tipo (IR)
	Columnas de perfiles tipo (IR)
ASTM A588	Mezzanines
	Acero patinable
ASTM A709	Plataformas marinas
	Puentes
ASTM A992	Torres de transmisión
	Vigas
	Columnas
	Mezzanines
	Postes de viento
	Espectaculares
ASTM A53	Trabes carril
	Tubos estructurales
ASTM A500	Columnas de secciones huecas cuadradas
	Columnas de secciones huecas rectangulares
	Columnas de secciones huecas circulares
ASTM A501	Bastidores
	Bases de tanques de gas, agua, etc.

Fuente: [10].



En la tabla 2-3 se muestra la correlación de las NMX y ASTM de aceros estructurales.

Tabla 2-3 Correlación de las NMX y ASTM de aceros estructurales.

Nomenclatura		F <sub>y</sub> <sup>(3)</sup>		F <sub>u</sub> <sup>(4)</sup>	
NMX (1)	ASTM (2)	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
B-254	A 36	250	2,530	400 a 550	4,080 a 5,620
	A 529	345	3,515	485	4,950
		380	3,880	485	4,950
B-282	A 242	320	3,235	460	4,710
		345	3,515	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
B-284	A 572	345	3,515	450	4,570
		414	4,220	515	5,270
		450	4,570	550	5,620
	A 992	345	3,515	450 a 620	4,570 a 6,330
B-177	A 53	240	2,460	414	4,220
B-199	A 500 (5)	320	3,235	430	4,360
B-200	A 501	250	2,530	400	4,080
	A 588 (6)	345	3,515	483	4,920
	A 709	250	2,550	400	4,080
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040
	A 913 (7)	345 a 483	3,515 a 4,920	448 a 620	4,570 a 6,330

Fuente: [10].

## 2.2.8 SOLDADURA EN ACEROS DE BAJA ALEACIÓN Y ALTA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Estos aceros son fabricados en gran número, con variados análisis químicos y son vendidos bajo nombres comerciales específicos, como los indicados en el cuadro que sigue. Algunos de estos aceros son algo similares a los aceros de baja aleación tipo AISI, pero no corresponden exactamente a dicha clasificación [11].

Estos aceros poseen una ductilidad bastante buena y una alta resistencia a la tracción, aunque el contenido de carbono es bastante bajo, lo que, sin embargo, ayuda a la soldabilidad [11].

### **2.2.9 SOLDABILIDAD**

La soldadura de estos aceros de baja aleación con alta resistencia a la tracción parece ser, a primera vista, un asunto muy complicado. Sin embargo, a pesar del gran número de análisis químicos diferentes, existen algunos procesos de soldadura por arco que se emplean comúnmente para soldar estos aceros [11].

El problema se reduce a saber, qué procedimiento debe usarse o qué combinación de los métodos usuales dará mejor resultado. El consejo común para la soldadura de estos aceros es el empleo adecuado de los electrodos de bajo hidrógeno. El depósito de estos electrodos tiene una mayor resistencia al impacto que el depósito de los electrodos comunes. Cuando se presentan grietas o fisuras, el consejo es: "Precaliente la pieza y suelde con un electrodo de bajo hidrógeno". El tipo de electrodo de bajo hidrógeno debe ser escogido, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del metal base; así, para un acero T-1 utilice un "Tenacito 110" [11].

### **2.2.10 ELECTRODOS PARA SOLDAR ESTOS TIPOS DE ACERO**

Los electrodos OERLIKON recomendados para soldar estos tipos de acero son: SUPERCITO, UNIVERS CR, TENACITO80, TENACITO65 [11].

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

La presente investigación se ubica en el paradigma crítico propositivo, ya que la investigación parte de problemas reales en nuestro medio, referentes a los procesos en la fabricación de carrocerías de autobuses, y como afectan estos procesos en los materiales estructurales utilizados especialmente en el acero ASTM A500Gr C, con el fin de conocer la influencia sobre su resistencia y consecuentemente sobre el comportamiento final de la estructura.

Conociendo cuales son los factores que pueden afectar a la resistencia mecánica del material se pueden plantear solución o nuevos procesos que minimicen el impacto sobre la resistencia, de esta manera mejorando la seguridad y calidad del producto.

## **2.4 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

En el Ecuador existe normativa que regula la fabricación de autobuses que son:

- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038:2008. Bus Urbano

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1323 Vehículos Automotores. Carrocerías Metálicas. Requisitos
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1155. Vehículos automotores. Equipos de iluminación y dispositivos para mantener o mejorar la visibilidad.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1669. Vidrios de seguridad para automotores. Requisitos
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 011. Neumáticos
- Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 034. Elementos mínimos de seguridad en vehículos automotores
- Las normas que se utilizarán para la realización de los ensayos serán las ASTM Especialmente la ASTM E-23 para el análisis de impacto.
- Reglamento CEPE N°94.

## 2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

### FACTORES QUE AFECTAN A LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO HSLA ASTM A500 GR C UTILIZADO EN CARROCERÍAS DE

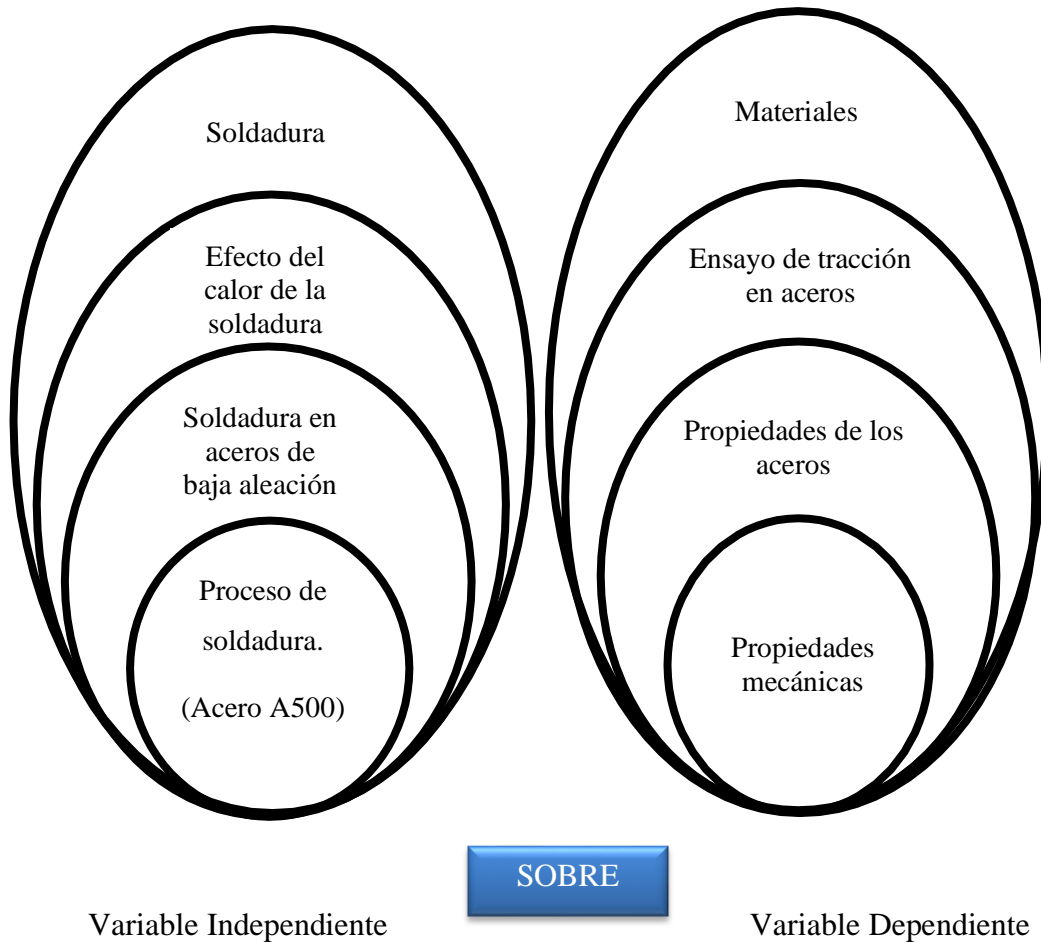


Figura 2-7:.. Categorías fundamentales

## 2.6 HIPÓTESIS

El proceso de soldadura del acero ASTM A500Gr C de la carrocería si tiene una afectación importante sobre la resistencia final del material.

## 2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

### 2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Proceso de soldadura del acero ASTM A500 Gr C utilizado en la fabricación de carrocerías.

### **2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

La resistencia final del material.

### **2.7.3 TÉRMINO DE RELACIÓN**

Influencia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

El estudio de los factores que afectan a las propiedades mecánicas del acero HSLA ASTM A500 utilizado en la fabricación de carrocerías de buses tendrá un enfoque cuantitativo. Porque para identificar como afecta el proceso de soldadura de los elementos estructurales de la carrocería fabricados en acero ASTM A500, es necesaria la realización de ensayos que nos permitirán conocer la gráfica esfuerzo-deformación y cuantificar las variaciones en sus propiedades mecánicas y consecuentemente en los factores de seguridad de la estructura de la carrocería.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.2.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.**

Esta investigación comprenderá una investigación experimental debido a que se realizarán ensayos para obtener información para la investigación en donde que se realizan pruebas controladas en los laboratorios de la facultad, pudiendo así conocer la afectación de la soldadura sobre la resistencia de la estructura de la carrocería

##### **3.2.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

Esta investigación será también una investigación bibliográfica debido a que gran parte de la información se la obtendrá de fuentes escritas tale como libros, páginas web, manuales, normas, reglamentos, artículos científicos, procedimientos, etc. Relacionadas con la fabricación de carrocerías, tipos de aceros empleados en la fabricación de carrocerías y los procesos de soldadura utilizados.

### **3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA.**

Esta investigación tendrá una forma descriptiva debido a que se enfocará el problema desde los contextos en que se desarrolla y el lugar donde se dan los hechos, además de tener una hipótesis que permitirá proyectarse hacia una propuesta donde la investigación tendrá una utilidad práctica.

#### **3.3.2 INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL**

La investigación tiene el propósito de determinar el grado de relación o asociación no causal que existen entre variable independiente y variable dependiente. Para este caso se utilizará un estudio correlacional que relacionará el comportamiento que tiene la una sobre la otra variable.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

En base a la teoría un experimento es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto o resultado y aumentar el conocimiento acerca del sistema. La unidad experimental es la muestra(s) o pieza(s) que se utiliza para generar un valor que sea representativo del resultado del experimento o prueba. En cada diseño de experimentos es importante definir de manera cuidadosa la unidad experimental, ya que ésta puede ser una pieza o muestra de una sustancia o un conjunto de piezas producidas, dependiendo del proceso que se estudia [12]. Un aspecto fundamental del diseño de experimentos es decidir cuáles pruebas o tratamientos se van a realizar y cuántas repeticiones de cada uno se requieren, de manera que se obtenga la máxima información al mínimo costo posible. Dependiendo de la disponibilidad de los materiales, tiempo, tipo de experimento y experiencia [12].

**Repetición.** Es correr más de una vez un tratamiento o una combinación de factores. Es preciso no confundir este principio con medir varias veces el mismo resultado experimental. Repetir es volver a realizar un tratamiento, pero no inmediatamente después

de haber corrido el mismo tratamiento, sino cuando corresponda de acuerdo con la aleatorización. Las repeticiones permiten distinguir mejor qué parte de la variabilidad total de los datos se debe al error aleatorio y cuál a los factores. Cuando no se hacen repeticiones no hay manera de estimar la variabilidad natural o el error aleatorio, y esto dificulta la construcción de estadísticas realistas en el análisis de los datos [12]. Para esta investigación el número de repeticiones por experimento se definió en cinco tomando en cuenta el tipo de ensayo, la cantidad de material y la experiencia docente en este tipo de análisis para obtener la máxima cantidad de información al menor costo posible. La matriz del experimento es: 5 Probetas para ensayo a tracción del material base de acero ASTM A500 sin soldaduras, 5 probetas para el análisis a tracción del acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y 5 Probetas para ensayo atracción con soldadura de electrodo ER70S-6. Como se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Probetas para el ensayo de tracción.

# Probeta	Especificación (Material y soldadura)
1	Acero ASTM A500 sin soldadura
2	Acero ASTM A500 sin soldadura
3	Acero ASTM A500 sin soldadura
4	Acero ASTM A500 sin soldadura
5	Acero ASTM A500 sin soldadura
6	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011
7	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011
8	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011
9	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011
10	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011
11	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6
12	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6
13	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6
14	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6
15	Acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6

Fuente: Autor



### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Proceso de soldadura del acero ASTM A500 Gr C utilizado en la fabricación de carrocerías.

Tabla 3-2: Variable independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>La <b>soldadura</b> es un proceso de unión en donde se realiza la fijación de dos o más piezas de un material generalmente metal, usualmente logrado a través de la fusión, se puede agregar un material de aporte, que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar (el <i>baño de soldadura</i>) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón.</p>	ASTM A500 Gr C E6011	-Soldadura de placa a tope con electrodo E6011	-Proceso GMAW Electrodo E6011	- Normas ASTM -Normas AWS - Fichas de datos -Proceso de soldadura -Observación
	ASTM A500 Gr C – ER70S-6	- Soldadura de placa a tope con electrodo ER70S-6	- Proceso SMAW y electrodo ER70S-6	

Fuente: Autor

### 3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE

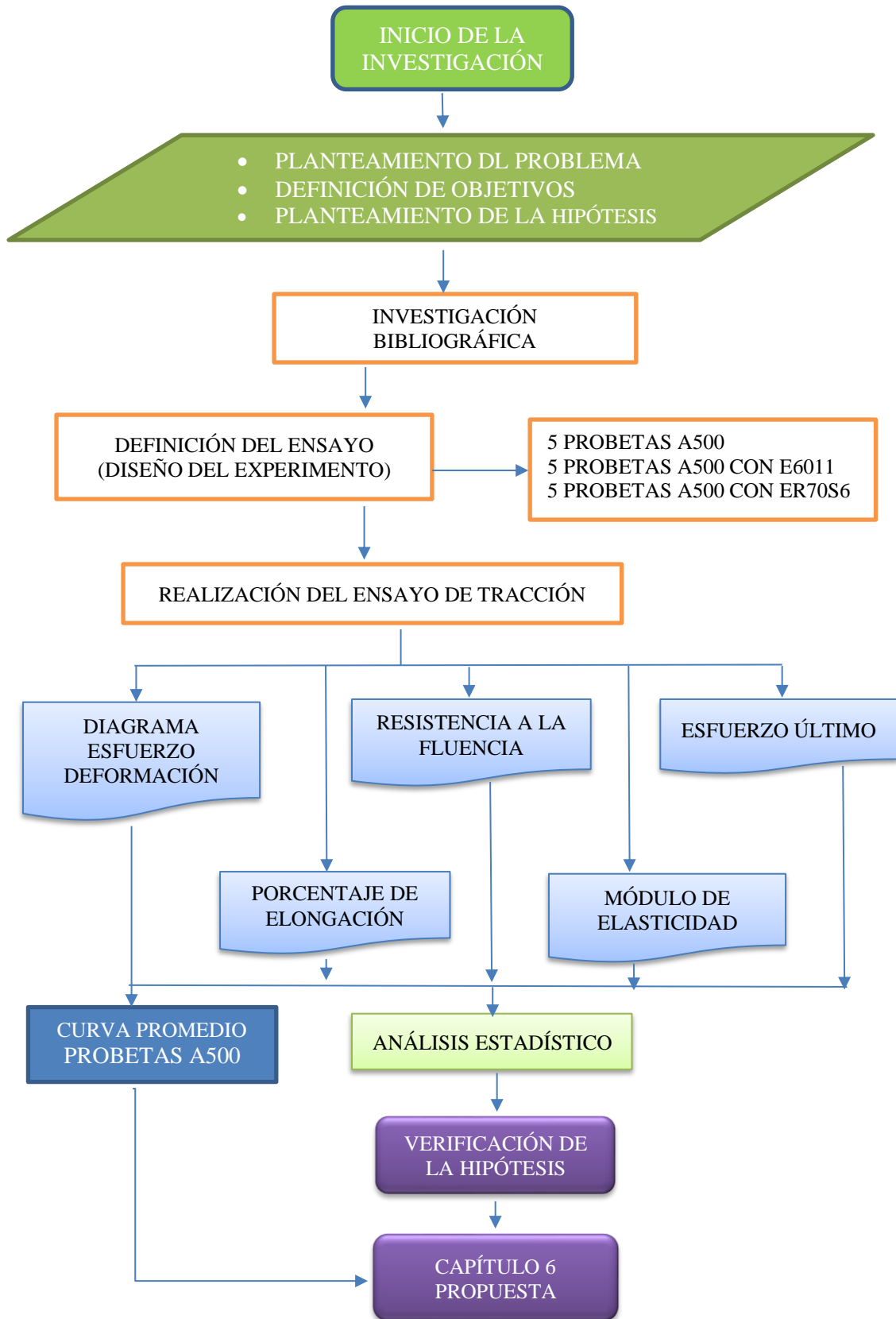
Influencia sobre la resistencia final del material.

Tabla 3-3: Variable dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Al momento de elegir un material para cumplir una función específica, es necesario conocer las propiedades físicas y técnicas que tiene este. Además de como los procesos de fabricación que se utilicen para trabajarlo fluyen sobre su resistencia. La manera más acertada que tenemos es conocer su comportamiento mediante el ensayo de tracción donde se determina el diagrama esfuerzo-deformación que nos da una imagen amplia del comportamiento del material necesaria para la fase de diseño.</p>	<p>Ensayo de tracción material base (ASTM A500) sin soldaduras</p>	<p>-Diagrama esfuerzo-deformación del material</p>	<p>-Módulo de elasticidad [GPa]</p> <p>-Carga de fluencia [KN]</p>	<p>-Ensayo de tracción</p> <p>-Norma ASTM E8</p>
	<p>Ensayo de tracción del material base (ASTM A500) con soldadura de electrodo E6011</p>	<p>-Diagrama esfuerzo-deformación del material</p>	<p>-Esfuerzo de fluencia [MP]</p> <p>-Carga máxima [KN]</p>	<p>-Norma AWS B4.0 (Placas soldadas).</p> <p>-Ficha de datos.</p> <p>-Observación.</p>
	<p>Ensayo de tracción del material base (ASTM A500) con soldadura de electrodo ER70S-6</p>	<p>-Diagrama esfuerzo-deformación del material</p>	<p>-Esfuerzo Máximo [MPa]</p> <p>-Porcentaje de elongación [%]</p>	<p>-Softwares.</p>

Fuente: Autor

### 3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN



- ❖ El plan de recolección de la información se estableció de la siguiente manera:
- ❖ Para la recolección de información de esta investigación se utilizó fuentes bibliográficas entre ellas libros e internet, además se hizo uso de la técnica de la observación que nos permitió conocer en detalle el tipo de proceso de soldadura efectuado durante la fabricación de la carrocería del bus además los tipos de materiales de aporte utilizados.
- ❖ Para definir las características del ensayo a tracción del acero ASTM A500 se utilizó fuentes bibliográficas con las normas ASTM E8 y para placas soldadas la norma AWS B4.0.
- ❖ Se realizó el ensayo de tracción para el total de 15 probetas donde 5 de ellas fueron del material base (acero ASTM A500) sin soldaduras, 5 con soldadura central de electrodo E6011 y 5 con soldadura de electrodo ER70S-6. Para medir el porcentaje de deformación de la zona soldada se midió utilizando calibrador y tomando una longitud inicial central de 10mm lo que corresponde a la zona de afectación térmica por la soldadura.
- ❖ En el procesamiento de los datos se procedió a calcular el promedio de la curva esfuerzo deformación para cada grupo de probetas.

### **3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Una vez hecha la recolección los datos fue necesario organizarlos, clasificarlos y resumirlos adecuadamente, de manera tal que posibilite un mejor análisis de la información obtenida.

- ✓ Organización de la información obtenida.
- ✓ Revisión crítica de la información recogida.
- ✓ Comparación de los datos obtenidos con los bibliográficos procedentes de varias fuentes.
- ✓ Estudio estadístico de datos para presentación de resultados.

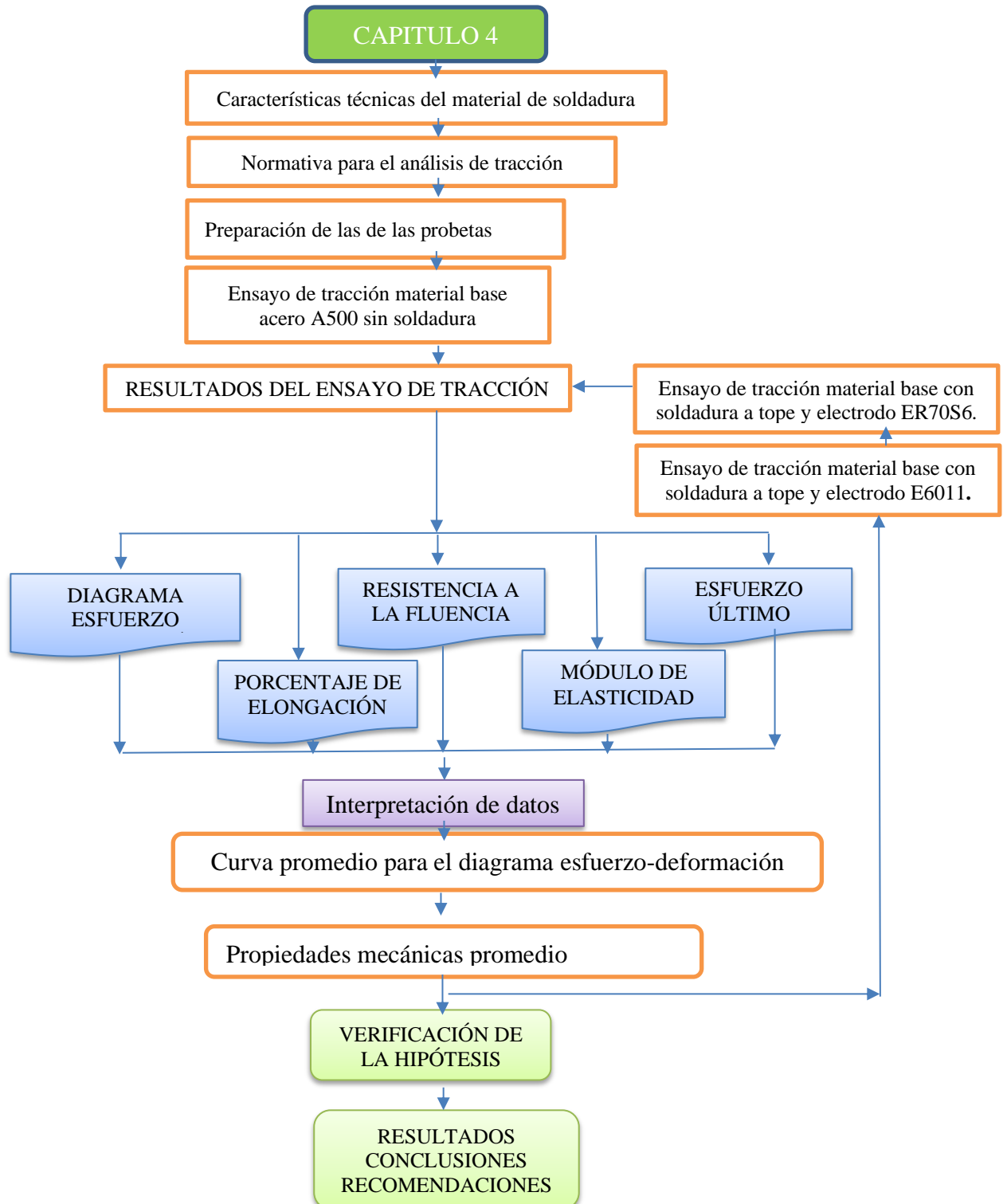
Después de análisis de los datos se pudo concluir que existe una variación importante en el módulo de elasticidad del material en la zona soldada debido a los cambios

bruscos de temperatura y la velocidad de enfriamiento que podrían afectar la capacidad de absorber la energía en caso de impacto.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS



## 4.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MATERIAL DE SOLDADURA.

### 4.1.1.1 Electrodo INDURA AWS E6011

#### Descripción:

El electrodo E6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado con corriente alterna, pero también se le puede usar con corriente continua, electrodo positivo. La rápida solidificación del metal depositado facilita la soldadura en posición vertical y sobrecabeza. El arco puede ser dirigido fácilmente en cualquier posición, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura).

#### Características:

- Electrodo para soldar aceros dulces o al carbono.
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo (CCEP)
- Corriente alterna (CA)
- Revestimiento canela
- Punto azul

**Usos:** Este electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero al carbono.

Tabla 4-1: Composición del material soldado

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL DEPOSITADO	
C	0,11%
Mn	0,41%
Si	0,23%
P	0,010%
S	0,017%

Fuente: Indura catálogo de materiales

Tabla 4-2: Características del material

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL METAL DEPOSITADO	
Límite de fluencia	424 MPa
Resistencia a la tracción	495 MPa
Agrietamiento en 50mm	27%
Energía Absorbida	34 J a -30°C

Fuente: Indura catálogo de materiales

Tabla 4-3: Tipos de electrodos y amperajes

Electrodo y Amperaje Utilizados							
Cod. SAP	Ref. AWS	Diam. Electr.		Long. Electrodo		Amperaje	
		pulg	mm	pulg	mm	min	max
2000093	E6011	3/32	2,4	12	300	50	90
2000094	E6011	1/8	3,2	14	350	80	120
2000095	E6011	5/32	4	14	350	110	160
2000096	E6011	3/16	4,8	14	350	160	220
1030482	E6011	1/8	3,2	14	350	80	120
1030483	E6011	5/32	4	14	350	110	160
2000459	E6011	1/8	3,2	14	350	80	120

Fuente: Indura catálogo de materiales

### Aplicaciones Típicas:

- Cordón de raíz en cañería
- Cañerías de oleoductos
- Reparaciones generales
- Estructuras metálicas
- Planchas galvanizadas
- Embarcaciones
- Estanques
- Obras de Construcción

### Almacenamiento:

Temperatura ambiente

### Mantenimiento:

No Recomendado

### Reacondicionamiento:



No Recomendado

#### 4.1.1.2 ER 70S-6 según: ASME IIC SFA 5.18

##### Características:

- Alambre sólido para proceso de soldadura con protección gaseosa.
- Certificado por CWB, ABS, LRS, GL, NKK.
- Revestimiento: cobrizado.

##### Campos y usos:

- Alambre de acero de excelente soldabilidad y tolerancia a superficies oxidadas.
- Usado principalmente con gas CO<sub>2</sub> y otras muestras comerciales como el Indurmig.
- Su contenido de Silicio y Manganeseo le confieren excelentes propiedades desoxidantes, lo que asegura una soldadura libre de porosidades sobre una amplia gama de trabajos.
- Se recomienda para ser usado en aceros corrientes de baja aleación.
- Se utiliza en recipientes a presión, soldadura de cañerías, estructuras, etc.

Tabla 4-4: Propiedades del alambre

<b>Análisis típico del metal alambre (% en peso)</b>				
C	Mn	Si	P	S
0,08	1,44	0,86	0,012	0,014

Fuente: Indura catálogo de materiales

Tabla 4-5: Propiedades mecánicas

<b>Propiedades Mecánicas Típicas del Metal Depositado</b>				
Gas	Esf. Fluencia en 0,2% MPa	Esf. Máx. de Tracción,MPa	Elongación (L=4d),%	E. Absorbida Ch-v
100%CO <sub>2</sub>	415	530	31	103J a 30°C

Fuente: Indura catálogo de materiales

Tabla 4-6: Parámetros de soldadura

<b>Parámetros de soldadura y datos</b>				
Diámetro, mm	0,80	0.9	1.2	1.6
Int..de Corr., A	60-160	90-230	130-340	290-400

<b>Voltaje, Volts</b>	14-16	15-27	17-30	26-36
<b>Flujo CO2, (lt/min)</b>	7-12	8-12	12-14	14-16

Fuente: Indura catálogo de materiales

### Posición de Soldadura

La grafica 4-1 muestra las diferentes posiciones de soldadura utilizadas en el proceso de soldadura de las carrocerías de buses.



Figura 4-1: Tipos de posiciones de soldadura  
Fuente: Indura catálogo de materiales

### 4.1.2 NORMATIVA PARA EL ANÁLISIS DE TRACCIÓN

#### 4.1.2.1 Análisis de tracción en placas soldadas según la norma AWS B4.0 Standard Methods for Mechanical Testing of Welds

La figura 4.2 muestra el modelo de la probeta que fue ensayada en la maquina esto en base a la normativa ASTM E8.

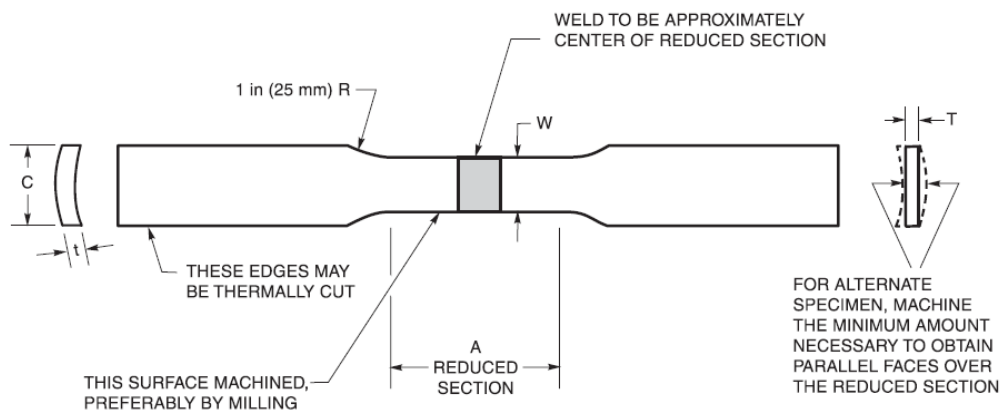


Figura 4-2 Modelo probeta ensayo tracción.  
Fuente: AWS B4.0

Specimen No.	W in (mm)	C in (mm)	A in (mm)
1	$1/2 \pm 1/64$ (13 $\pm$ 0.4)	3/4 (19) approx.	2-1/4 (60) min.
2	$3/4 \pm 1/32$ (20 $\pm$ 2.4)	1 (25) approx.	2-1/4 (60) min. 4-1/2 (115) min.
3	$1 \pm 1/16$ (25 $\pm$ 1.6)	1-1/2 (38) approx.	2-1/4 (60) min. 4-1/2 (115) min.
4	$1-1/2 \pm 1/8$ (38 $\pm$ 3.2)	2 (50) approx.	2-1/4 (60) min. 4-1/2 (115) min. 9 (229) min.

Figura 4-3 Valores y espesores aplicados según la norma ASTM E8 donde se analiza en base a las diferentes probetas a ser ensayadas

Fuente: AWS B4.0

Donde los valores son:

- 1.- La soldadura de refuerzo y soporte, si hay, será removido al ras de la muestra [13].
- 2.- El refuerzo de soldadura no deberá ser usado para espesores de pared nominal menor que 3/8in (10mm) [13].
- 3.- Solo las secciones de agarre pueden ser aplanadas en caso de tubería.
- 4.- En el caso de una muestra de espesor completa, el área de la sección transversal puede ser calculada al multiplicar w y t.
- 5.- T es el espesor de la probeta de prueba, según lo previsto en la especificación aplicable [13].
- 6.- La sección reducida, será paralela dentro de 0.010in (0.25mm) puede tener una disminución progresiva en anchura desde los bordes hasta el centro, con los bordes no más de 0,010 in (0.25mm) de ancho que en el centro.
- 7.- La sección de agarre de la muestra debe ser simétrica con la línea central de la sección de la sección reducida dentro de 1/8in (3mm) [13].
- 8.- Todas las superficies de la sección reducida no deberán ser más ásperas que 125 micro pulgadas (3 micrómetros) Ra.
- 9.- Anchos más estrechos Wy C pueden ser usados cuando lo requiera, En tales casos el ancho de la sección reducida deberá ser tan largo como el ancho del material lo permita. Sí el ancho del material es menos que W los lados pueden ser paralelos a lo largo del espécimen [13].

#### 4.1.2.2 Especificaciones según la norma ASTM E-8-04

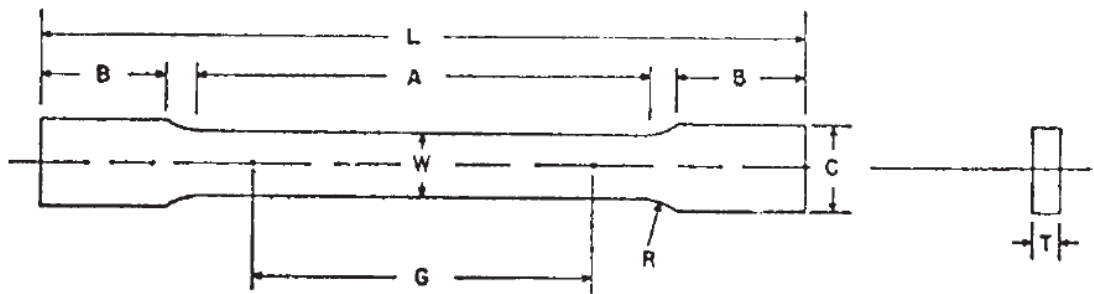
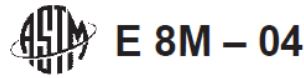


Figura 4-4 Modelo probeta ensayo tracción.  
Fuente: Norma ASTM E-8-04

Tabla 4-7: dimensiones para las probetas según Norma ASTM E8

Dimensiones, mm			
Ancho nominal	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type (40mm)	Sheet-Type (12.5 mm)	6 (mm)
G— Longitud del calibre (Nota 1 y Nota 2)	200.0±0.2	50.0±0.1	25.0±0.1
W— Ancho (Nota 3 y Nota 4)	40.0±0.2	12.5±0.2	6.0±0.1
T— Espesor (Nota 5)		Espesor del material	
R— Radio de filete, min (Nota 6)	25	12.5	6
L— Longitud total (Nota2, Nota7, y Nota 8)	450	200	100
A— Longitud de la sección reducida, min	225	57	32
B— Longitud de la sección de agarre, (Nota 8)	75	50	30
C— Ancho de la sección de agarre, aproximado (Nota 4 y Nota 9)	50	20	10

Fuente: Norma ASTM E-8-04

NOTA 1: para el espécimen de 40 mm de ancho, las marcas de perforación para medir el alargamiento después de la fractura deben hacerse en la parte plana o en el borde del espécimen y dentro de la sección reducida. Se puede usar un conjunto de nueve o más marcas de perforación con una separación de 25 mm, o uno o más pares de marcas de perforación de 200 mm de separación [7].

NOTA 2: Cuando no se requieren mediciones de alargamiento de muestras de 40 mm de ancho, se puede usar una longitud mínima de sección reducida (A) de 75 mm con todas las demás dimensiones similares a la muestra tipo placa [7].

NOTA 3: Para los tres tamaños de muestras, los extremos de la sección reducida no deben diferir en ancho en más de 0.10, 0.05 o 0.02 mm, respectivamente [7].

Además, puede haber una disminución gradual en el ancho desde los extremos hasta el centro, pero el ancho en cada extremo no debe ser más del 1% mayor que el ancho en el centro [7].

NOTA 4: para cada uno de los tres tamaños de muestras, se pueden usar anchos más estrechos (W y C) cuando sea necesario. En tales casos el ancho del reducido la sección debe ser tan grande como lo permita el ancho del material que se está probando; sin embargo, a menos que se indique específicamente, los requisitos de alargamiento en un producto la especificación no se aplicará cuando se utilicen estos especímenes más estrechos [7].

NOTA 5: La dimensión T es el grosor de la muestra de ensayo según lo dispuesto en las especificaciones de material aplicables. Espesor mínimo para los especímenes de 40 mm será de 5 mm. El grosor máximo para los especímenes de 12,5 mm y 6 mm de será de 19 mm y 6 mm, respectivamente [7].

NOTA 6: para la muestra de 40 mm de ancho, se permite un radio mínimo de 13 mm en los extremos de la sección reducida para muestras de acero de menos de 690 MPa en resistencia a la tracción cuando se utiliza un cortador de perfil para mecanizar la sección reducida [7].

NOTA 7 — La dimensión mostrada se sugiere como mínimo. Al determinar la longitud mínima, los agarres no deben extenderse a la sección de transición entre las dimensiones A y B, véase la Nota 9 [7].

NOTA 8: para ayudar a obtener la aplicación de fuerza axial durante la prueba de muestras de 6 mm de ancho, la longitud total debe ser tan grande como el material Permiso, hasta 200mm.

NOTA 9: Es deseable, si es posible, hacer que la longitud de la sección de agarre sea lo suficientemente grande como para permitir que la muestra se extienda en los agarres

una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de los agarres. Si el grosor de las muestras de 12,5 mm de ancho es superior a 10 mm, los agarres son más largos y, en consecuencia, más largos [7].

Las secciones de agarre de la muestra pueden ser necesarias para evitar fallas en la sección de agarre.

NOTA 10: Para los tres tamaños de muestras, los extremos de la muestra deben ser simétricos en ancho con la línea central de la sección reducida dentro de 2.5, 0.25 y 0.13 mm, respectivamente. Sin embargo, para las pruebas de árbitros y cuando lo requieran las especificaciones del producto, los extremos de la muestra de 12.5 mm de ancho será simétrico dentro de 0.2mm [7].

NOTA 11: para cada tipo de espécimen, los radios de todos los filetes deben ser iguales entre sí dentro de una tolerancia de 1.25 mm, y los centros de curvatura de los dos filetes en un extremo particular se ubicarán uno frente al otro (en una línea perpendicular a la línea central) dentro de una tolerancia de 2.5mm [7].

NOTA 12: se permiten muestras con lados paralelos en toda su longitud, excepto para las pruebas de árbitros, siempre que: (a) se usen las tolerancias anteriores;

(b) se proporciona un número adecuado de marcas para la determinación del alargamiento; y (c) cuando se determina el límite de elasticidad, se utiliza un extensómetro adecuado [7].

Si la fractura ocurre a una distancia de menos de  $2W$  desde el borde del dispositivo de agarre, las propiedades de tracción determinadas pueden no ser representativas de material. En las pruebas de aceptación, si las propiedades cumplen con los requisitos mínimos especificados, no se requieren más pruebas, pero si son menores que los Requisitos mínimos, descartar la prueba y volver a realizar la prueba [7].

Dimensiones para la probeta de ensayo a tracción. NOTA: (La probeta es simétrica a los dos ejes Las dimensiones están en milímetros y el espesor de la probeta es la del material base y es de .... El plano se puede encontrar en el anexo.

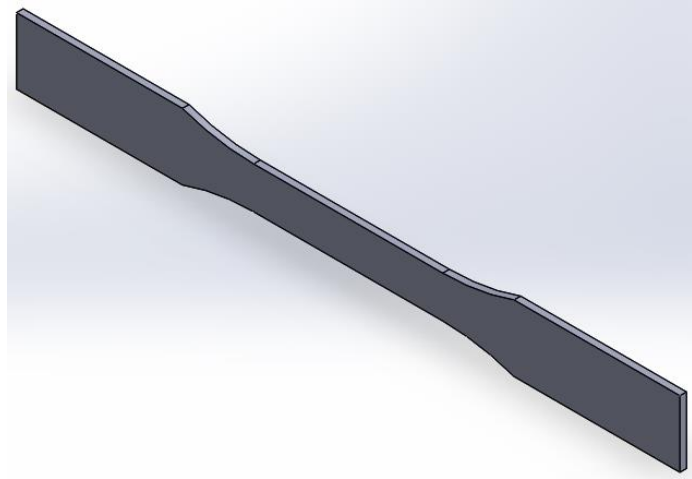


Figura 4-1: Representación de la probeta para el ensayo a tracción  
Fuente: Autor

### 4.1.3 ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIAL BASE SIN SOLDADURAS

Análisis de los ensayos de las probetas de acero ASTM A500 sin soldadura

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA “MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 1 ACERO ASTM A500 SIN SOLDADURA</b>			<b>E.T. N°: 001</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C sin soldaduras	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 1	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.94
<b>ESPESOR [mm]:</b>	2	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	312.6
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.7	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	9.44
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	25.40	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	371.65
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	141.22	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	24.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación fue del 24% durante el ensayo</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> </ul>			
			



Tabla 4-8 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°1 sin soldadura.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
0	0	0
250	0	0
275	0,25	0,0025
300	0,35	0,0035
310	0,5	0,005
325	3	0,03
342	6	0,06
350	7,5	0,075
356	9	0,09
362	12	0,12
365	15	0,15
370	21	0,21
350	24	0,24
300	25,8	0,258
275	26,1	0,261
250	26,1	0,261
200	26,1	0,261
150	26,1	0,261
100	26,1	0,261
50	26,1	0,261
25	26,1	0,261

Fuente: Autor

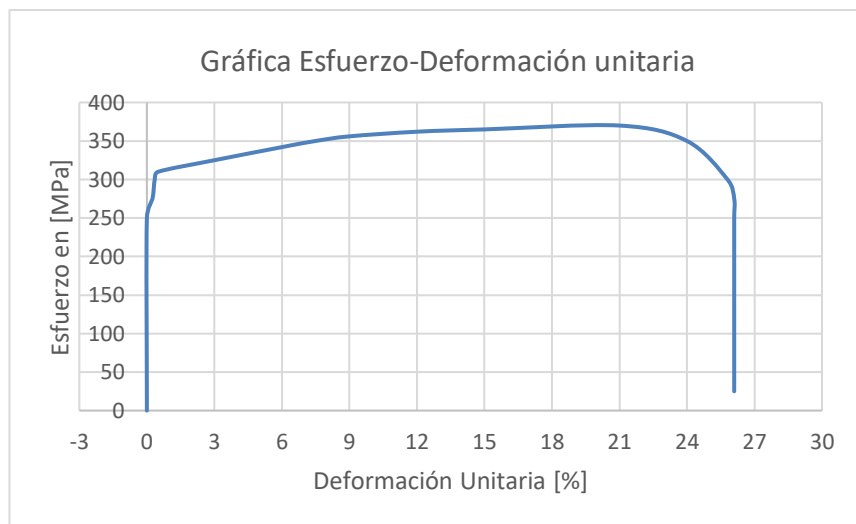


Figura 4-5 Gráfica Esfuerzo-Deformación unitaria probeta N°1.

Fuente: Autor

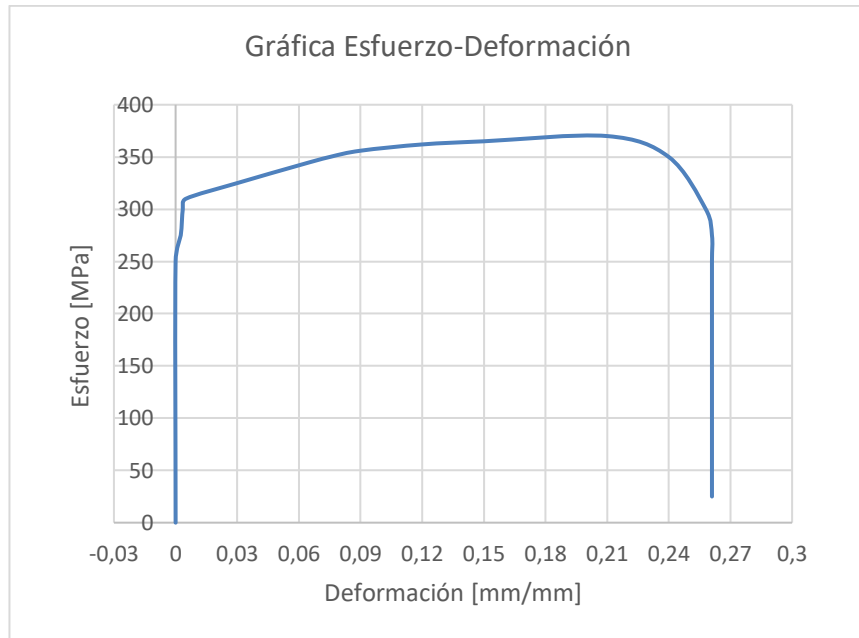


Figura 4-6 Gráfica Esfuerzo-Deformación probeta N°1  
Fuente: Autor

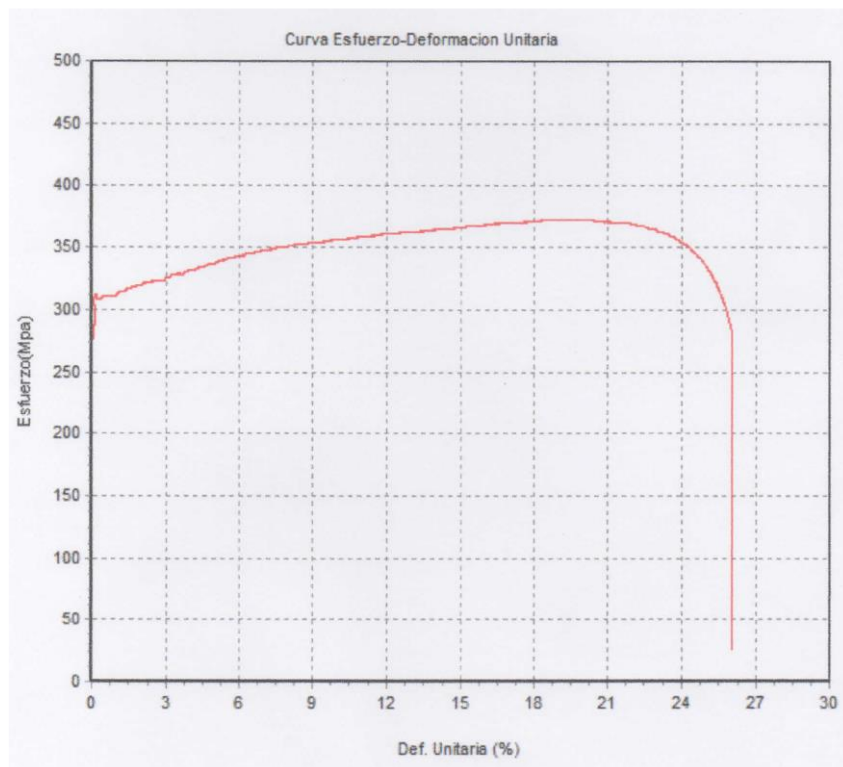


Figura 4-7 Curva Esfuerzo-Deformación unitaria dada por la máquina de ensayos  
Fuente: Autor




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 2 ACERO ASTM A500 SIN SOLDADURA</b>			<b>E.T. N°: 002</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C sin soldaduras	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 2	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.98
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.9	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	333.33
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.60	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	8.88
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	23.94	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	370.93
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	154.9	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	25.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación fue del 25% durante el ensayo</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> </ul>			
			

Tabla 4-9 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°2 sin soldadura.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
60	0,11	0,0011
100	0,14	0,0014
150	0,16	0,0016
200	0,17	0,0017
250	0,18	0,0018
275	0,23	0,0023
300	0,2	0,002
325	0,5	0,005
342	4	0,04
352	4	0,04
365	8	0,08
370	12	0,12
375	16	0,16
375	20	0,2
370	24	0,24
350	28	0,28
300	30,2	0,302
275	30,5	0,305
250	30,5	0,305
200	30,5	0,305
150	30,5	0,305
100	30,5	0,305
50	30,5	0,305
25	30,5	0,305

Fuente: Autor

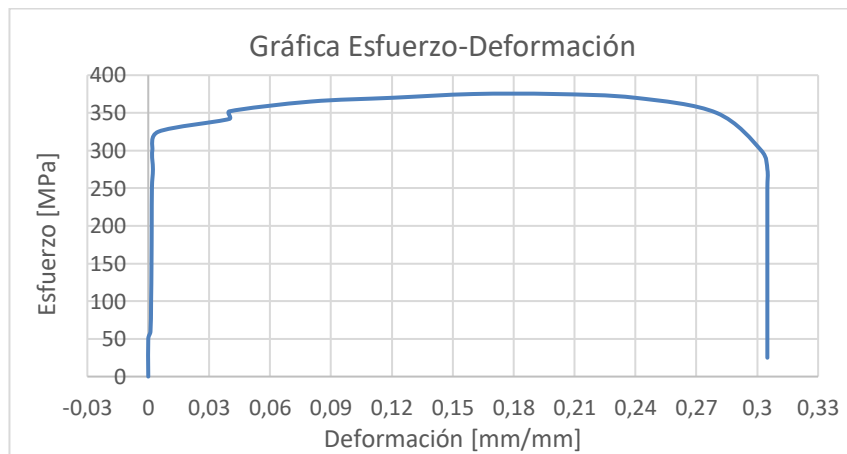


Figura 4-8 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°2.

Fuente: Autor

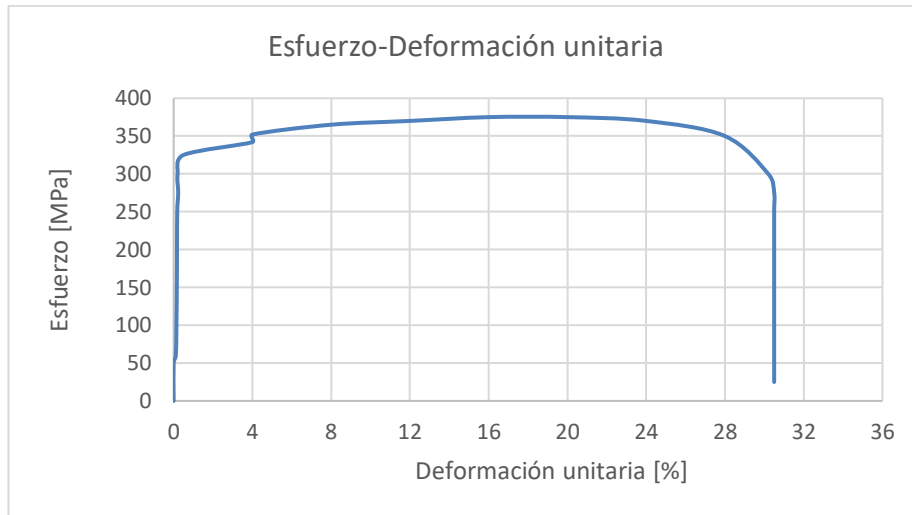


Figura 4-9 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria probeta N°2.  
Fuente: Autor

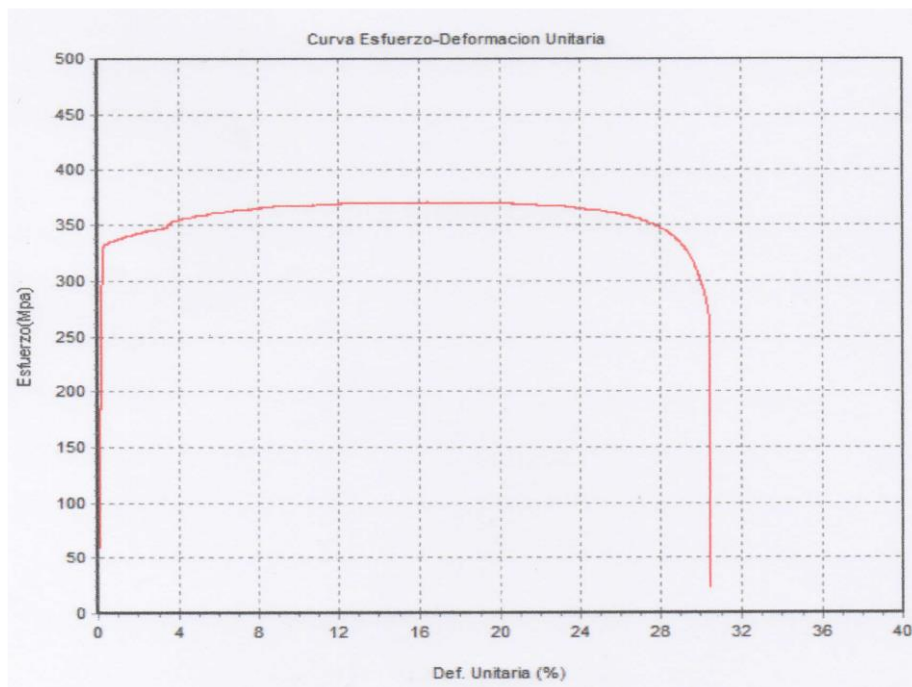


Figura 4-10 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina de ensayos.  
Fuente: Autor





	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO</b> <b>COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 3 ACERO ASTM A500 SIN SOLDADURA</b>			<b>E.T. N°: 003</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C sin soldaduras	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 3	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.78
<b>ESPESOR [mm]:</b>	2.00	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	299.23
<b>ANCHURA [mm]:</b>	13.00	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	9.36
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>):</b>	26	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	360.00
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	128.85	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	26.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación fue del 26% durante el ensayo</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> </ul>			
			
			

Tabla 4-10 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°3 sin soldadura.

<b>ESFUERZO [MPA]</b>	<b>DEFORMACIÓN UNITARIA [%]</b>	<b>DEFORMACIÓN [mm/mm]</b>
0	0	0
50	0	0
60	0,1	0,001
80	0,11	0,0011
120	0,12	0,0012
160	0,13	0,0013
200	0,15	0,0015
240	0,16	0,0016
280	0,2	0,002
300	0,22	0,0022
302	0,5	0,005
304	0,8	0,008
306	1,5	0,015
308	2	0,02
310	2,3	0,023
312	2,5	0,025
314	2,8	0,028
316	3	0,03
318	3,2	0,032
320	3,5	0,035
325	4	0,04
350	8	0,08
358	12	0,12
360	16	0,16
360	20	0,2
354	24	0,24
325	28	0,28
280	29,5	0,295
240	29,8	0,298
200	29,8	0,298
160	29,8	0,298
120	29,8	0,298
80	29,8	0,298
40	29,8	0,298
20	29,8	0,298

Fuente: Autor

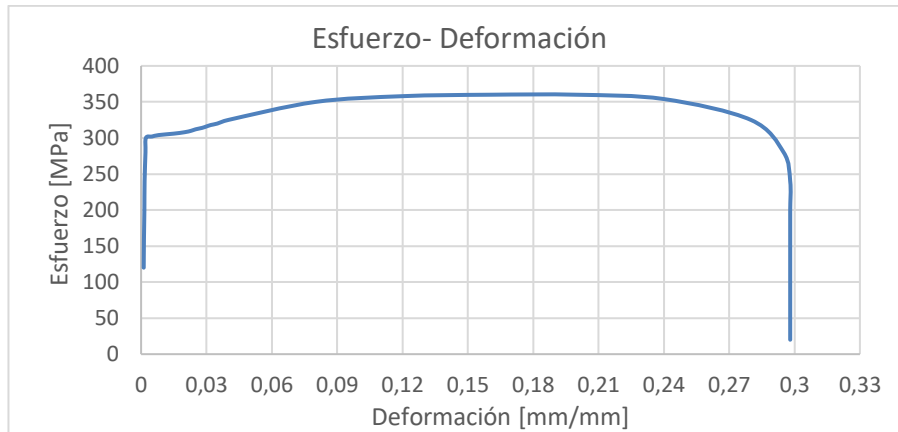


Figura 4-11 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°3.  
Fuente: Autor



Figura 4-12 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°3.  
Fuente: Autor

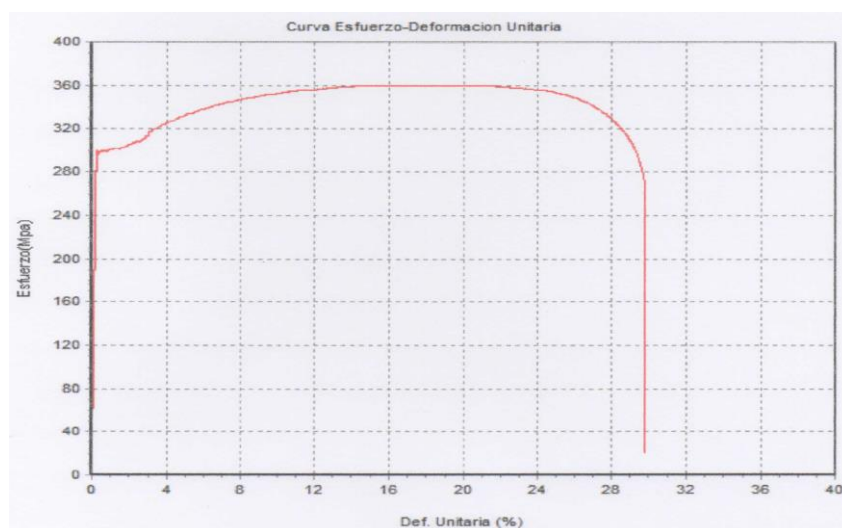


Figura 4-13 Curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina de ensayos.  
Fuente: Autor







	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 4 ACERO ASTM A500 SIN SOLDADURA</b>			<b>E.T. N°: 004</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C sin soldaduras	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 4	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	78.02
<b>ESPESOR [mm]:</b>	2	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	301.50
<b>ANCHURA [mm]:</b>	13.30	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	9.84
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	26.60	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	369.92
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	126.55	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	27.50
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ El ensayo se realizó en la MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B</li> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación fue del 27.5% durante el ensayo</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> </ul>			
			
			

Tabla 4-11 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°4 sin soldadura.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
0	0	0
250	0	0,000
275	0,12	0,0012
300	0,2	0,002
315	1,5	0,015
325	3	0,03
345	6	0,06
355	9	0,09
360	12	0,12
365	15	0,15
370	18	0,18
370	21	0,21
350	24	0,24
300	25,5	0,255
250	26	0,26
200	26	0,26
150	26	0,26
100	26	0,26
50	26	0,26
0	26	0,26

Fuente: Autor

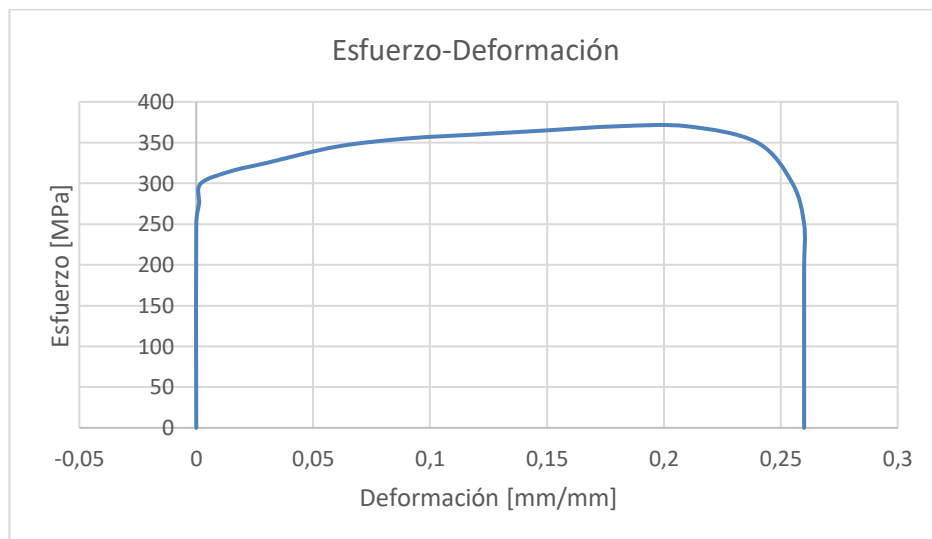


Figura 4-14 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°4.

Fuente: Autor

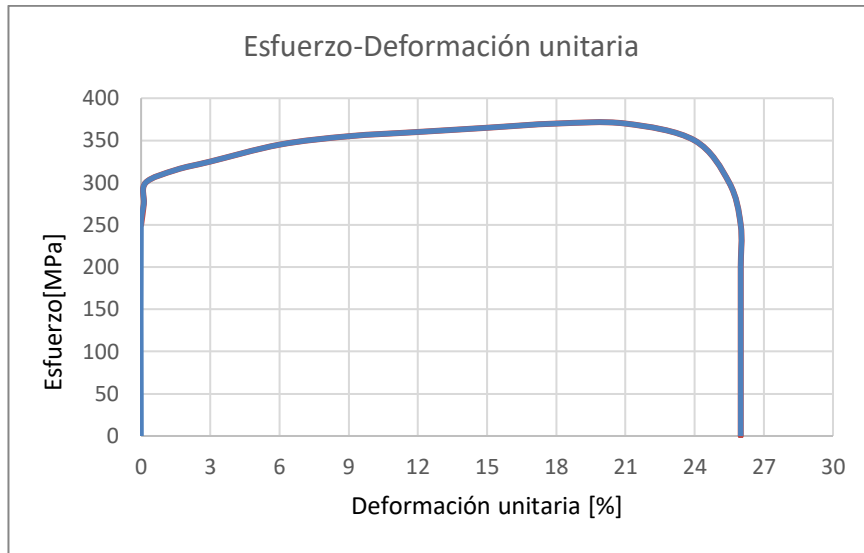


Figura 4-15 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°4  
Fuente: Autor

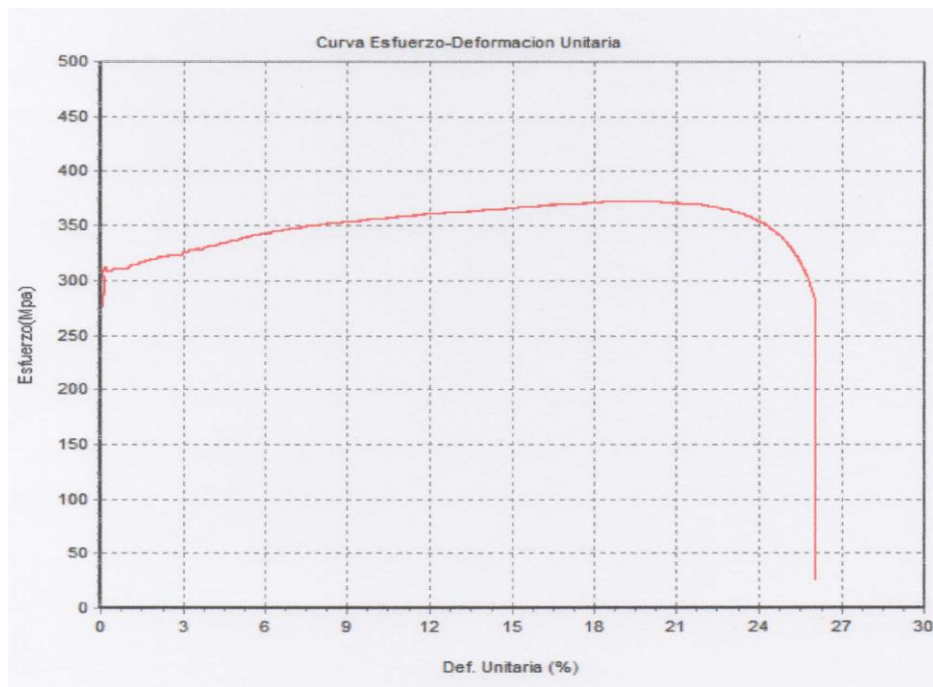


Figura 4-16 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 5 ACERO ASTM A500 SIN SOLDADURA</b>			<b>E.T. N°: 005</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C sin soldaduras	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 5	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.96
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.90	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	335.16
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.50	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	9.16
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	23.75	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	385.68
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	197.94	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	27.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación fue del 27% durante el ensayo</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> </ul>			
			

Tabla 4-12 Datos de la curva Esfuerzo-Deformación probeta N°5 sin soldadura.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
125	0,12	0,0012
150	0,15	0,0015
200	0,18	0,0018
250	0,21	0,0021
300	0,24	0,0024
330	0,35	0,0035
334	1,4	0,014
338	2,8	0,028
350	4	0,04
375	8	0,08
380	12	0,12
385	16	0,16
380	22	0,22
375	24	0,24
350	27	0,27
325	28,5	0,285
300	29	0,29
250	29	0,29
200	29	0,29
150	29	0,29
100	29	0,29
50	29	0,29
25	29	0,29

Fuente: Autor

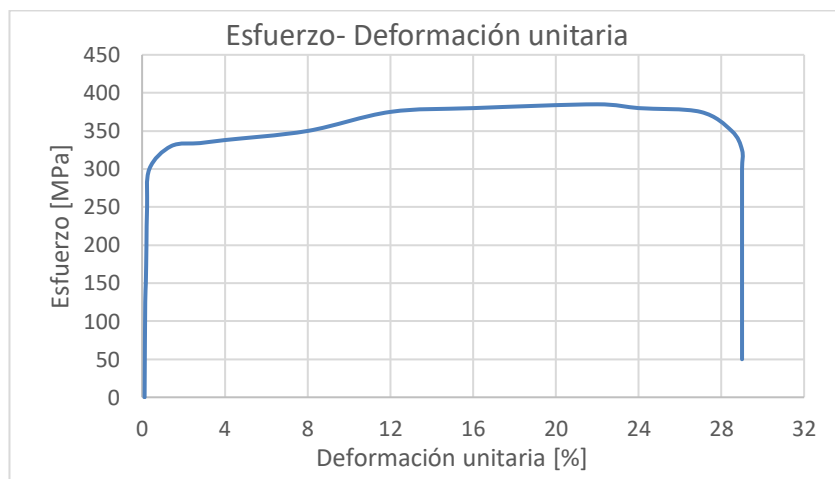


Figura 4-17 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°5.

Fuente: Autor

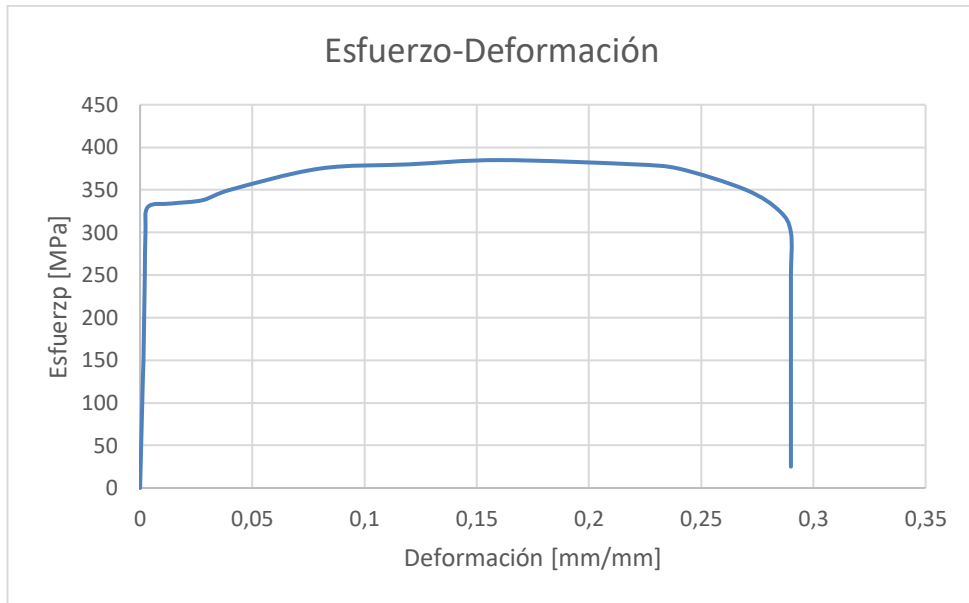


Figura 4-18 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°5.  
Fuente: Autor

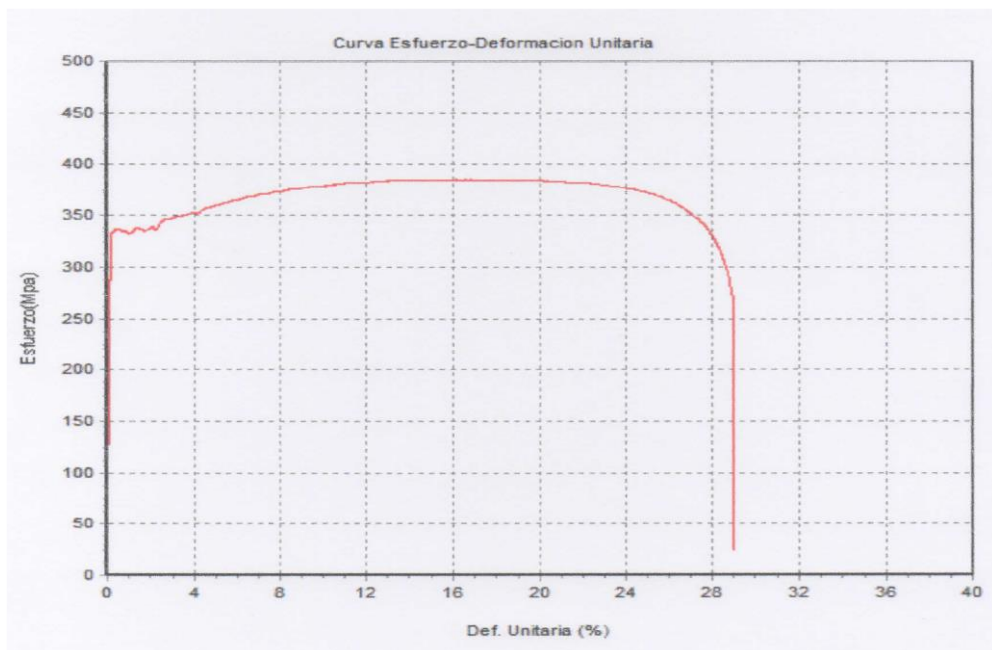


Figura 4-19 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor

#### 4.1.4 ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIAL BASE CON SOLDADURA A TOPE Y ELECTRODO E6011.




	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA “MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 6 ACERO ASTM A500 CON E6011</b>			<b>E.T. N°: 006</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo E6011	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 6	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	4.60
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.7	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	213.06
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.70	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	5.84
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	21.59	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	270.50
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	539.14	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	11.50
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 17%</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			

Tabla 4-13 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°6 con soldadura E6011.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
60	0,11	0,0011
90	0,12	0,0012
120	0,13	0,0013
150	0,14	0,0014
180	0,15	0,0015
210	0,2	0,002
220	0,5	0,005
212	0,8	0,008
225	1,5	0,015
230	2,25	0,0225
238	3	0,03
250	4,5	0,045
255	6	0,06
263	7,5	0,075
268	9	0,09
269	10,5	0,105
240	11,3	0,113
210	11,4	0,114
180	11,4	0,114
150	11,4	0,114
120	11,4	0,114
90	11,4	0,114
60	11,4	0,114
30	11,4	0,114
20	11,4	0,114

Fuente: Autor

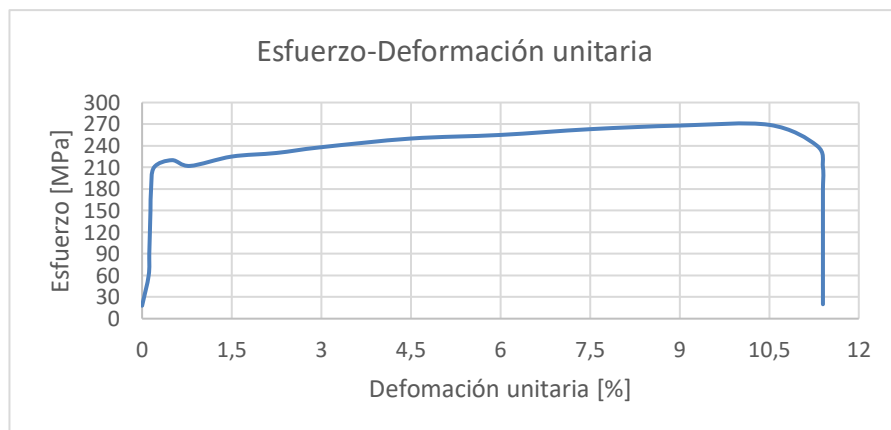


Figura 4-20 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°6.

Fuente: Autor



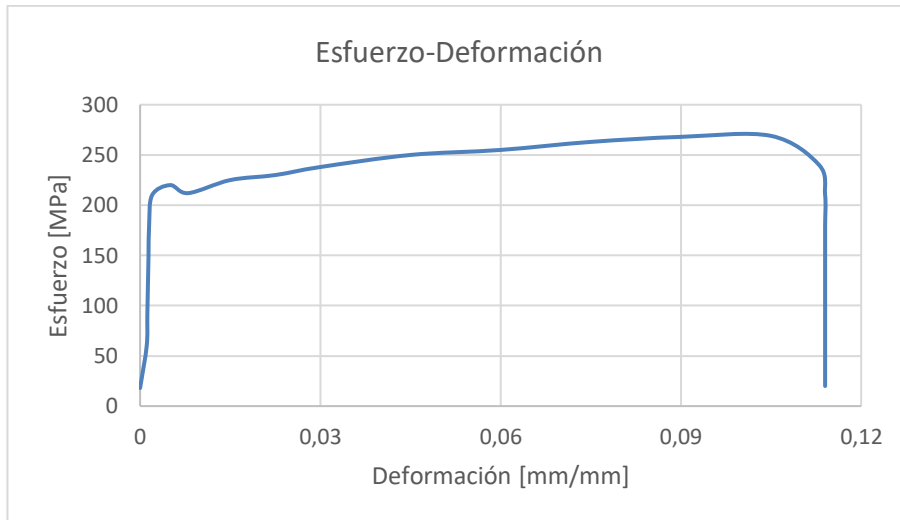


Figura 4-21 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación [mm/mm] probeta N°6.  
Fuente: Autor

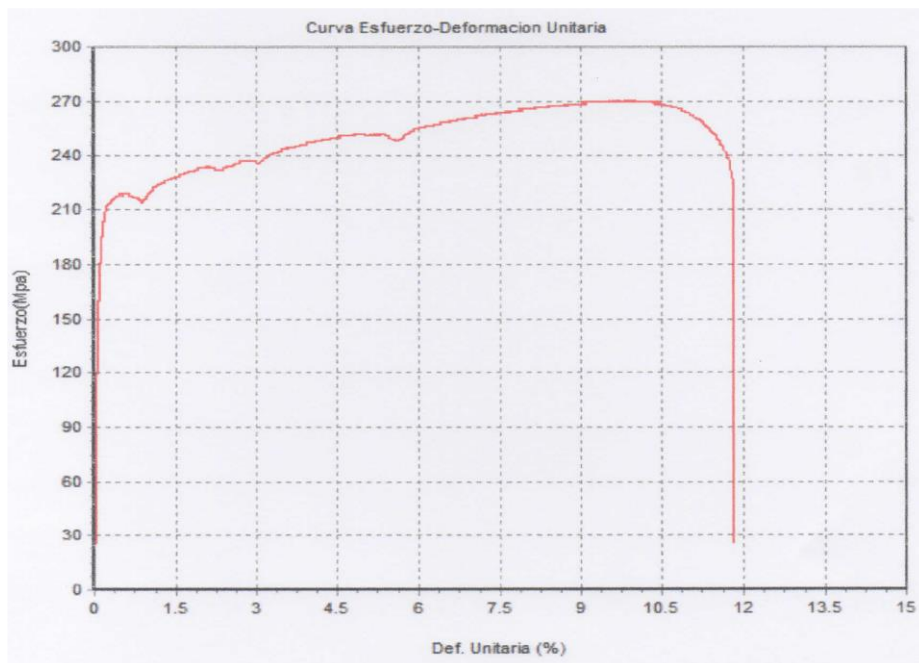


Figura 4-22 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor


	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 7 ACERO ASTM A500 CON E6011</b>			<b>E.T. N°: 007</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo E6011	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 7	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	6.88
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.80	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	294.02
<b>ANCHURA [mm]:</b>	13.00	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	7.02
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	23.40	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	300.00
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	305.25	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	8%
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza.</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 14%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			
			

Tabla 4-14 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°7 con soldadura E6011.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
40	0,006	0,00006
80	0,08	0,0008
120	0,1	0,001
160	0,125	0,00125
200	0,18	0,0018
240	0,2	0,002
290	0,25	0,0025
294	0,5	0,005
295	0,55	0,0055
296	0,62	0,0062
297	0,66	0,0066
298	0,72	0,0072
299	0,77	0,0077
300	0,8	0,008
280	1	0,01
290	2	0,02
300	3	0,03
296	4	0,04
278	5	0,05
240	6	0,06
160	7	0,07
120	7,2	0,072
80	7,5	0,075
20	8	0,08

Fuente: Autor

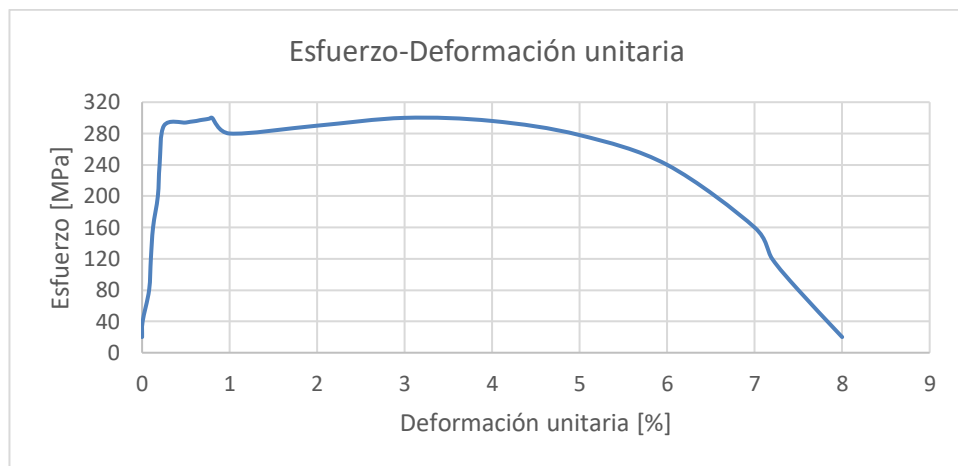


Figura 4-23 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°7.

Fuente: Autor



Figura 4-24 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°7.  
Fuente: Autor

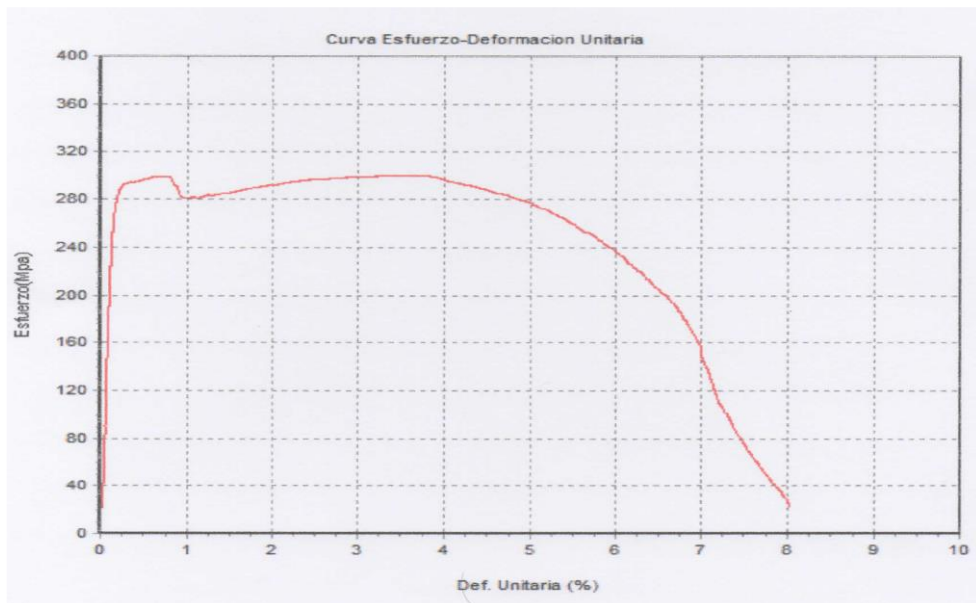


Figura 4-25 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 8 ACERO ASTM A500 CON E6011</b>			<b>E.T. N°: 008</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo E6011	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 8	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.52
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.8	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	307.19
<b>ANCHURA [mm]:</b>	13.6	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	8.98
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	24.48	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	366.83
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	224.18	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	14.50
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 15%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			

Tabla 4-15 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°8 con soldadura E6011.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
48	0,1	0,001
50	0,12	0,0012
100	0,14	0,0014
150	0,16	0,0016
200	0,18	0,0018
250	0,2	0,002
300	0,25	0,0025
312	0,5	0,005
318	1	0,01
322	1,5	0,015
325	2	0,02
340	4	0,04
349	6	0,06
355	8	0,08
363	10	0,1
368	12	0,12
370	14	0,14
348	16	0,16
325	16,25	0,1625
300	16,25	0,1625
250	16,25	0,1625
200	16,25	0,1625
150	16,25	0,1625
100	16,25	0,1625
50	16,25	0,1625
25	16,25	0,1625

Fuente: Autor

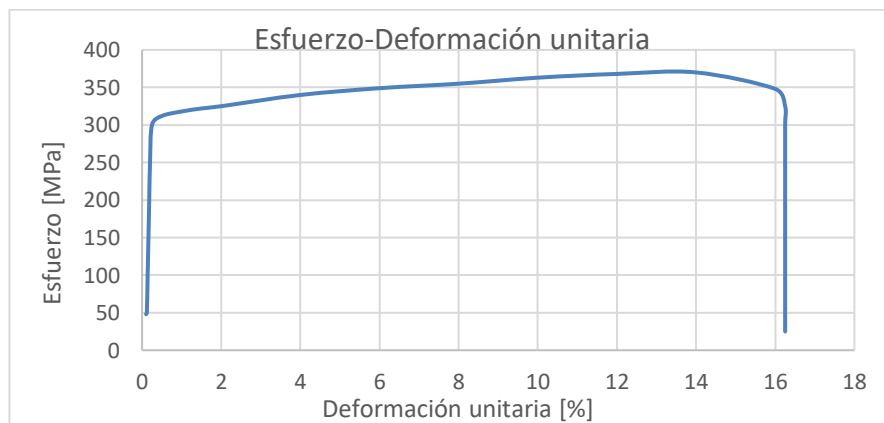


Figura 4-26 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°8.

Fuente: Autor



Figura 4-27 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°8.  
Fuente: Autor

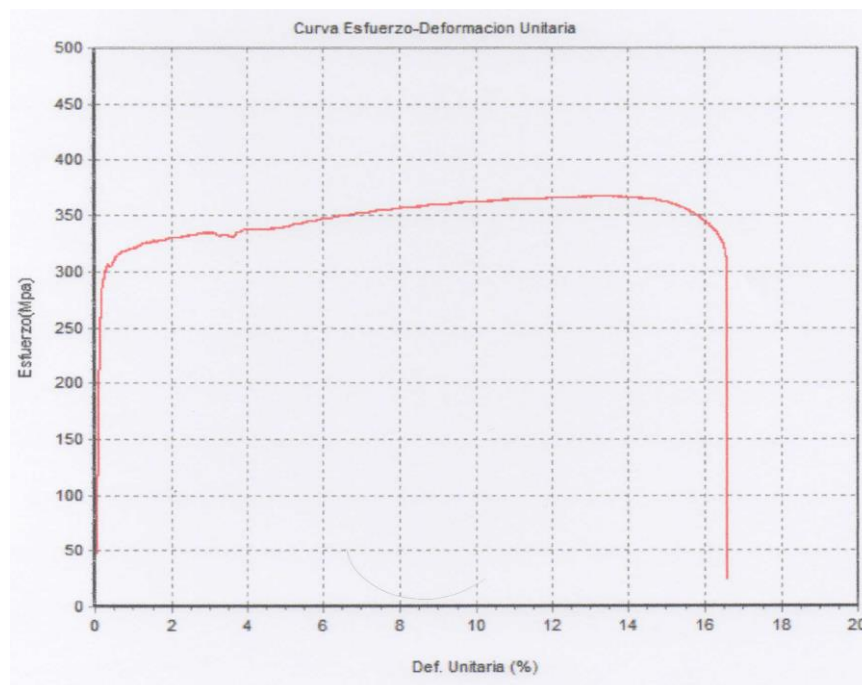


Figura 4-28 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor



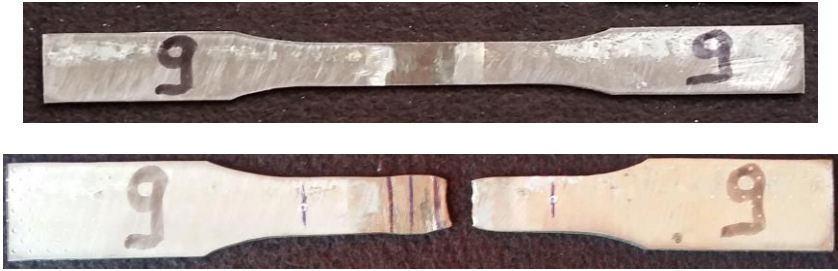
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO</b> <b>COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 9 ACERO ASTM A500 CON E6011</b>			<b>E.T. N°: 009</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo E6011	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 9	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.54
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.70	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	346.51
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.80	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	8.84
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	21.76	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	406.25
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	148.34	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	17.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 23%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			



Tabla 4-16 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°9 con soldadura E6011.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
48	0,1	0,001
50	0,12	0,0012
100	0,14	0,0014
150	0,16	0,0016
200	0,18	0,0018
250	0,2	0,002
300	0,25	0,0025
350	0,8	0,008
360	1,5	0,015
372	3	0,03
385	6	0,06
396	9	0,09
405	12	0,12
410	15	0,15
395	18	0,18
350	18,75	0,1875
300	18,8	0,188
250	18,85	0,1885
200	18,9	0,189
150	19	0,19
100	19,5	0,195
50	20	0,2
25	20,4	0,204

Fuente: Autor

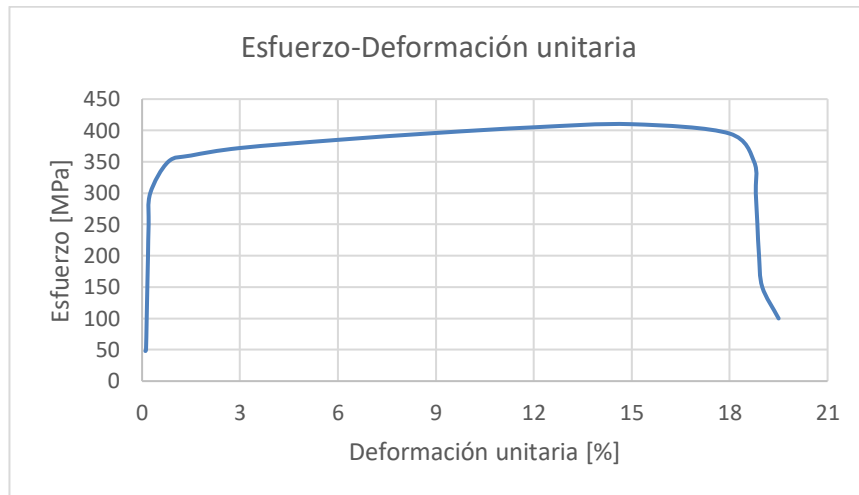


Figura 4-29 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°9.

Fuente: Autor

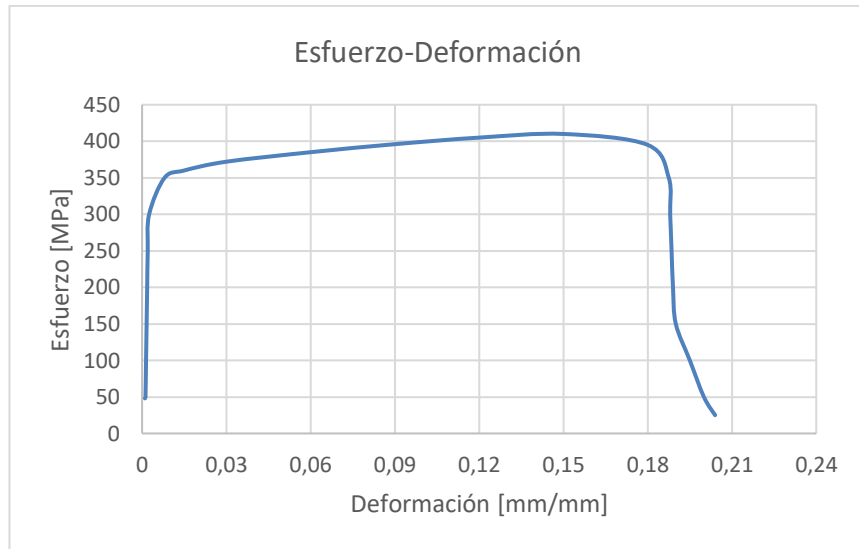


Figura 4-30 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°9.  
Fuente: Autor



Figura 4-31 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 10 ACERO ASTM A500 CON E6011</b>			<b>E.T. N°: 010</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo E6011	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 10	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.18
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.60	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	339.96
<b>ANCHURA [mm]:</b>	13.20	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	8.48
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	21.12	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	401.52
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	132.95	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	11.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 16%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			

Tabla 4-17 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°10 con soldadura E6011.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
50	0,1	0,001
100	0,12	0,0012
150	0,13	0,0013
200	0,14	0,0014
250	0,15	0,0015
300	0,16	0,0016
325	0,3	0,003
350	0,75	0,0075
360	1,25	0,0125
355	1,5	0,015
370	3	0,03
384	4,5	0,045
393	6	0,06
399	7,5	0,075
399	9	0,09
390	10,5	0,105
350	11,6	0,116
300	11,9	0,119
250	12	0,12
200	12,15	0,1215
150	12,35	0,1235
100	12,6	0,126
50	12,8	0,128
25	13	0,13

Fuente: Autor

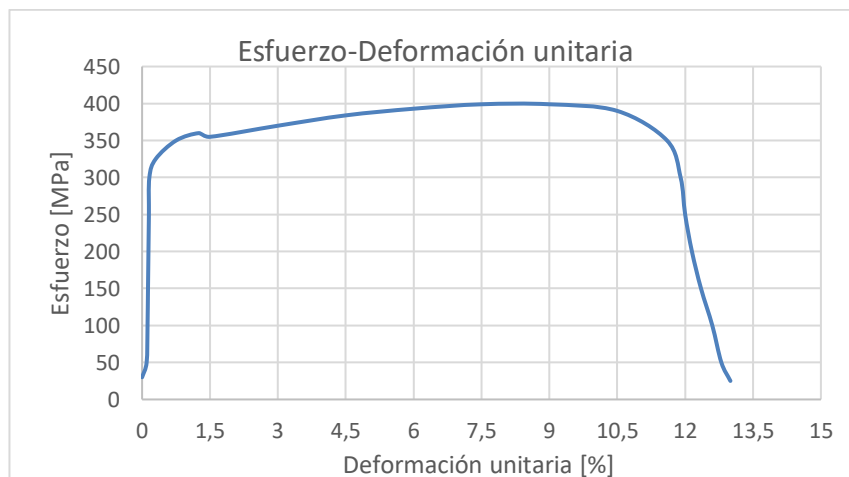


Figura 4-32 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°10.

Fuente: Autor

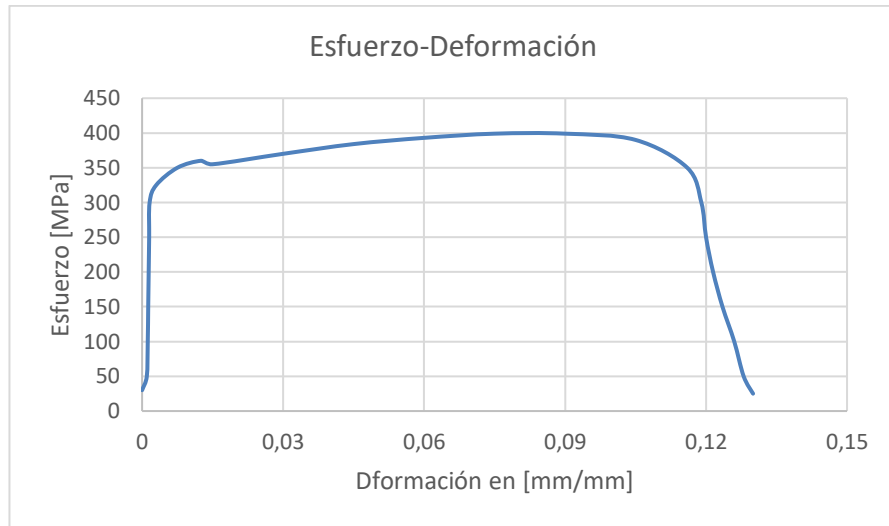


Figura 4-33 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°10.  
Fuente: Autor

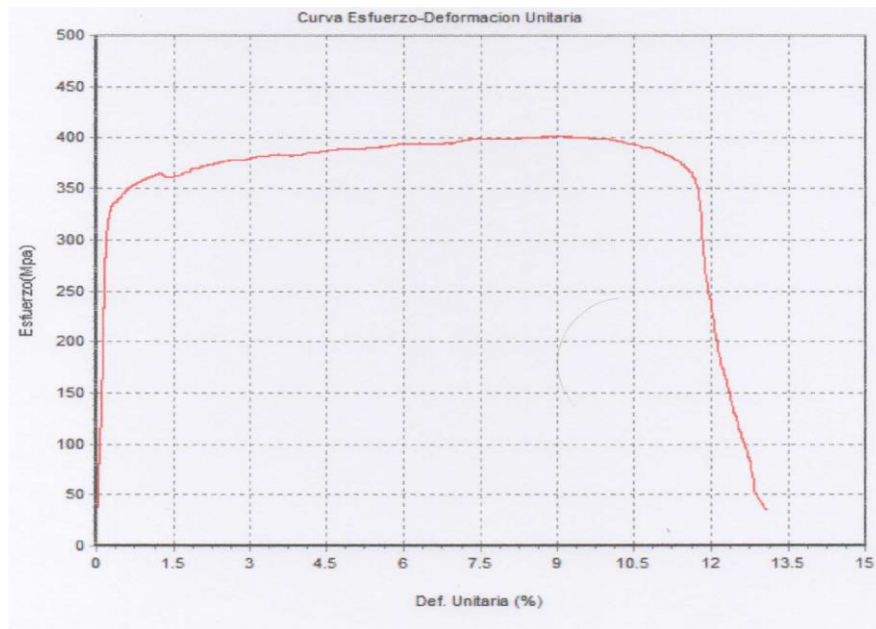


Figura 4-34 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor

#### 4.1.5 ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIAL BASE CON SOLDADURA A TOPE Y ELECTRODO ER70S-6.




	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA “MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 11 ACERO ASTM A500 CON ER70S-6</b>			<b>E.T. N°: 011</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMay”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo ER70S-6	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 11	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	3.78
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.60	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	210.94
<b>ANCHURA [mm]:</b>	11.20	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	4.24
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>):</b>	17.92	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	236.61
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	483.63	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	1.50
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 16%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			

Tabla 4-18 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°11 soldadura ER70S-6.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
20	0,019	0,00019
40	0,03	0,0003
60	0,045	0,00045
80	0,06	0,0006
100	0,07	0,0007
120	0,08	0,0008
140	0,093	0,00093
160	0,11	0,0011
180	0,125	0,00125
200	0,14	0,0014
220	0,15	0,0015
245	0,16	0,0016
260	0,17	0,0017
280	0,19	0,0019
300	0,24	0,0024
315	0,32	0,0032
318	0,4	0,004
316	0,48	0,0048
305	0,56	0,0056
286	0,64	0,0064
280	0,66	0,0066
275	0,68	0,0068
240	0,68	0,0068
200	0,68	0,0068
160	0,68	0,0068
120	0,68	0,0068
80	0,68	0,0068
40	0,68	0,0068
30	0,68	0,0068

Fuente: Autor

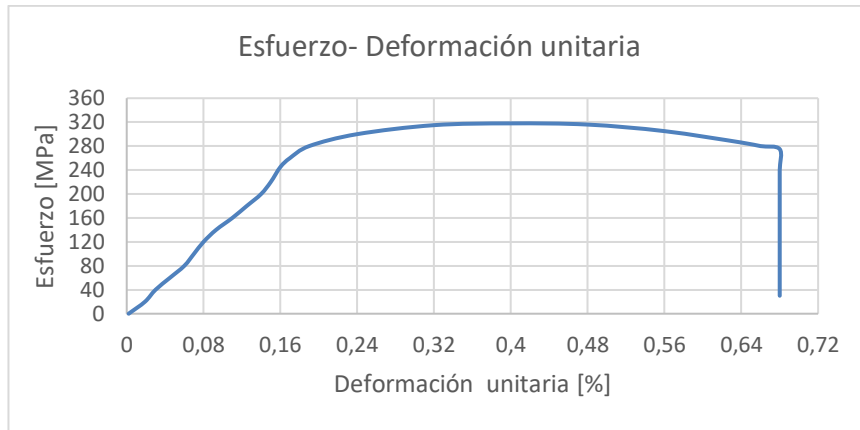


Figura 4-35 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°11.  
Fuente: Autor

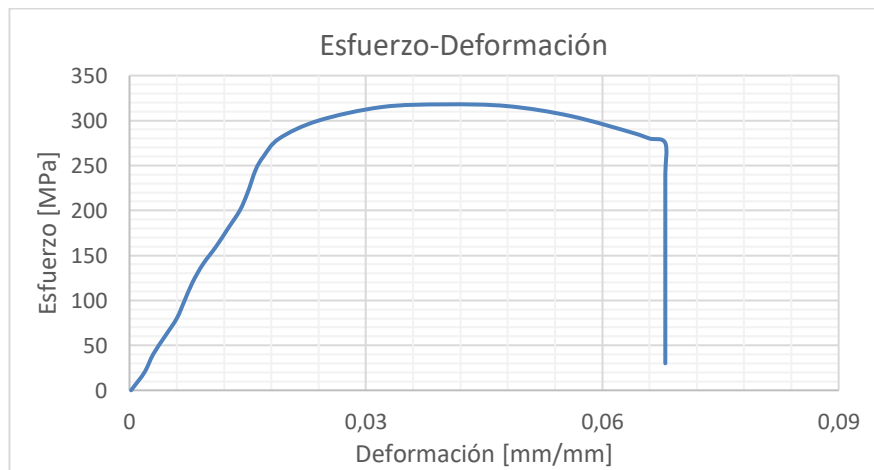


Figura 4-36 Gráfica Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°11.  
Fuente: Autor

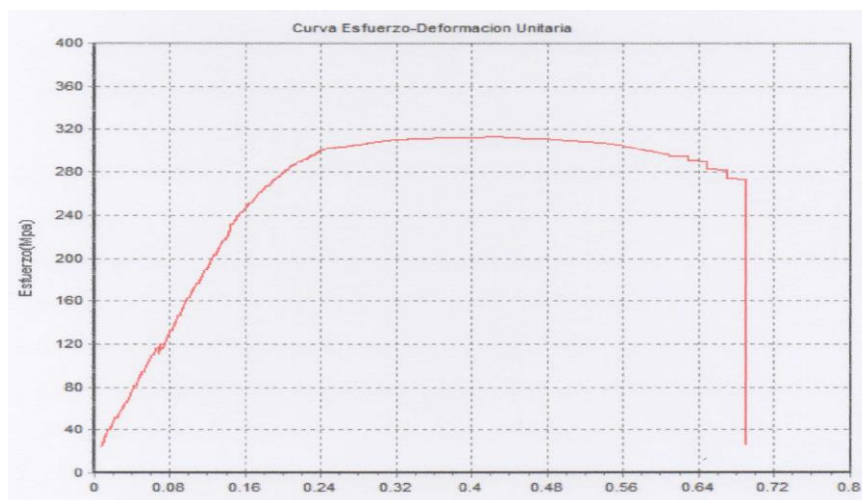


Figura 4-37 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor







	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 12 ACERO ASTM A500 CON ER70S-6</b>			<b>E.T. N°: 012</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo ER70S-6	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 12	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	3.78
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.60	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	210.94
<b>ANCHURA [mm]:</b>	11.20	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	4.24
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	17.92	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	236.61
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	483.63	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	2.5
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 19%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada</li> </ul>			
			
			

Tabla 4-19 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°12 soldadura ER70S-6.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
30	0,0001	0,000001
60	0,0001	0,000001
70	0,02	0,00002
75	0,001	0,00001
90	0,01	0,0001
120	0,02	0,0002
150	0,03	0,0003
180	0,05	0,0005
200	0,2	0,002
210	0,4	0,004
220	0,6	0,006
226	0,8	0,008
229,5	1	0,01
233	1,2	0,012
234	1,4	0,014
236	1,6	0,016
210	1,68	0,0168
180	1,68	0,0168
150	1,68	0,0168
120	1,68	0,0168
90	1,68	0,0168
60	1,68	0,0168
30	1,68	0,0168

Fuente: Autor

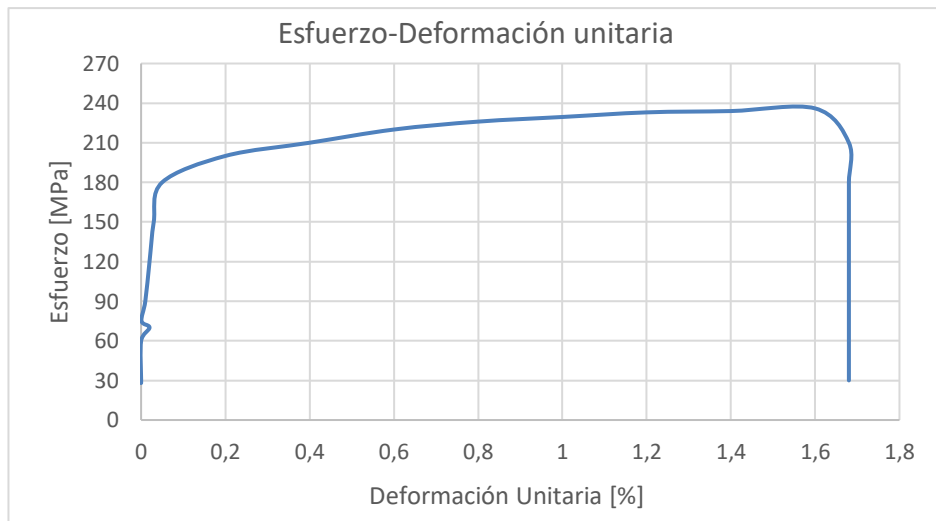


Figura 4-38 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°12.

Fuente: Autor

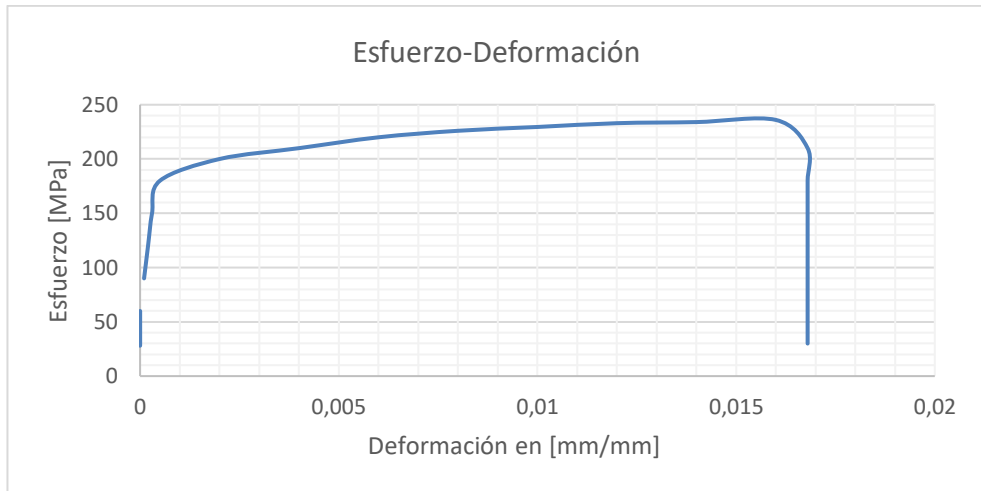


Figura 4-39 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°12.  
Fuente: Autor

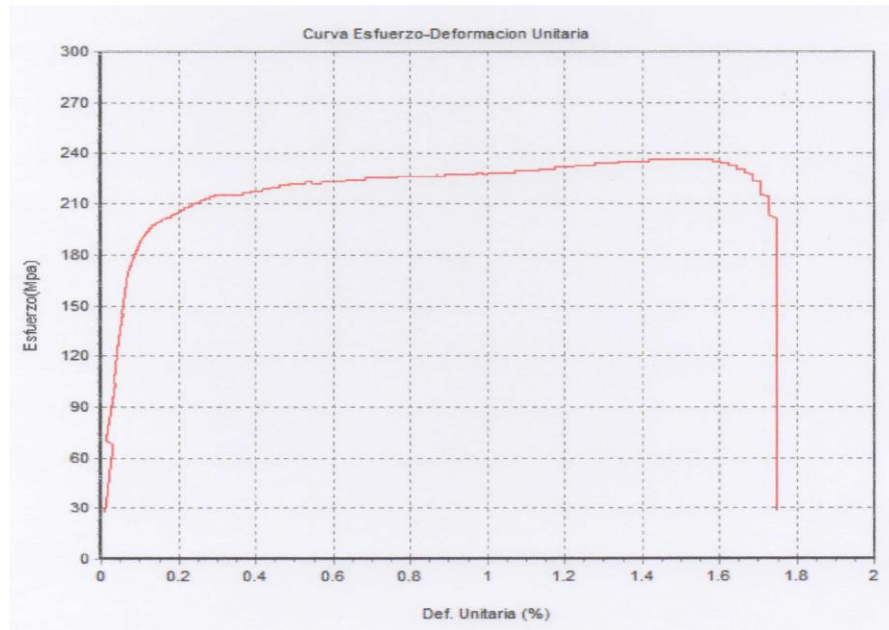


Figura 4-40 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 13 ACERO ASTM A500 CON ER70S-6</b>			<b>E.T. N°: 013</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo ER70S-6	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 13	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	7.34
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.70	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	339.97
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.70	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	8.52
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	21.59	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	394.63
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	191.12	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	16.00
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 18%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada</li> </ul>			
			

Tabla 4-20 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°13 soldadura ER70S-6.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
50	0,1	0,001
100	0,15	0,0015
150	0,19	0,0019
200	0,2	0,002
250	0,21	0,0021
300	0,22	0,0022
345	0,5	0,005
338	1	0,01
360	2	0,02
370	4	0,04
378	6	0,06
385	8	0,08
390	10	0,1
392	12	0,12
388	14	0,14
350	15,8	0,158
300	16,2	0,162
250	16,2	0,162
200	16,2	0,162
150	16,2	0,162
100	16,2	0,162
50	16,2	0,162
25	16,2	0,162

Fuente: Autor

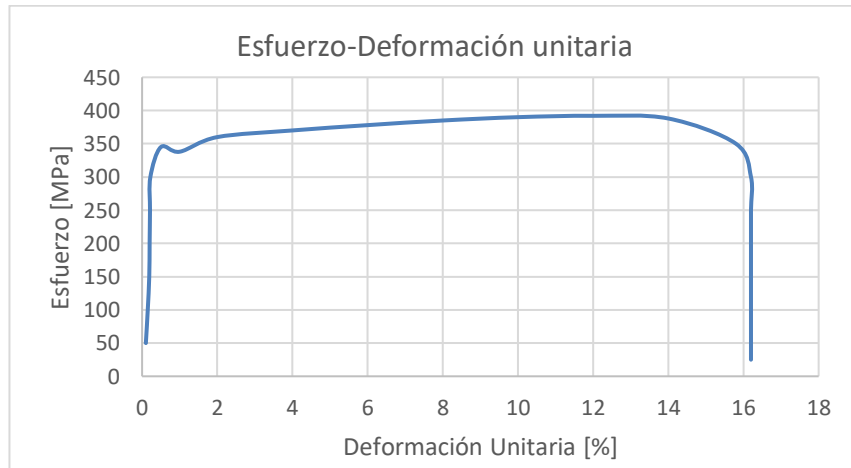


Figura 4-41 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°13.

Fuente: Autor

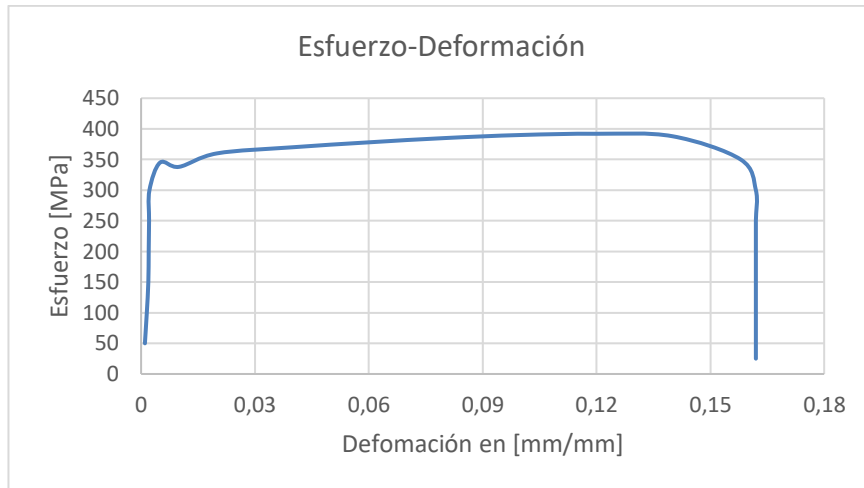


Figura 4-42 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°13.  
Fuente: Autor



Figura 4-43 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor





	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 14 ACERO ASTM A500 CON ER70S-6</b>			<b>E.T. N°: 014</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo ER70S-6	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 14	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	4.38
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.6	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	228.13
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.00	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	4.94
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>):</b>	19.20	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	257.29
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	226.93	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	3.0
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 19%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			
			

Tabla 4-21 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°14 soldadura ER70S-6.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
25	0,0025	0,000025
30	0,025	0,00025
60	0,035	0,00035
90	0,045	0,00045
120	0,055	0,00055
150	0,065	0,00065
180	0,085	0,00085
210	0,17	0,0017
230	0,3	0,003
245	0,45	0,0045
250	0,6	0,006
258	0,9	0,009
260	1,2	0,012
260	1,5	0,015
250	1,8	0,018
210	2,1	0,021
200	2,14	0,0214
180	2,16	0,0216
150	2,16	0,0216
120	2,16	0,0216
90	2,16	0,0216
65	2,16	0,0216

Fuente: Autor

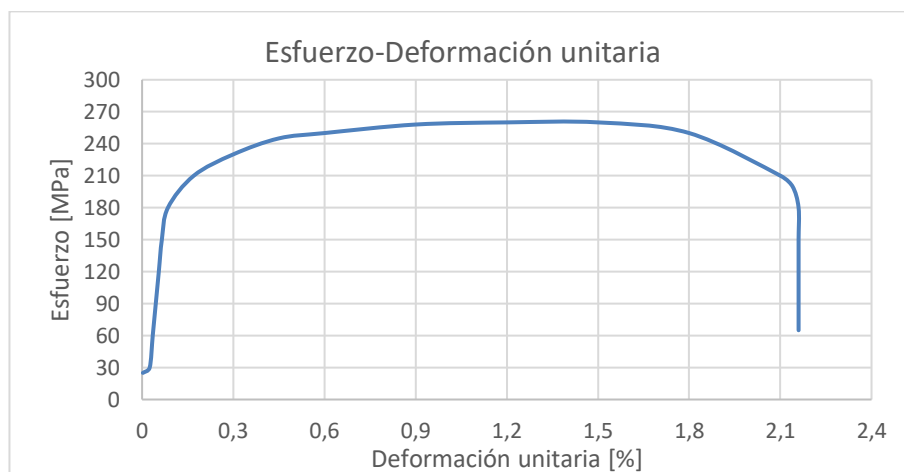


Figura 4-44 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta °14.

Fuente: Autor





Figura 4-45 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°14.  
Fuente: Autor

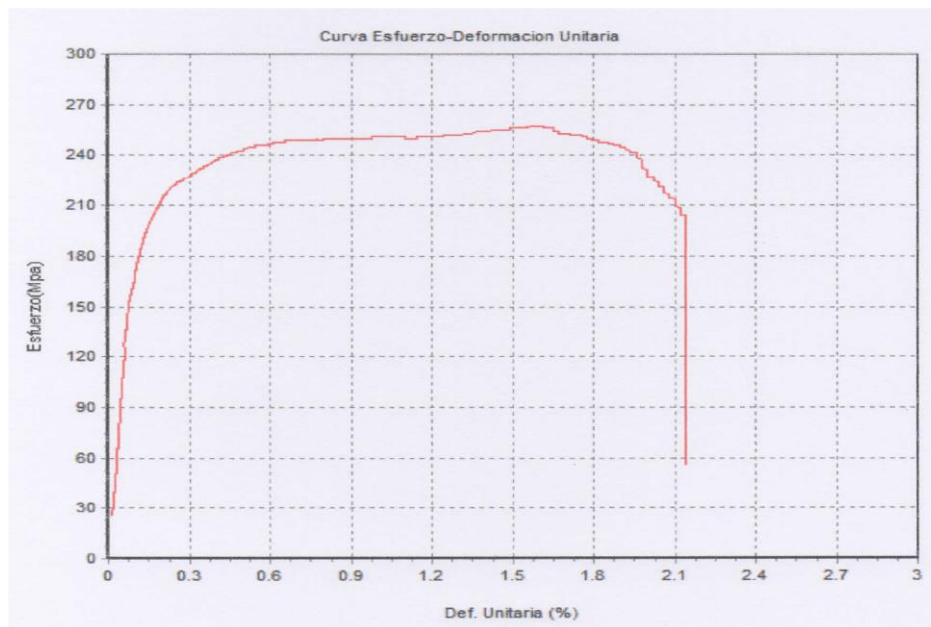


Figura 4-46 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor




	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>“MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN DISEÑO</b> <b>COHORTE 2017”</b>		
<b>FICHA DE DATOS PROBETA N° 15 ACERO ASTM A500 CON ER70S-6</b>			<b>E.T. N°: 015</b>
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Luis R Carrasco C.	<b>Realizado por:</b>	Ing. Aníbal Viñan B. Msc
<b>Lugar de Realización:</b>	Laboratorio de ensayos de materiales “LenMav”	<b>Fecha de ejecución:</b>	5/05/2020
<b>Material</b>	Probeta de acero ASTM A500 Gr C con soldadura de electrodo ER70S-6	<b>Denominación del ensayo en laboratorio</b>	RG: -18-02
<b>Temperatura Ambiente del Lugar</b>	20°C	<b>Norma utilizada</b>	ASTM E8
<b>Equipo utilizado:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS – WAW <b>Marca:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO. LTD <b>Serie:</b> 7136 <b>Certificado:</b> LNM-F-2016500064D <b>COD IDENT:</b> M1			
<b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>			
<b>DESIGNACIÓN DEL MATERIAL:</b>	Probeta N° 15	<b>CARGA DE FLUENCIA [KN]:</b>	6.40
<b>ESPESOR [mm]:</b>	1.6	<b>ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]:</b>	312.50
<b>ANCHURA [mm]:</b>	12.80	<b>CARGA MÁXIMA [KN]:</b>	6.42
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL [mm<sup>2</sup>]:</b>	20.48	<b>ESFUERZO MÁXIMO [MPa]:</b>	313.48
<b>MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]:</b>	362.24	<b>PORCENTAJE DE ELONGACIÓN [%]:</b>	4.5
<b>OBSERVACIONES</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La factura que se obtuvo del ensayo es un tipo cono y taza</li> <li>➤ El porcentaje de elongación en la zona soldada fue del 25%.</li> <li>➤ La longitud inicial del deformímetro fue de 100mm.</li> <li>➤ Ubicación de la fractura en la zona soldada.</li> </ul>			
			

Tabla 4-22 Datos curva Esfuerzo-Deformación probeta N°15 soldadura ER70S-6.

ESFUERZO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN [mm/mm]
40	0,004	0,00004
80	0,008	0,00008
120	0,03	0,0003
160	0,06	0,0006
200	0,09	0,0009
240	0,12	0,0012
280	0,17	0,0017
310	0,3	0,003
308	0,6	0,006
312	0,75	0,0075
300	1,2	0,012
305	1,4	0,014
295	1,8	0,018
288	2	0,02
282	2,4	0,024
280	3	0,03
260	3,2	0,032
262	3,6	0,036
240	3,9	0,039
220	4,025	0,04025
200	4,05	0,0405
170	4,2	0,042
140	4,5	0,045
80	4,85	0,0485
40	4,85	0,0485
20	4,85	0,0485

Fuente: Autor

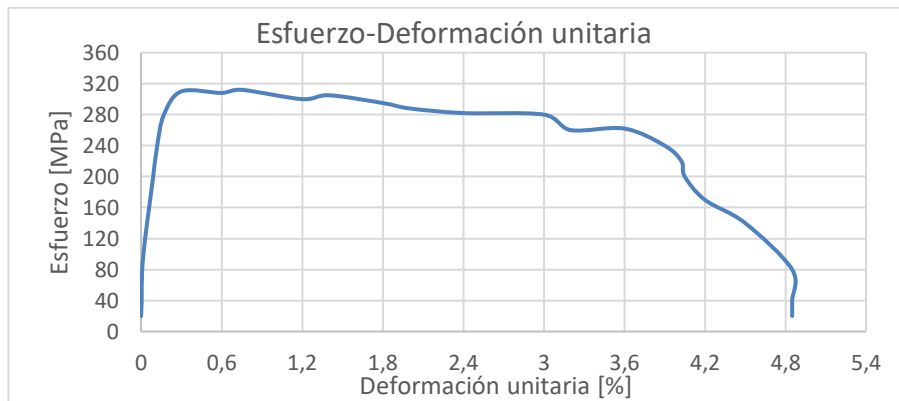


Figura 4-47 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación unitaria [%] probeta N°15.

Fuente: Autor

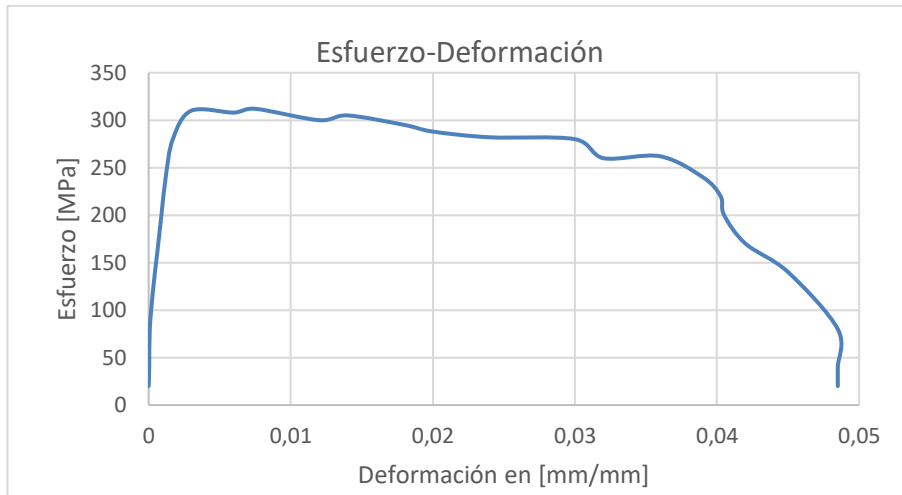


Figura 4-48 Gráfica curva Esfuerzo-Deformación en [mm/mm] probeta N°15.  
Fuente: Autor

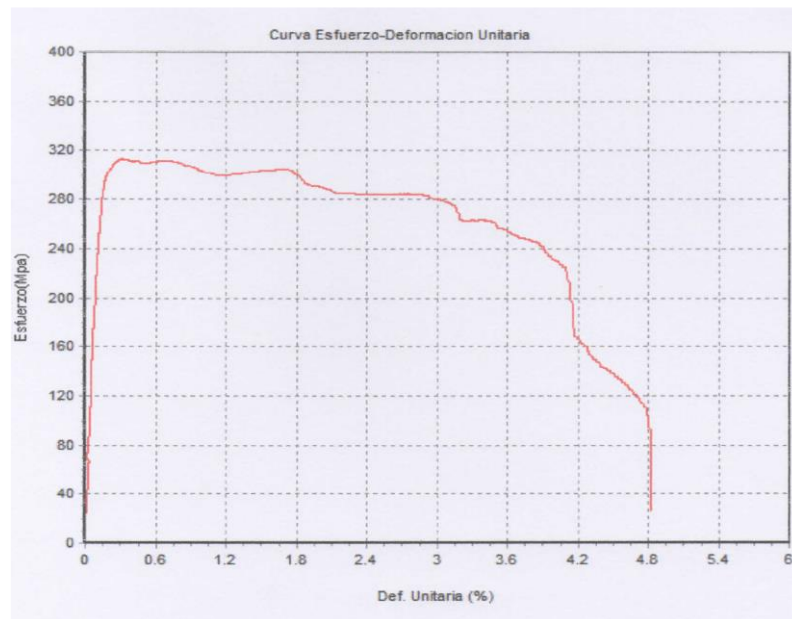


Figura 4-49 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación dada por la máquina.  
Fuente: Autor

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

### 4.2.1 CURVA PROMEDIO PARA EL DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE MATERIAL BASE SIN SOLDADURA.

Tabla 4-23 Datos de la curva promedio de la gráfica Esfuerzo-Deformación para las placas de material base sin soldadura

ESFUERZO PROMEDIO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA PROMEDIO [%]	DEFORMACIÓN PROMEDIO [mm/mm]
120,00	0,03	0,00030
135,67	0,11	0,00110
166,67	0,15	0,00150
202,17	0,48	0,00476
237,67	0,85	0,00849
270,90	1,60	0,01602
290,43	2,59	0,02587
307,90	3,65	0,03648
323,23	4,72	0,04720
335,63	7,17	0,07169
340,00	9,06	0,09060
339,23	11,69	0,11692
326,63	14,58	0,14580
314,60	16,22	0,16220
296,90	17,95	0,17952
277,20	19,34	0,19340
254,33	20,47	0,20472
219,13	21,12	0,21120
187,93	21,34	0,21336
175,80	21,34	0,21340
163,75	21,34	0,21340
141,60	21,34	0,21340
123,65	21,34	0,21340
112,67	21,34	0,21340
103,13	21,34	0,21340
90,27	21,34	0,21340
88,50	21,34	0,21340
76,00	21,34	0,21340
64,00	21,34	0,21340
52,00	21,34	0,21340
40,00	21,34	0,21340
28,00	21,34	0,21340
16,00	21,34	0,21340

Fuente: Autor



Figura 4-50 Gráfica de la curva promedio Esfuerzo-Deformación para las placas de material base sin soldadura  
Fuente: Autor

La figura anterior se muestra la curva promedio del diagrama esfuerzo-deformación de las cinco probetas de material base de acero ASTM A500 sin soldaduras definiendo así una gráfica de esfuerzo-deformación real del material utilizado en la investigación y que se compara con las curvas promedio de los ensayos de las probetas con material base de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y material base de acero ASTM A500 con electrodo ER70S-6. Para la realización de esta curva promedio se calculó la media aritmética del esfuerzo con su respectivo valor de deformación de las probetas ensayadas. Estas curvas se utilizarán en el capítulo 6 para los análisis de impacto de la carrocería y la influencia del proceso de soldadura en la resistencia final.

#### 4.2.2 CURVA PROMEDIO PARA EL DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE MATERIAL BASE CON SOLDADURA DE ELECTRODO E6011.

Tabla 4-24 Datos de la curva promedio de la gráfica Esfuerzo-Deformación para las placas de material base con soldadura de electrodo E6011.

ESFUERZO PROMEDIO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA [%]	DEFORMACIÓN PROMEDIO [mm/mm]
32,8	0,04	0,0004
50	0,0912	0,000912
94	0,12	0,0012
138	0,136	0,00136
182	0,153	0,00153
226	0,176	0,00176
270	0,212	0,00212
299,4	0,47	0,0047
306,8	0,91	0,0091
314,8	1,56	0,0156
318,2	2,474	0,02474
328,2	3,932	0,03932
337,2	5,544	0,05544
342,4	7,154	0,07154
344	8,76	0,0876
333	9,95	0,0995
323,8	11,16	0,1116
297,6	12,15	0,1215
266,2	12,49	0,1249
231,6	12,73	0,1273
188	13,06	0,1306
136	13,4	0,134
97	13,57	0,1357
58	13,57	0,1357
25	13,57	0,1357
9	13,57	0,1357

Fuente: Autor

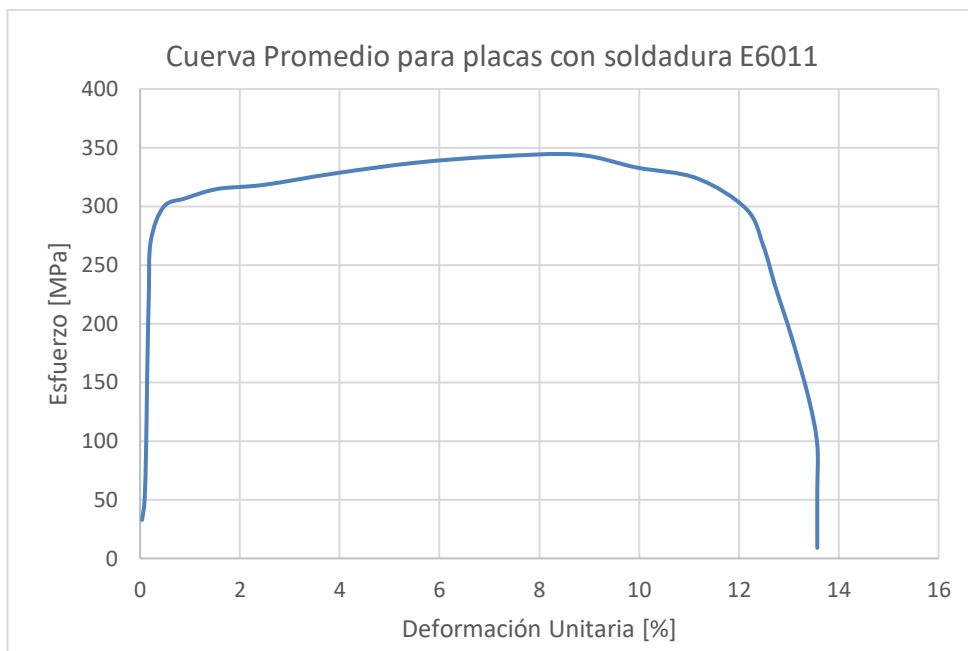


Figura 4-51 Gráfica de la curva promedio Esfuerzo-Deformación para las placas con soldadura de electrodo E6011.

Fuente: Autor

#### 4.2.3 CURVA PROMEDIO PARA EL DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE MATERIAL BASE CON SOLDADURA DE ELECTRODO ER70S-6.

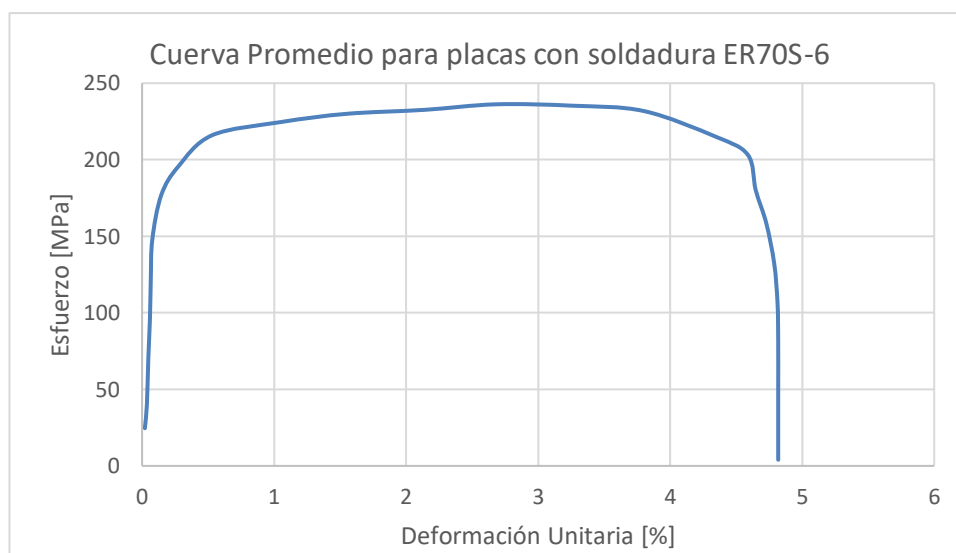


Figura 4-52 Gráfica de la curva promedio Esfuerzo-Deformación para las placas de material base con soldadura de electrodo ER70S-6.

Fuente: Autor



Tabla 4-25 Datos de la curva promedio de la gráfica Esfuerzo-Deformación para las placas de material base con soldadura de electrodo ER70S-6

ESFUERZO PROMEDIO [MPa]	DEFORMACIÓN UNITARIA PROMEDIO [%]	DEFORMACIÓN PROMEDIO [mm/mm]
24,6	0,0209	0,000209
40	0,03622	0,0003622
70	0,04702	0,0004702
96	0,0594	0,000594
121	0,0656	0,000656
148	0,0774	0,000774
177	0,1454	0,001454
195,6	0,2744	0,002744
216	0,5304	0,005304
224,6	1,0504	0,010504
230	1,5504	0,015504
232,6	2,1404	0,021404
236,2	2,6804	0,026804
235,3	3,2604	0,032604
231,8	3,8004	0,038004
215,2	4,3404	0,043404
203,2	4,5884	0,045884
180	4,6484	0,046484
158,4	4,7284	0,047284
132	4,7884	0,047884
106	4,8134	0,048134
81	4,8184	0,048184
51	4,8184	0,048184
34	4,8184	0,048184
16	4,8184	0,048184
8	4,8184	0,048184
4	4,8184	0,048184

Fuente: Autor

#### 4.2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS PROMEDIO PARA LAS PROBETAS DE MATERIAL BASE (ASTM A500) SIN SOLDADURA.

Tabla 4-26 Tabla de propiedades promedio para las probetas de acero ASTM A500

	PROPIEDAD	P1	P2	P3	P4	P5	PROMEDIO
Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD	7850	7850	7850	7850	7850	7850
GPa	Módulo de Elasticidad (GPa)	141,22	154,9	128,85	126,55	197,64	149,832
N/A	Módulo de POISSON	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
MPa	Esfuerzo de fluencia (MPa)	312,6	333,33	299,23	301,5	335,16	316,364
%	Porcentaje de elongación	24	25	26	27,5	27	25,9
MPa	Esfuerzo Máximo (MPa)	371,65	370,93	360	369,92	385,68	371,636

Fuente: Autor

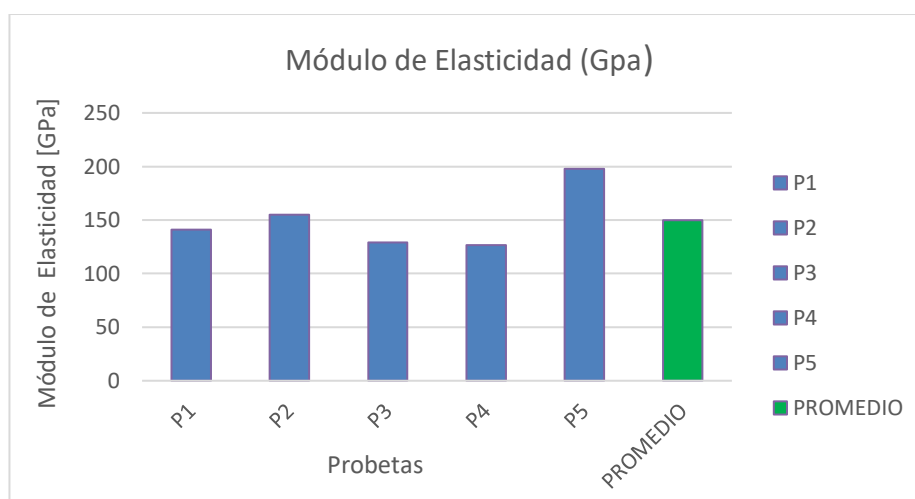


Figura 4-53 Módulo de elasticidad para las placas de acero ASTM A500 y su promedio.

Fuente: Autor

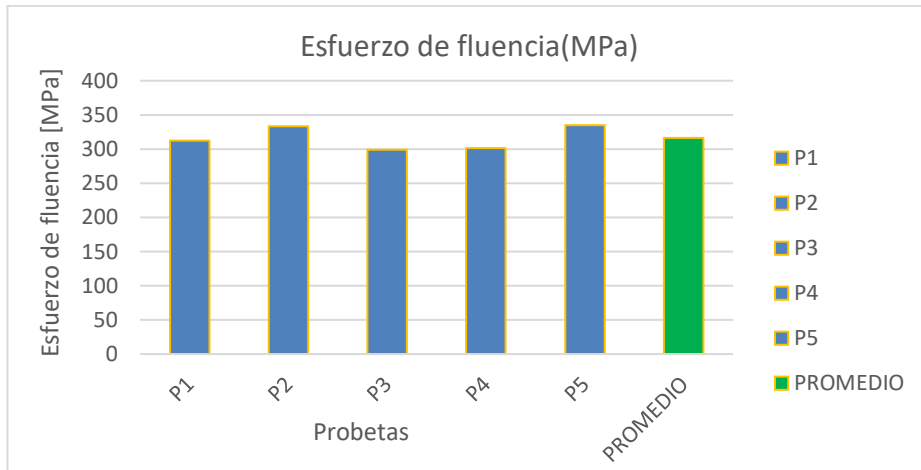


Figura 4-54 Esfuerzo de fluencia para las placas de acero ASTM A500 y su promedio.  
Fuente: Autor

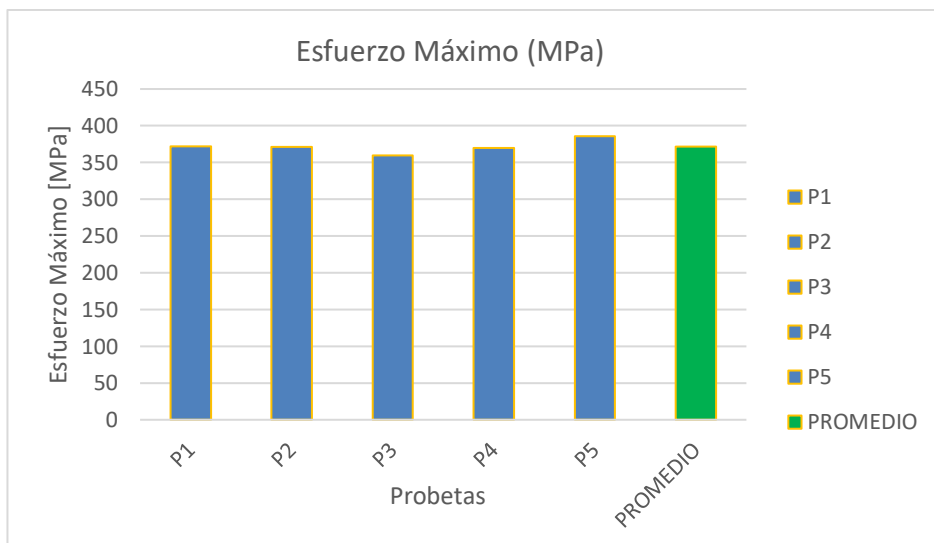


Figura 4-55 Esfuerzo máximo para las placas de acero ASTM A500 y su promedio.  
Fuente: Autor

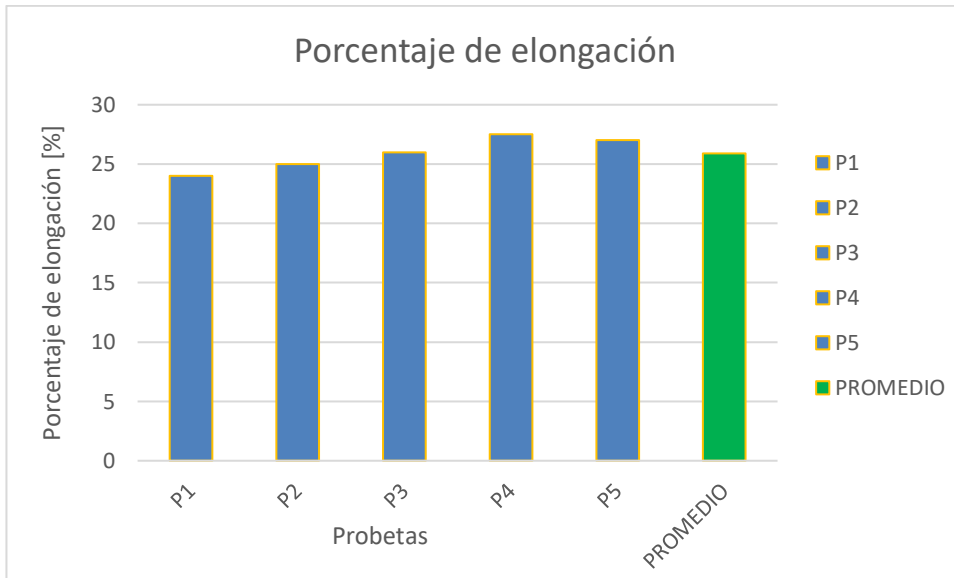


Figura 4-56 Porcentaje de elongación para las placas de acero ASTM A500 y su promedio.  
Fuente: Autor

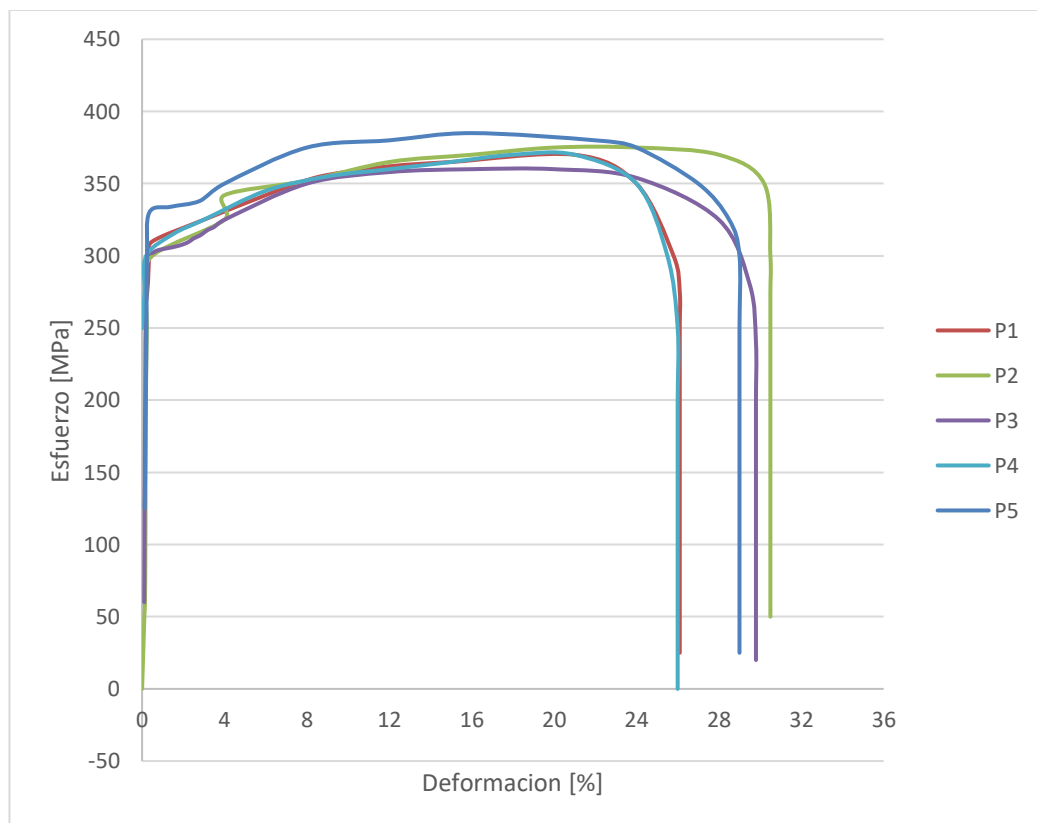


Figura 4-57 Curvas de placas de acero ASTM A500 sin soldadura.  
Fuente: Autor

Para las probetas de material base de acero ASTM A500 sin soldadura el módulo de elasticidad fluctúa entre valores de 197GPa y 126GPa, esta diferencia de los valores no es muy grande y está dentro de la variación normal de los ensayos, siendo el promedio de 150GPa. El esfuerzo de fluencia igualmente no presenta valores que difieran mucho entre si y su promedio está en 316MPa. El porcentaje de elongación en promedio para las placas sin soldadura fue muy similar en todas y su media aritmética fue de 25%. Mientras que el promedio del esfuerzo máximo de las placas fue de 371MPa.

La figura 4-57 representa las curvas de esfuerzo-deformación para las cinco probetas de material base de acero ASTM A500 sin soldaduras donde se puede notar que son muy semejantes y los valores de límite de fluencia, módulo de elasticidad y resistencia última están muy cercanos entre sí, lo que nos ratifica que el ensayo de tracción fue correctamente realizado.

#### 4.2.5 PROPIEDADES MECÁNICAS PROMEDIO PARA LAS PROBETAS DE MATERIAL BASE (ASTM A500) CON SOLDADURA DE ELECTRODO E6011.

Tabla 4-27 Tabla de propiedades promedio para las probetas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011.

	PROPIEDAD	P6	P7	P8	P9	P10	PROMEDIO
Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD	7850	7850	7850	7850	7850	7850,00
GPa	Módulo de Elasticidad (GPa)	539,14	305,25	224,18	148,34	132,95	269,97
--	Módulo de POISSON	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,30
MPa	Esfuerzo de fluencia (MPa)	213,06	294,02	307,19	346,51	339,96	300,15
mm/mm	Porcentaje de elongación	17	14	15	23	16	17
MPa	Esfuerzo Máximo (MPa)	270,5	300	366,83	406,25	401,52	349,02

Fuente: Autor

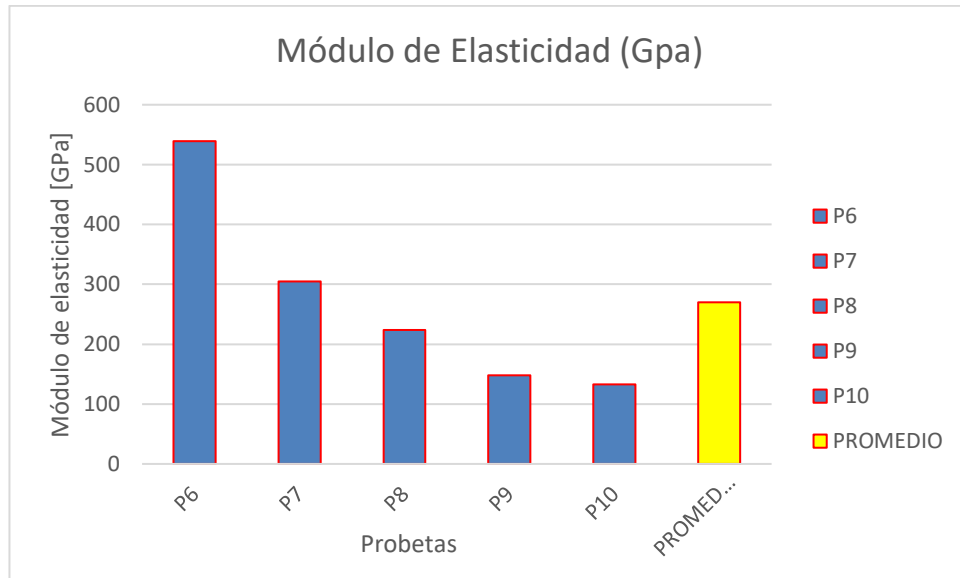


Figura 4-58 Módulo de elasticidad para las placas de acero ASTM A500 con soldadura E6011 y su promedio.  
Fuente: Autor

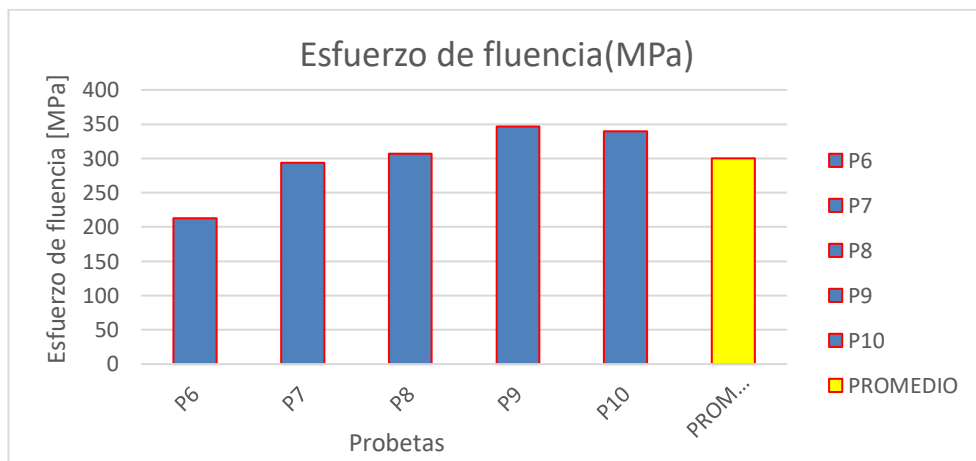


Figura 4-59 Esfuerzo de fluencia para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y su promedio.  
Fuente: Autor

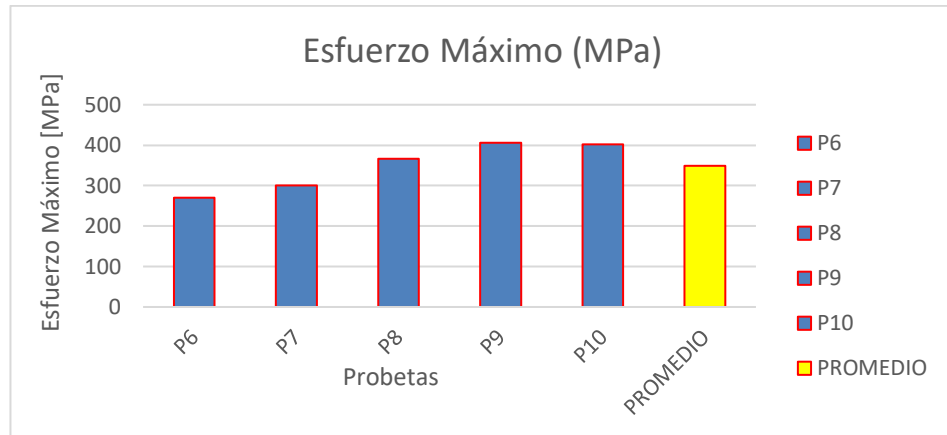


Figura 4-60 Esfuerzo máximo para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y su promedio.  
Fuente: Autor

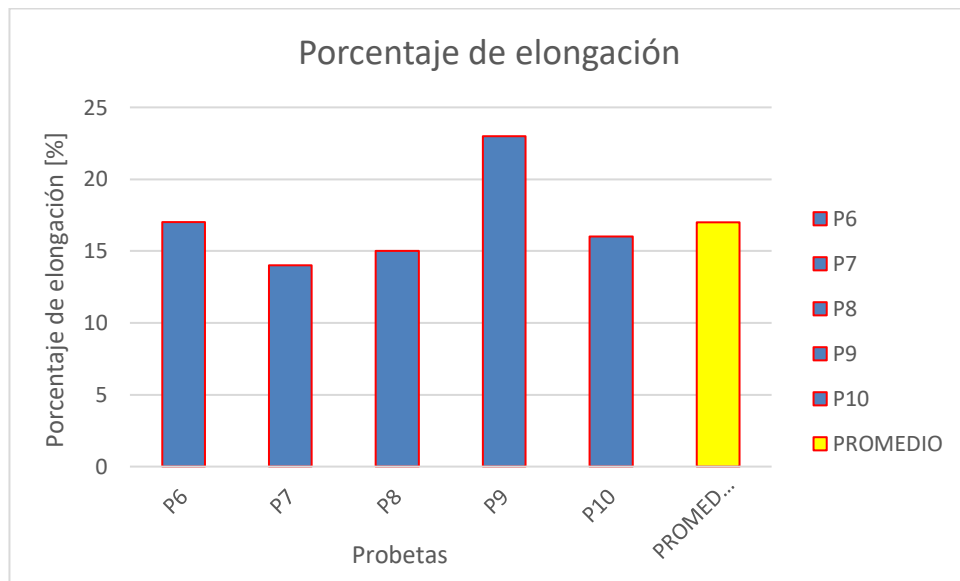


Figura 4-61 Porcentaje de elongación para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y su promedio.  
Fuente: Autor

Para las probetas de material base de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 el módulo de elasticidad fluctúa entre dos valores altos de 539 GPa en la placa 6 y van disminuyendo gradualmente hasta valores bajos de 132 GPa en la placa 10, en comparación a los resultados de las placas sin soldadura existe una diferencia de valores muy grande, esta diferencia de los valores se debe principalmente a la velocidad de enfriamiento de la soldadura que influye directamente en la rigidez del material aumentando la pendiente de la curva de esfuerzo deformación y puede afectar negativamente en la capacidad del material para absorber energía. Influencia que debemos tener muy en cuenta al momento de la fabricación de la carrocería.

El esfuerzo de fluencia fluctúa entre tres valores de 213MPa y valores cercanos a 346MPa, donde se puede observar que para las probetas con valores altos del módulo de elasticidad el esfuerzo de fluencia es menor y viceversa. Las probetas que alcanzan el esfuerzo máximo coinciden con las probetas que alcanzaron valores altos en cuanto a la resistencia a la fluencia y que son aquellas probetas donde el módulo de elasticidad es menor, por lo tanto, el módulo de elasticidad también tiene influencia en la resistencia última del material.

El porcentaje de elongación en promedio para las placas soldadas con el electrodo ER70S-6 fue muy similar en todas las placas y su media aritmética fue de 17% lo que representa una disminución importante en comparación a las placas sin soldadura que fue de 25%.

#### 4.2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS PROMEDIO PARA LAS PROBETAS DE MATERIAL BASE (ASTM A500) CON SOLDADURA DE ELECTRODO ER70S-6.

Tabla 4-28 Tabla de propiedades promedio para las probetas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6

	PROPIEDAD	P11	P12	P13	P14	P15	PROMEDIO
Kg/m <sup>3</sup>	DENSIDAD	7850	7850	7850	7850	7850	7850,0
GPa	Módulo de Elasticidad (GPa)	140,17	483,63	191,12	226,93	362,24	280,8
---	Módulo de POISSON	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
MPa	Esfuerzo de fluencia (MPa)	312,99	210,94	339,97	228,13	312,5	280,9
%	Porcentaje de elongación	16	19	18	19	25	19,4
MPa	Esfuerzo Máximo (MPa)	313,98	236,61	394,63	257,29	313,48	303,198

Fuente: Autor



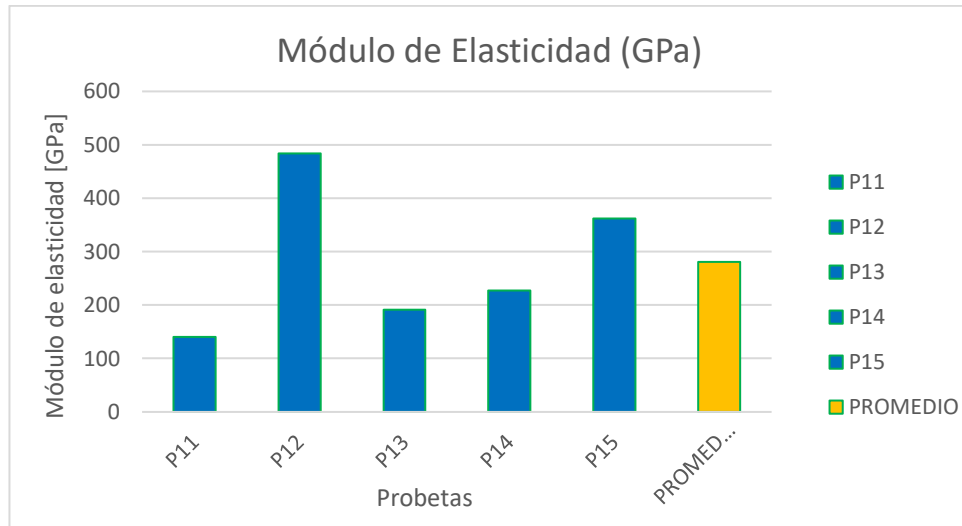


Figura 4-62 Módulo de elasticidad para las placas de acero ASTM A500 con soldadura ER70S-6 y su promedio.  
Fuente: Autor

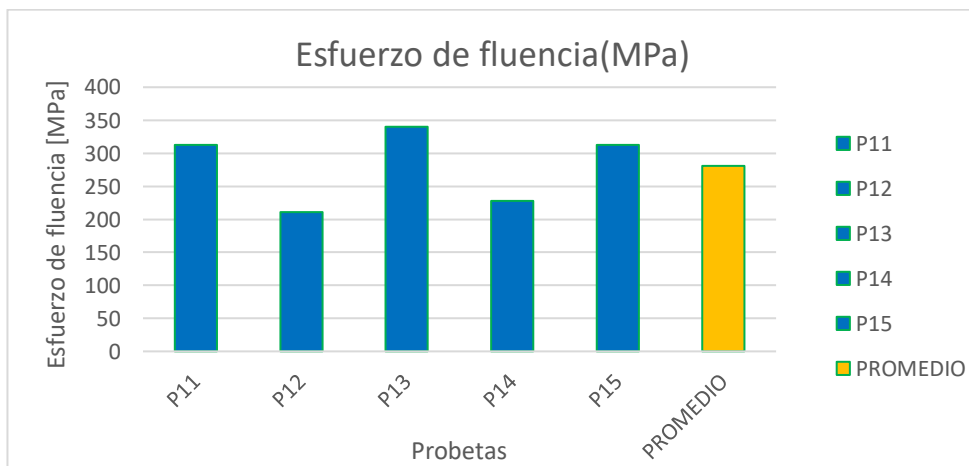


Figura 4-63 Esfuerzo de fluencia para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6 y su promedio.  
Fuente: Autor

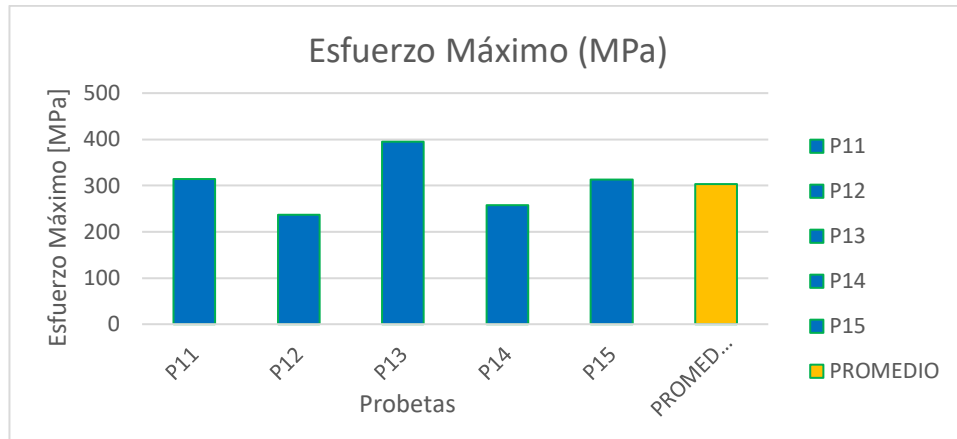


Figura 4-64 Esfuerzo máximo para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6 y su promedio  
Fuente: Autor

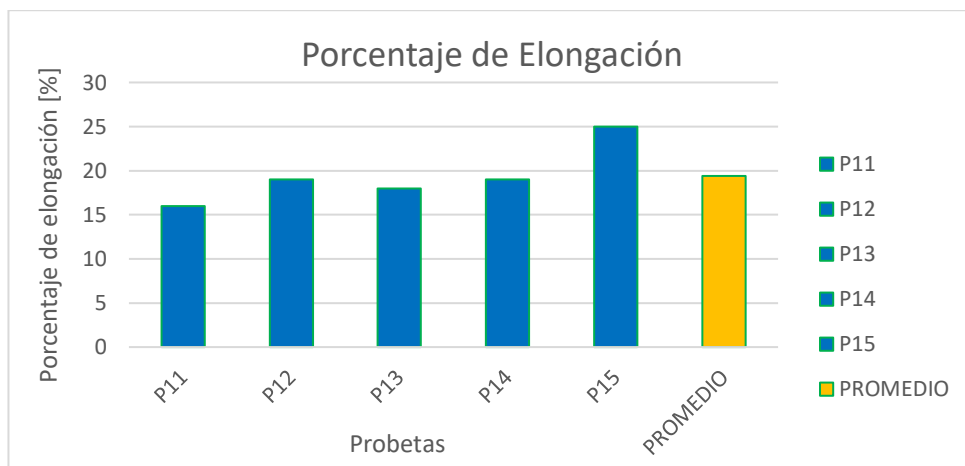


Figura 4-65 Porcentaje de elongación para las placas de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6 y su promedio.  
Fuente: Autor

Para las probetas de material base de acero ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6, el módulo de elasticidad fluctúa entre dos valores altos (483GPa y 362GPa), y tres valores bajos de (140GPa, 191GPa y 226GPa) en las placas 11,13 y 14 respectivamente, de igual manera que en las placas soldadas con el electrodo E6011 esta diferencia de los valores se debe principalmente a la velocidad de enfriamiento de la soldadura que influye directamente en la rigidez del material aumentando la pendiente de la curva de esfuerzo-deformación y puede afectar negativamente en la capacidad del material para absorber energía. Influencia que debemos tener muy en cuenta al momento de fabricar la carrocería.

El esfuerzo de fluencia fluctúa entre tres valores altos que sobrepasan los 300MPa y dos valores bajos cercanos a 200MPa, donde se puede observar que para las probetas con valores altos del módulo de elasticidad el esfuerzo de fluencia es menor y viceversa. Las probetas que alcanzan el esfuerzo máximo coinciden con las probetas que alcanzaron valores altos en cuanto a la resistencia a la fluencia y que son aquellas probetas donde el módulo de elasticidad es menor, por lo tanto, el módulo de elasticidad también tiene influencia en la resistencia última del material.

El porcentaje de elongación en promedio para las placas soldadas con el electrodo ER70S-6 fue muy similar en todas las placas y su media aritmética fue de 19,4% lo que representa una disminución importante en comparación a las placas sin soldadura que fue de 25%.

### 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

#### Hipótesis:

El proceso de soldadura del acero ASTM A500Gr C de la carrocería si tiene una afectación importante sobre la resistencia final del material.

Tabla 4-29 Tabla de propiedades y sus porcentajes de variación con respecto al material base.

Propiedades	Promedio para material base	Promedio para soldadura con E6011	Porcentaje de variación con respecto al material base [%]	Promedio para soldadura con ER70S-6	Porcentaje de variación con respecto al material base [%]
Módulo de Elasticidad (GPa)	149,8	269,97	80,22	280,8	87,45
Esfuerzo de fluencia (MPa)	316,36	300,15	-5,12	280,9	-11,21
Esfuerzo Máximo (MPa)	317,64	349,02	9,88	303,19	-4,55
Porcentaje de elongación	25,9	17	-34,36	19,4	-25,10

Fuente: Autor

En la tabla anterior se puede observar que el proceso de soldadura del acero ASTM A500Gr C de la carrocería efectivamente si tiene una afectación importante sobre la resistencia final del material especialmente sobre el módulo de elasticidad que en el caso del acero soldado con el electrodo E6011 la variación es del 80,22% y para el caso de las probetas soldadas con el electrodo ER70S-6 la variación llega alcanzar el 87,45%. La segunda propiedad más afectada por el proceso de soldadura es el porcentaje de elongación del material que para el caso de las placas soldadas con el electrodo E6011 la variación es de -34,36% y para las placas soldadas con ER70S-6 la variación es de -25,10%. Verificando de esta manera la hipótesis.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que el proceso de soldadura del acero ASTM A500 Gr C utilizado en carrocerías de buses si tiene un efecto importante sobre el material especialmente sobre el módulo de elasticidad. Para las probetas de material base sin soldaduras el promedio del módulo de elasticidad fue de 149,8 MPa, para las probetas con soldadura central de electrodo E6011 el promedio fue de 269,97 MPa lo que significa un aumento del 80,22% y para las probetas soldadas con electrodo ER70S-6 el promedio fue de 280,8 MPa representando un aumento del 87,45% con respecto al material base.
- El incremento importante para el módulo de elasticidad de las placas soldadas nos manifiesta que el material en la zona soldada se volvió más rígido que en la zona sin soldadura debido a los cambios bruscos de temperatura y a la velocidad de enfriamiento. Si no se controla esta influencia podría ser la soldadura un punto débil de la estructura afectando su resistencia especialmente en caso de choque.
- Se tuvo también una variación importante sobre el esfuerzo de fluencia en las placas soldadas con respecto al material base. El promedio para las placas de material base sin soldadura es de 316,36 MPa, para las placas soldadas con electrodo E6011 el promedio fue de 300,15 MPa lo que representa una disminución del 5,12 % y para las placas soldadas con el electrodo ER70S-6 el promedio fue de 280,9MPa representando una disminución del 11,21% con respecto al material base. Para los dos casos en las placas soldadas se tuvo una reducción del esfuerzo de fluencia, parámetro que hay que tomar en cuenta en la fase de diseño de la estructura.
- El esfuerzo máximo promedio para las placas de material base sin soldadura fue de 317,64 MPa, mientras que para las placas soldadas con electrodo E6011 el esfuerzo fue de 349,02MPa lo que representa un incremento del 9,88% y para las placas soldadas con electrodo ER70S-6 fue de 303,19MPa

representando una disminución de 4,55%. En este caso la variación para el caso del electrodo E6011 fue positiva, esto se debe a que estas placas sufrieron un mayor cambio de propiedades debido al temple del material representado en la variación del módulo de elasticidad provocando un endurecimiento del material.

- En el caso del porcentaje de elongación para las probetas sin soldadura fue de 25,9% mientras que para las probetas soldadas con el electrodo E6011 fue de 17% lo que representa una disminución del 34,36% de elongación, para las probetas soldadas con el electrodo ER70S-6 el promedio del porcentaje de elongación fue de 19,4% representando una reducción del 25% con respecto a las placas sin soldadura. Esta reducción de la ductilidad tiene relación con el aumento del módulo de elasticidad haciendo menos deformable el material.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Durante el proceso de soldadura del material se recomienda tener sumo cuidado en la velocidad de enfriamiento, ya que debido a este proceso se puede modificar de manera importante el módulo de elasticidad del material, reduciendo su ductilidad y haciéndolo más frágil. Esta fragilidad podría significar que en la zona de soldadura se tendría un punto débil de la estructura afectándolo especialmente en caso de choque.
- Se recomienda tener en cuenta la reducción del esfuerzo de fluencia en las fases de diseño de la estructura ya que consecuentemente tendríamos un factor de seguridad más bajo en esta zona, para esto deberíamos dar un margen de seguridad aumentado en 10% para solventar los efectos de la soldadura en la reducción de la resistencia del material.
- El esfuerzo máximo del material afectado por la soldadura en el caso del electrodo E6011 aumento en comparación con las placas sin soldadura. Esto debido al endurecimiento del material por el enfriamiento, se recomienda no trabajar con este valor en las fases de diseño porque es un parámetro muy variable que puede llevar a errores en el diseño.
- El porcentaje de deformación de las placas soldadas con respecto a las del material base se redujo considerablemente por lo que hay que tener mucho cuidado si se diseña la estructura especialmente a impacto.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

##### **6.1.1 TÍTULO**

Análisis de resistencia del impacto frontal de un bus tipo interprovincial mediante el método de elementos finitos.

##### **6.1.2 BENEFICIARIO**

El beneficiario de la propuesta será todo el sector industrial que se dedica al diseño y construcción de carrocerías de autobuses ya que podrían tomar este análisis de diseño para implementarla en la construcción de sus autobuses para alcanzar una mejor resistencia ante un choque frontal.

##### **6.1.3 UBICACIÓN**

La propuesta se desarrollará en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, cantón Ambato provincia de Tungurahua, Ecuador.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Existen en el medio varias investigaciones relacionadas con el análisis por método de los elementos finitos es así que Castigliano a inicios del siglo xx desarrollaron un método que basado en ecuaciones de funciones de forma de un sistema de carga sencillo permitió pronosticar el desplazamiento de una estructura obteniéndose los resultados por una, minimización de la energía.

A media de 1950 Richard Courant desarrollo un estudio que sirve de base en la resolución de sistemas estructurales al implementar la notación matricial y la solución algebraica.



Desde ese tiempo y gracias a los avances de la tecnología y desarrollo de las computadoras en sus prestaciones de cálculo, velocidad de procesamiento, así como los métodos de cálculo que antes se resolvían de forma manual el método de elementos finitos se ha aplicado a varios campos como es el cálculo lineal, fenómenos dinámicos, térmicos y estudios no lineales, etc. esto ha permitido que se extienda en su uso en prácticamente todos los campos de la ingeniería.

El método de elementos finitos consiste en la división de un medio continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos comunes entre los llamados nodos de esta manera las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el elemento.

De esta manera se logra pasar de un sistema continuo con infinitos grados de libertad que está controlado por una ecuación diferencial a un sistema con número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones lineales.

El método de los elementos finitos permite estudiar problemas no lineales donde exista contacto en los componentes analizando grandes deformaciones diversos modelos de falla y efectos dinámicos.

Un tipo de análisis es la simulación de choque o de impacto como es el caso de esta propuesta ya que debido a que en un choque frontal los materiales que absorben la energía del impacto experimentan grandes deformaciones y entran en la zona plástica donde desaparece la relación de linealidad entre la tensión y deformación.

La simulación de impactos por el método de elementos finitos se lo realiza generalmente por medio de un software que nos permite generar una asistencia computacional para las soluciones matemática de estos problemas de ingeniería complejos el software a utilizar es ANSYS-LS DYNA es un programa representativo en aplicaciones de ingeniería de impactos, hoy en día con los avances computacionales se logran estudios y simulaciones más cercanas a la realidad que permiten a las fábricas de vehículos probar sus diseños de forma virtual antes de emprender los procesos de producción ahorrando tiempo y dinero.

## **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Los esfuerzos de la Comisión Nacional de Tránsito siempre están enfocados en reducir al máximo los accidentes y de reducir las lesiones que se generen en las personas a causa de estos. Para ello se ha creado parámetros a cumplir en la norma INEN para que las carrocerías garanticen la integridad de las personas en caso de accidente y que las empresas que realicen el diseño y la fabricación de carrocerías deben cumplir.

Siempre que se hable de aumentar la seguridad de un auto ante un choque y de reducir el riesgo de las personas a sufrir graves lesiones en un pequeño o en un gran porcentaje, esas modificaciones que se realicen estarán muy bien justificadas dentro de un costo razonable.

El aumento de la absorción de la energía de impacto por parte de la carrocería en caso de un choque frontal tiene una relación directa con la disminución de los daños y lesiones que pueden sufrir las personas. La parte delantera de la carrocería será la que recibirá la energía de impacto y si esta no es capaz de deformarse de una manera adecuada o es muy rígida, los ocupantes podrían sufrir las consecuencias de un mal diseño.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 GENERAL**

- Determinar el comportamiento estructural de un bus tipo interprovincial ante un impacto frontal mediante el método de elementos finitos

### **6.4.2 ESPECÍFICOS**

- Seleccionar la información científica necesaria para la delimitación de estudio en base a normas y reglamentos nacionales e internacionales.
- Realizar la geometría de la estructura frontal de un bus tipo interprovincial basado en las normas nacionales.
- Aplicar las condiciones de borde necesarias para el análisis computacional del impacto frontal.
- Analizar la influencia el proceso de soldadura sobre la resistencia al impacto frontal de la estructura de la carrocería de un bus.

- Identificar las zonas de la estructura afectas por la soldadura en base a los resultados obtenidos en el análisis de impacto frontal.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El desarrollo de esta propuesta fue posible debido a que en el medio se encuentra la mayor cantidad de empresas que se dedican a la fabricación de carrocerías para autobuses en el país, además en las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato se encuentra el “CADME” que se encarga de la homologación de las carrocerías, en donde pudimos recopilar información muy importante para la investigación.

Debido a esto se cuenta también con mucha experiencia docente y profesional en tema además se cuenta con la realización de varios trabajos de investigación por parte de los estudiantes de pregrado y posgrado de la carrera de ingeniería mecánica.

También la Facultad cuenta con las licencias estudiantiles de los programas SolidWorks® y ANSYS® utilizados para la modelación y análisis de impacto de los modelos realizados.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

### **6.6.1 NORMATIVA DEFINICIÓN DE CARGAS Y PARÁMETROS DE DISEÑO.**

#### **6.6.1.1 Norma INEN 1323**

La Agencia Nacional de Transito (ANT) utiliza esta normativa para regular la calificación, homologación y métodos de fabricación de las carrocerías de buses interprovinciales y urbanos que se fabriquen en el país. Esta normativa define las deformaciones máximas que se permiten para conservar el espacio de supervivencia de la carrocería, sin embargo, no hace ninguna referencia a las colisiones de la estructura en cuanto al impacto frontal. En cuanto a los aspectos relacionados a la construcción la norma especifica varios ítems como:

- Espacio de supervivencia.
- Peso máximo de la estructura.
- Y materiales que se pueden utilizar.

Con lo referente al diseño la norma específica las cargas que se deben utilizar y sus distintas configuraciones:

- Carga Muerta.
- Carga viva.
- Carga de frenado.
- Cargas de aceleración brusca.
- Cargas de giro.
- Cargas de resistencia del viento al avance frontal.
- Combinaciones de carga.
- Resistencia de la estructura.

Es necesario recalcar que esta norma no especifica la velocidad a la que se debe realizar un ensayo o simulación relacionados al impacto frontal de la estructura y su capacidad para absolver energía.

### **Cargas vivas**

Las cargas vivas están relacionadas a las personas y a la capacidad de carga del tipo de transporte, en este caso bus interprovincial. En la tabla siguiente se especifican como calcularlas.

#### **6.6.1.2 NORMAS PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO**

Existen distintos tipos de pruebas de choques que se desarrollan en los vehículos para nuestro caso se analizará las pruebas de impacto frontal.

Por lo general los impactos frontales sobre una pared rígida son a una velocidad específica también puede ser pruebas de choque entre vehículos o con un sólido que minimiza violentamente la velocidad del vehículo que sufre el choque frontal.

Cuando sucede este tipo de choques frontales los ocupantes delanteros de los vehículos conductor, acompañante salen disparados hacia adelante sufriendo un desplazamiento.

De no estar colocados el cinturón de seguridad seguirá su desplazamiento hasta impactar con algún obstáculo que frene su desplazamiento o abandonaran el vehículo dependiendo la magnitud del impacto.

De la misma manera el conductor, sufrirá un desplazamiento en el cual tiene dos posibles impactos:

Se desplazará por abajo y debajo produciendo un impacto inicial de las rodillas contra el tablero pudiendo generarle graves lesiones como:

Fractura de la rótula

Fractura a niveles de fémur

fractura y luxación de la cadera

En este tipo de impacto se producen lesiones en los pies que suelen producirse por el atrapamiento de los pies o los tobillos con los pedales de vehículo, o por deformación violenta del panel metálico pudiendo producirse fractura del metatarsiano.

la norma que se aplica para el presente estudio es la norma internacional “Ensayo de impacto frontal según reglamento 94 Prescripciones uniformes sobre la homologación de los vehículos en lo relativo a la protección de sus ocupantes en caso de colisión frontal”

en donde la velocidad mínima de la velocidad mínima de impacto recomendada es de 56Km/h para nuestro estudio se aplicará la velocidad máxima permitida en buses interprovinciales que es de 90Km/hora.

#### **6.6.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS DE BUS EN EL ECUADOR.**

La estructura del bus interprovincial está construida por diferentes elementos, diferente geometría y secciones de acuerdo a los manuales de carrozar del chasis con el objetivo de soportar las diferentes cargas de diseño que actúan sobre el bus en caso de algún tipo de colisión.

La tabla que se indica a continuación muestra el listado de materiales tubería, perfiles, planchas utilizados la estructura del frente del bus interprovincial.

Tabla 6-1: materiales utilizado en carrocerías

PARTE	DESCRIPCIÓN	TIPO DE ACERO	APLICACIÓN
<b>FRENTE DE BUS INTERPROVINCIAL</b>	Tubo de 50x50x2 mm	ASTM A500	Pórtico del frente
	Tubo de 50x25x2 mm	ASTM A500	soporte parabrisas
	Tubo de 25x25x2 mm	ASTM A500	Tejido en el frente
	Tubo de 20x20x2 mm	ASTM A500	tejido frontal frente al molde de fibra
	Tubo de 60x40x3 mm	ASTM A36	Estabilizador estructura
	Tubo de 50x50x3 mm	ASTM A500	Travesaños principales
	Tubo de 40x40x2 mm	ASTM A500	Frente y techo del bus
	Tubo de 100x50x3 mm	ASTM A500	Parantes principales

Fuente: Autor

### 6.6.3 DIMENSIONES DEL FRENTE DE LA CARROCERÍA DE BUS INTERPROVINCIAL

Las dimensiones de la estructura de la carrocería se basan en aplicar los requisitos mínimos establecidos en las normas técnicas ecuatorianas NTE INEN 1668 y el reglamento técnico ecuatoriano INEN 043 donde consta las dimensiones exteriores, largo total, ancho máximo, altura total, así como también existe el manual de carrozar donde explican las diferentes dimensiones interiores del bus interprovincial.

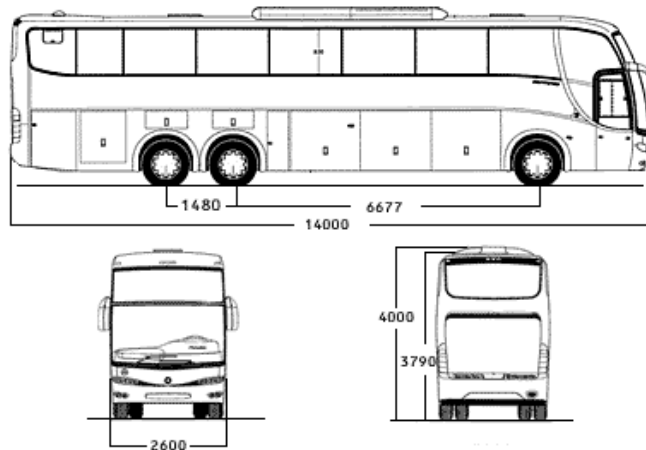


Figura 6-1: Medidas estándar de un bus interprovincial  
Fuente: [http://www.epysa.cl/sitio/images/grafico\\_1350.gif](http://www.epysa.cl/sitio/images/grafico_1350.gif)

### 6.6.4 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DEL FRENTE DEL BUS

En esta etapa nos permite introducir los datos para realizar el proceso de simulación es decir comienzo la construcción del modelo representado en un sistema físico considerando las dimensiones, tipos de elementos a ser utilizados restricciones específicas a las características de los materiales.

Se genero el dibujo 2D de la carrocería del bus utilizando un software de diseño CAD en la figura se observa el boceto de la estructura frontal del bus en 2D.

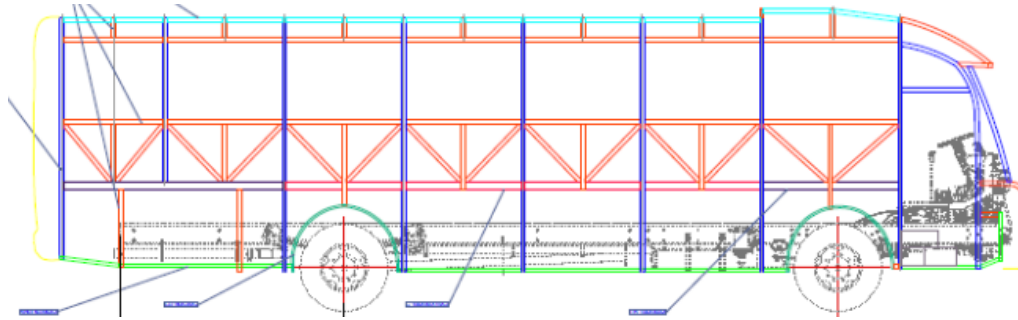


Figura 6-2: Estructura de la carrocería interprovincial  
Fuente: Autor

En estudios realizados (supakit Rooppakun al 2013) y Pattanrom Jongpradist al 2015 Basándose en la norma R-29 utilizan una sección de la carrocería como base para sus estudios debido a que el gasto computacional que presenta el trabajar con toda la carrocería y que existen partes en la carrocería que no tienen ningún efecto representativo en el análisis del impacto frontal las mismas son eliminadas del modelo.

Para el análisis del presente estudio asumiendo y considerando las deformaciones mayores estarán presentes en la parte delantera del bus se considera utilizar la 1/3 de parte de la longitud total del bus la misma que se denomina como frente del bus con esta consideración las masas serán de ellos perfiles que intervienen en la sección y se le asignara la masa del resto de la carrocería así los resultados serán las cargas de impacto generadas por dichas masas.

Se procede a recortar la sección del frente del bus obteniendo la geometría tridimensional necesaria para este tipo de análisis en la figura 6-3 se muestra el resultado final del proceso de dibujo asistido por computador.

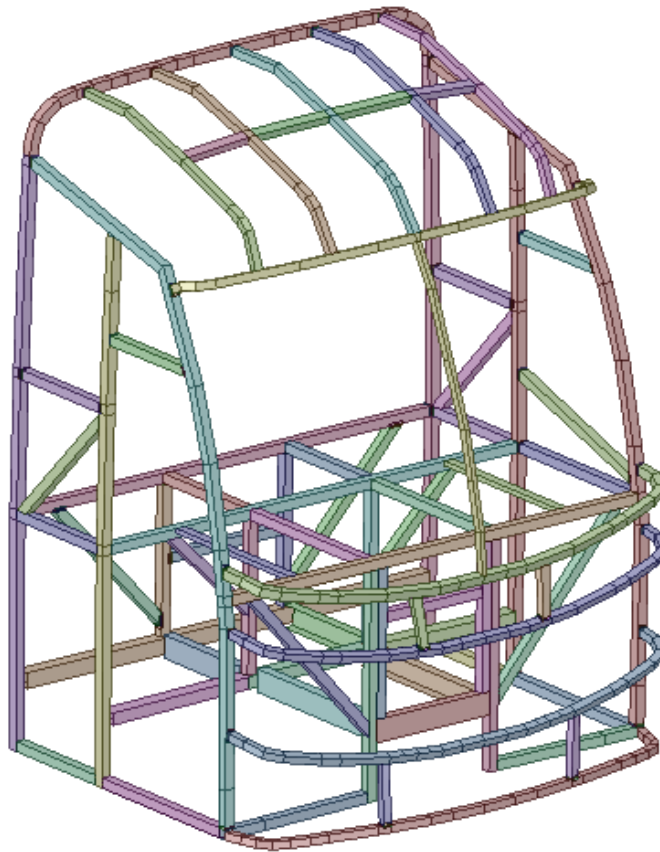


Figura 6-3: Sección frontal del bus.  
Fuente: Autor

### 6.6.5 ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA

Con el modelo de la sección del frente del bus tridimensional se verifica visualmente sobre ciertas interferencias que pueden darse por efecto del diseño en el proceso del dibujo existen varios programas que ayudan a detectar dichas interferencias es así que comprobamos la geometría con el software Spaceclaim.

Se trabaja con el modelo del frente se suprimen las interferencias de los perfiles o tubos de la estructura en la figura se indica el proceso de detección de la geometría.

También se genera una pared rígida para realizar el proceso de simulación de basándonos en la norma NCAP que determinan el test de impacto que se lo realiza contra una pared rígida a una velocidad de 56Km/h la masa total del frente de la carrocería es de 887,650Kg.



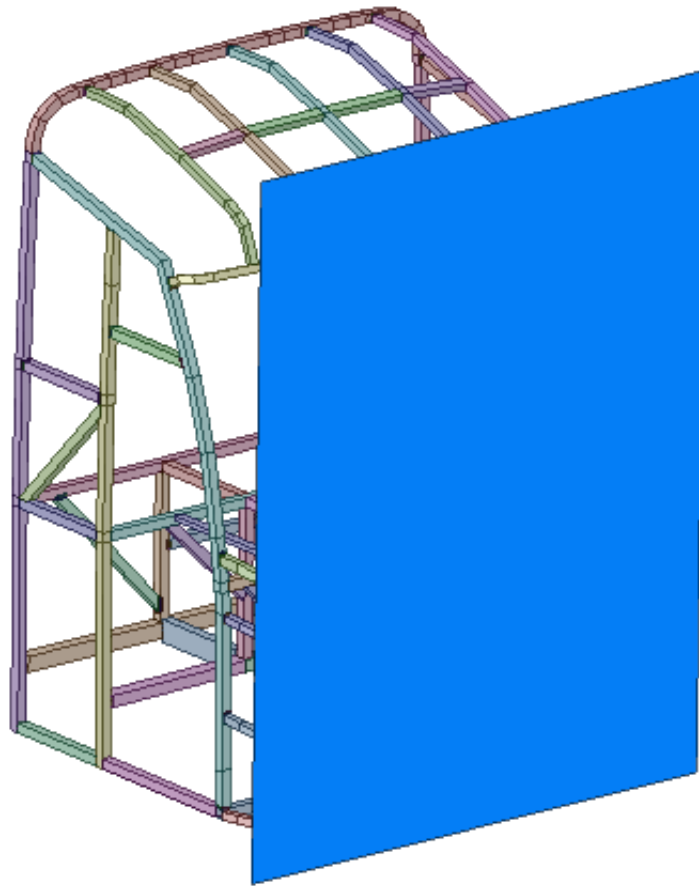


Figura 6-4: Pared rígida para impacto de sección frontal del bus  
Fuente: Autor

#### **6.6.6 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA SIN AFECTACIÓN DE LA SOLDADURA**

Para realizar el análisis primero se realiza una simulación sin tomar en cuenta la afectación del material en la zona de soldadura.

El material a ser usado en la estructura es un material ASTM A500 obtenido de los ensayos de tracción realizados, se ingresa las propiedades de dicho material de tal forma que nuestro análisis sea en la parte plástica como indica la figura 6.5.

Properties of Outline Row 3: ASTM A500 BASE				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7890	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's...		
6	Young's Modulus	1,5257E+05	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,3		
8	Bulk Modulus	1,2714E+11	Pa	
9	Shear Modulus	5,868E+10	Pa	
10	Plastic Strain Failure			
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,37		
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			
13	Piecewise Linear Hardening			
14	Strain Rate Correction	Scale Y...		
15	Initial Yield Stress A	316,37	MPa	
16	Strain Rate Constant C	40		
17	Strain Rate Constant P	5		
18	Effective Stress	Tabular		
19	Scale	1		
20	Offset	0	MPa	

Figura 6-5: Material ASTM A500

Fuente: Autor

En la figura 6-5 se muestra el diagrama esfuerzo deformación promedio obtenido de los ensayos de tracción Este material se aplica principalmente en tubería estructural redonda, cuadrada y ovalada en el dependiendo el caso en que se utilice en la carrocería especialmente en el frente del bus tipo interprovincial.

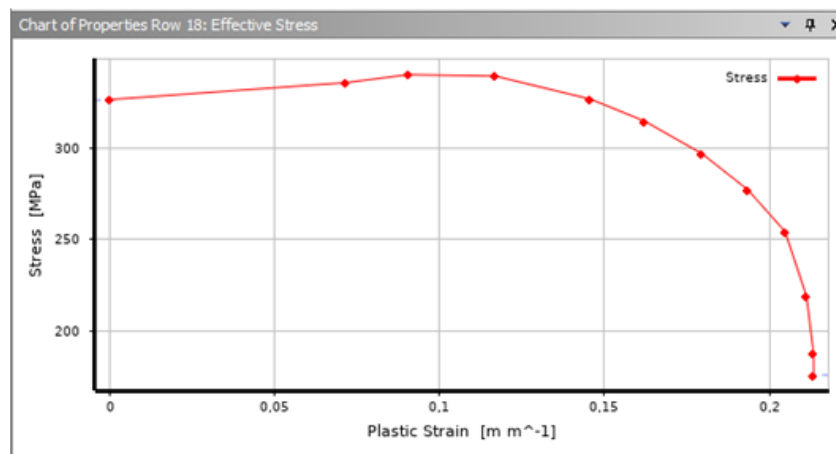


Figura 6-6: Material ASTM A500 Esfuerzo deformación.

Fuente: Autor

### 6.6.6.1 EL MALLADO

El mallado de la sección frontal sin analizar la zona afectada por soldadura se lo realiza con un tamaño de malla de 25mm para la estructura y 500 mm para la pared rígida donde es un elemento tipo Shell cuadriláteros y triangulares siendo el número total de elementos de 31574 nodos y 31004 elementos siendo los elementos cuadriláteros con un número 31284 y los elementos triangulares son 290 como indica la figura 6-7

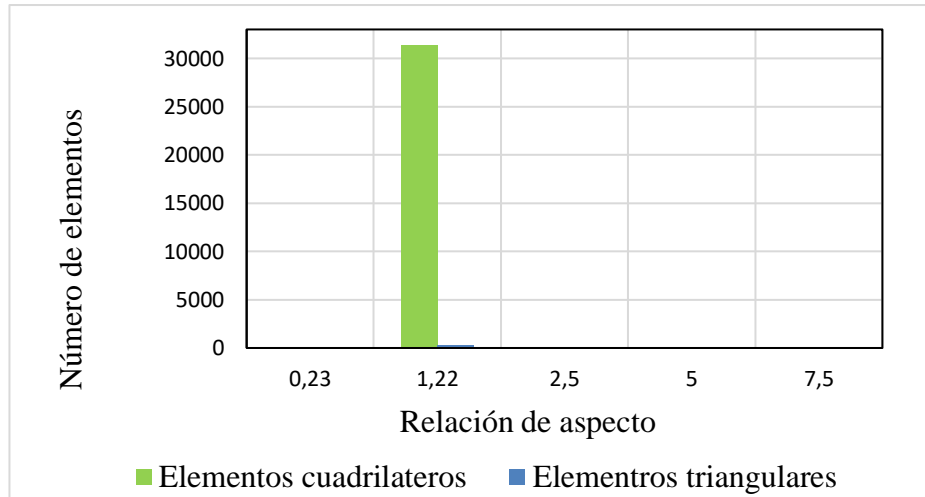


Figura 6-7: Material ASTM A500.  
Fuente: Autor

El valor de la relación de aspecto es 1,22 en los elementos por lo que la calidad de la malla es aceptable para nuestro análisis en la figura 6.8 se indica el aspecto de la calidad de la malla

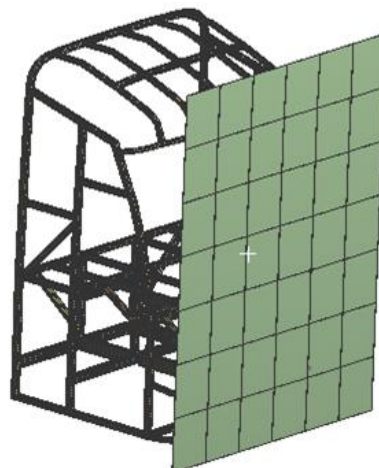


Figura 6-8: Mallado sin soldadura.  
Fuente: Autor

### **6.6.6.2 Condiciones de frontera para las simulaciones**

#### **Velocidad de impacto**

La velocidad de impacto es la permitida para buses interprovinciales por la (ANT) (Agencia Nacional de Tránsito) para nuestro estudio es de 90km/h en el software se ingresa el valor de 25000 mm/s.

La pared como se ha venido indicando es rígida por lo que no sufre ninguna deformación adema no es objeto de nuestro análisis.

El tiempo de análisis de la solución va depender mucho de la calidad de la malla como también del tiempo configurado para el análisis este tiempo de análisis es de 0,1 segundos sugeridos en la norma R94.

### **6.6.6.3 RESULTADOS OBTENIDOS**

La tabla muestra los resultados obtenidos de la simulación del ensayo, para la cual se utilizaron los modelos de materiales y condiciones descritas en las secciones anteriores respectivamente.



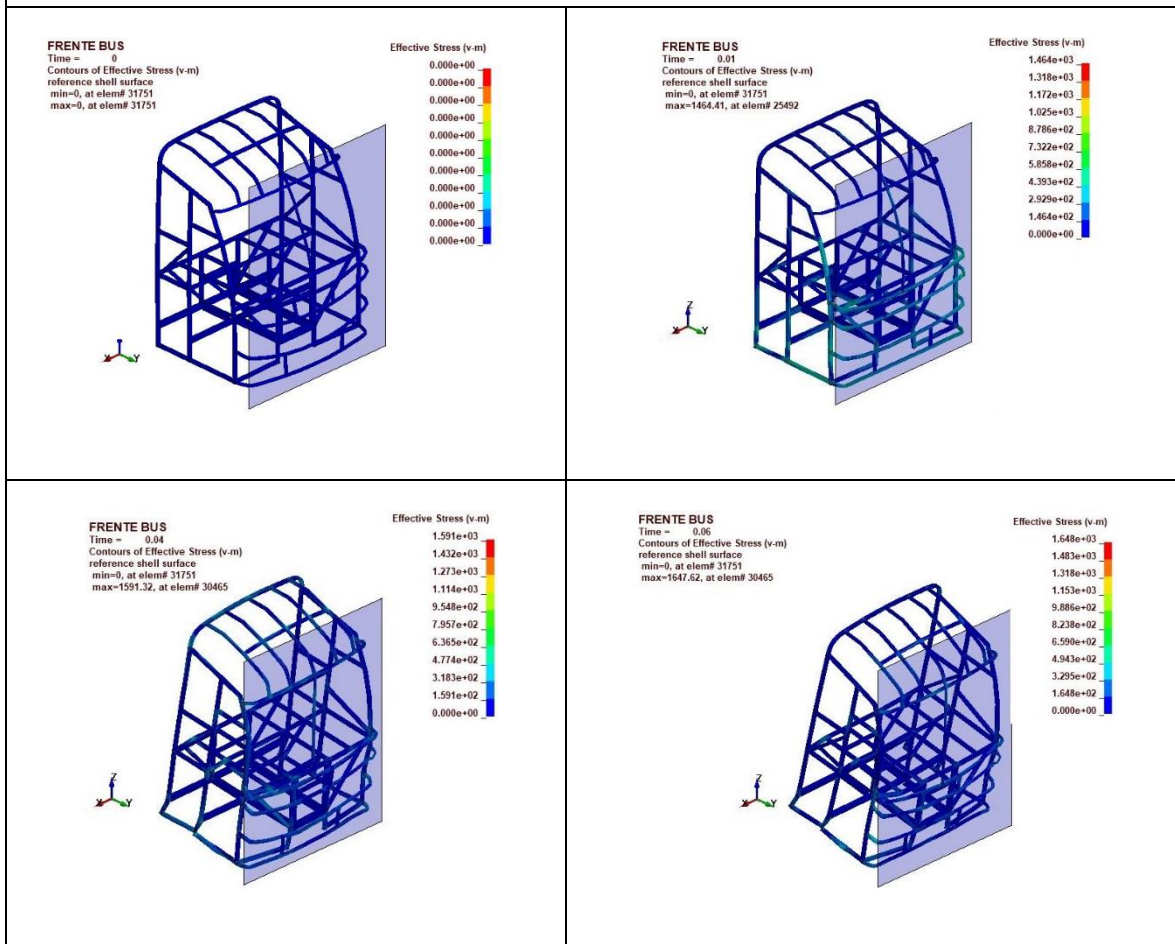
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

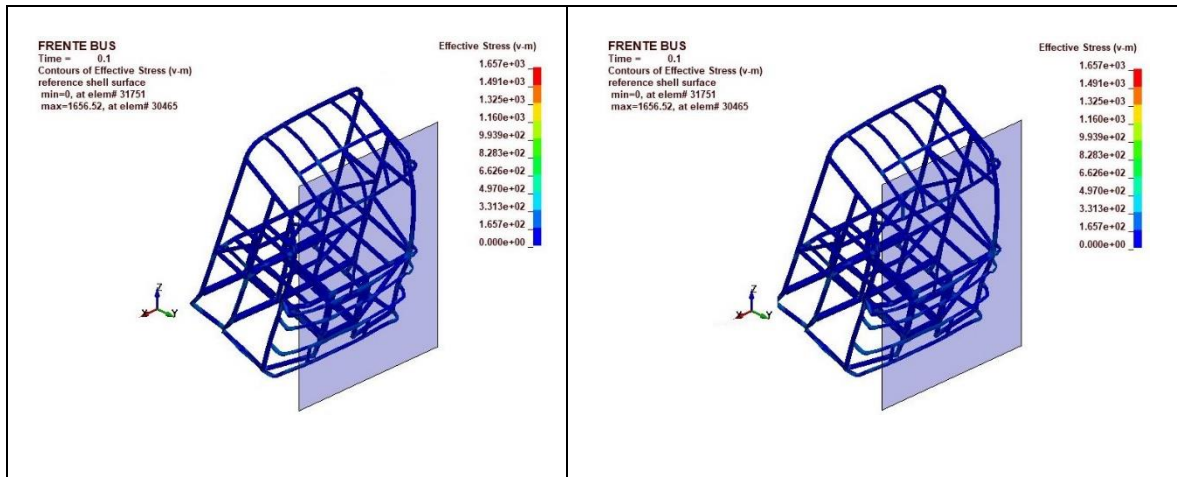


**SIMULACIÓN DE ENSAYO DE RESISTENCIA DEL FRENTE DEL BUS TIPO INTERPROVINCIAL SIN AFECTACIÓN DE LA SOLDADURA**

<b>Normas aplicables:</b>	REGLAMENTO CEPE 94 NTE INEN 1323		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	25/05/2020	<b>Realizado por:</b>	Ing. Carrasco
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Gonzalo López
<b>Relación de aspecto mínima:</b>	1,12	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	1,12
<b>Número de elementos:</b>	32500	<b>Número de nodos:</b>	32143
<b>Tiempo de procesamiento:</b>	35 horas 12 minutos	<b>Número de procesadores:</b>	4
<b>Tipo de soldadura</b>		Material base más electrodo E6011	
<b>Resiste la estructura al impacto:</b>		Si	

**RESULTADO DEL ENSAYO**





Una vez terminada la simulación, se analiza los resultados más importantes obtenidos, estos esfuerzos se observan en las zonas donde sería más probable que se produzcan roturas, tales zonas son las uniones entre los puntos de soldadura del frente de la estructura del bus interprovincial, también se han analizado los desplazamientos y deformaciones plásticas efectivas. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

#### 6.6.6.4 Esfuerzos y deformaciones plásticas efectivas obtenidas en las uniones sin análisis de la zona afectada de la soldadura.

En la estructura frontal se ha evaluado los esfuerzos en los elementos N.º 21151, 23258, 25350, 21932 los cuales se encuentran en las zonas de mayor concentración de esfuerzos, la figura 6-9 muestran la ubicación de los elementos analizados que sobrepasan el valor del esfuerzo, pero eso se debe a una singularidad producto el análisis mientras que las figuras 6-10, 6-11 muestran los esfuerzos producidos en dichos elementos.

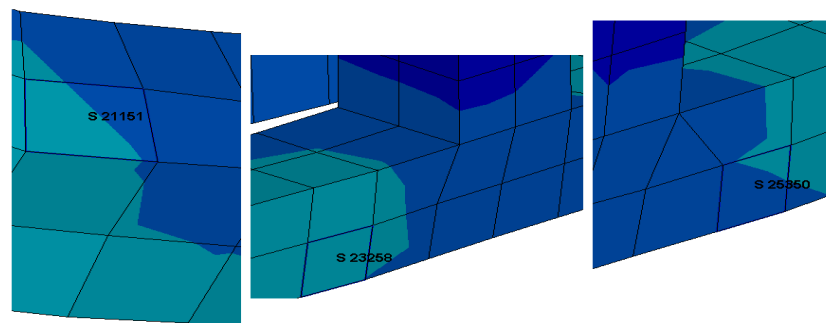


Figura 6-9: Ubicación de los elementos (21151, 23258, 25350)

Fuente: Autor

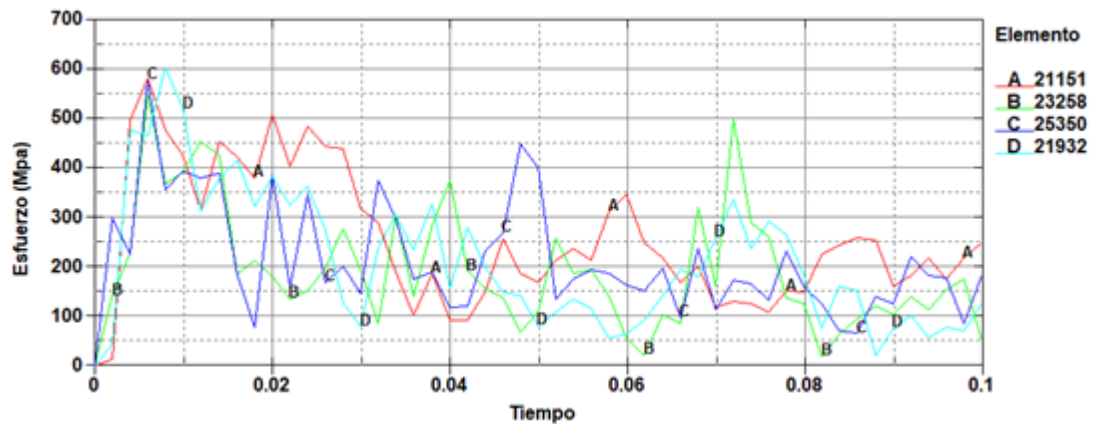


Figura 6-10: Esfuerzo en los elementos (21151, 23258, 25350)  
Fuente: Autor

En la figura 6-10 se observa que el elemento 25350 tiene un valor de 606 MPa por lo que dicho elemento se analiza también la deformación plástica del elemento

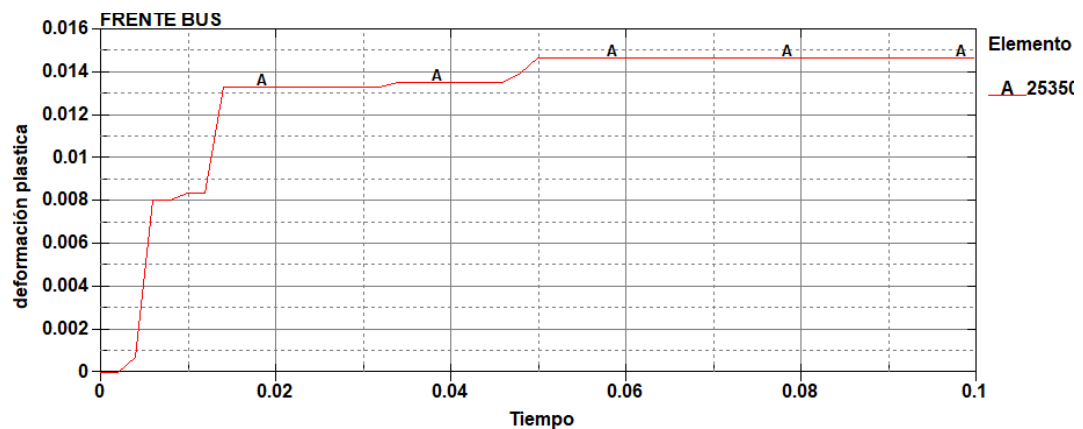


Figura 6-11: Deformación plástica 25350  
Fuente: Autor

Se observa que el valor de la deformación máximo es de 0,0145 siendo un valor inferior al obtenido en los ensayos de tracción del acero el análisis sin la afectación de la zona de la soldadura resiste ante el impacto frontal a la velocidad indica para este tipo de simulación computacional.

También se presentan las curvas de energías cinética e interna producto del análisis durante el tiempo de impacto y se cumple la Ley de conservación de energía, la energía cinética es proporcional a la energía interna mientras la energía cinética disminuye y la energía interna se incrementa, además un parámetro para la validez del ensayo realizado establece que toda la energía producida en un impacto debe ser constante, lo que claramente se puede evidenciar en la figura.

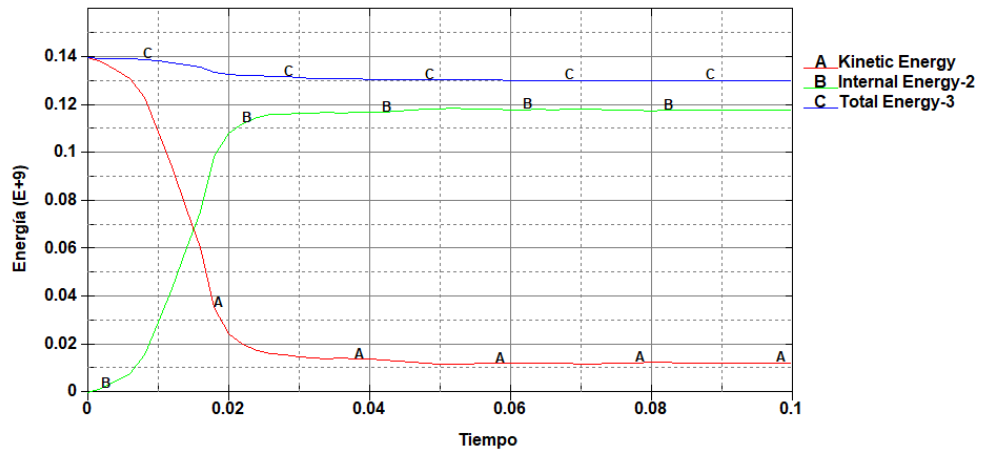


Figura 6-12 Variación de energía cinética e interna impacto frontal a 90 km/h.  
Fuente: Autor

### 6.6.6.5 Validación del proceso de simulación

Para validar la simulación se debe verificar el valor que se obtiene de la energía de hourglass, este valor al ser realizado por el método de Flanagan debe tener a ser una energía de valor cero y que no tenga influencia en el proceso de la simulación, por lo tanto, debe compararse con el refinamiento de la malla.

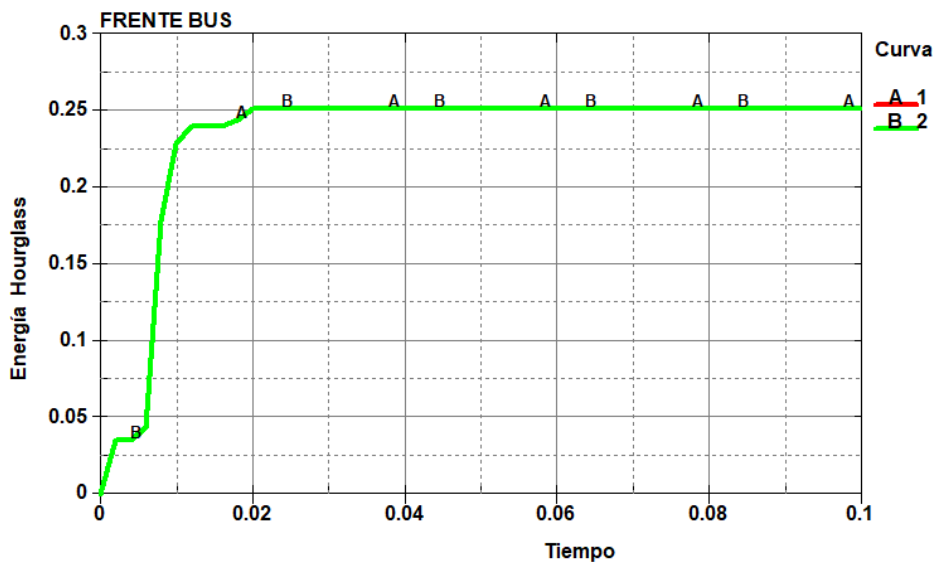


Figura 6-13 Curva de energía hourglass.  
Fuente: Autor



Como se visualiza en la figura 6-13 el valor de la energía de hourglass no sobrepasa de 0,252 joule para validar este estudio el valor de la energía de hourglass debe ser inferior al 10% de la energía interna.

$$H_G = \frac{\text{Energía Hourglass}}{\text{Energía interna}} * 100\% \quad (6-1)$$

$$H_G = \frac{0,252 \text{ Nmm}}{1,18 \times 10^8 \text{ Nmm}} * 100\%$$

$$H_G = 0,00000002144\%$$

Se demuestra que el valor obtenido es inferior al 10% de la energía interna por tal motivo se concluye que el estudio es válido.

En la figura 6- 14 se observa el comportamiento de la energía total del modelo en base a la cabina del bus tipo interprovincial durante la prueba de impacto frontal donde se garantiza la precisión del análisis ya que la energía total tiende a mantenerse constante y la energía de reloj de arena no excede del 10% de la energía interna.

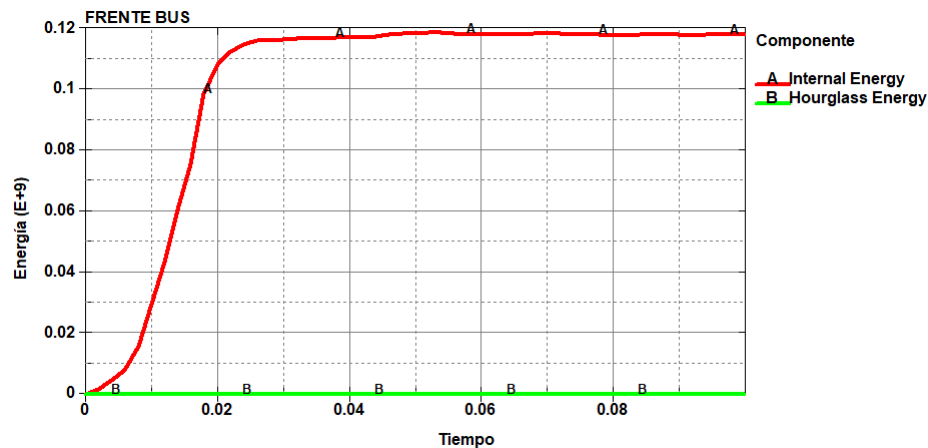


Figura 6-14 Comparación de Curva de energía hourglass e interna  
Fuente: Autor

### 6.6.7 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN LA ZONA SOLDADA E6011

La figura 6-15 indica la zona afectada por la soldadura se determina una distancia de 10 mm del punto de la soldadura en la geometría se detalla uniones juntas de la soldadura que forman la parte frontal del análisis este análisis se lo realiza para varias juntas soldadas del frente de la carrocería del bus.

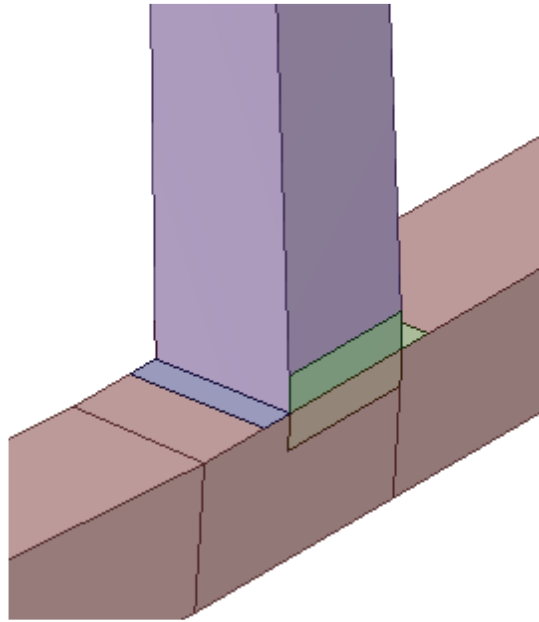


Figura 6-15: Juntas de soldadura analizar.  
Fuente: Autor

#### **6.6.7.1 PRE PROCESO DE LA SIMULACIÓN**

Para el pre proceso se realiza varios entornos y condiciones donde se aplica la dinámica explícita que está diseñada para simular aplicaciones mecánicas dichas condiciones se analiza la generación de la malla para el análisis por elementos finitos el frente está conformado por elementos estructurales del tipo superficie por lo que los elementos de malla deben ser idóneos para el análisis pro dinámica explícita según recomienda ANSYS son elementos Shell 163

Es un elemento de 4 nodos con capacidad de flexión de membrana permitiendo cargas normales y en el plano.

Se aplica la velocidad inicial en el test de impactó contra una pared rígida se procede con la configuración de la simulación

Las juntas de los perfiles son en gran parte a tope lo que permite que se genere una condición de pegado de miembros esto facilitara el análisis por deformación.

Procedamos a mallar la superficie de la estructura asignándole elementos tipo Shell 163 ya que LS DYNA no acepta otro tipo de elementos.

Las secciones afectadas por el efecto de la soldadura tendrán un refinamiento de malla ya que nuestro estudio se basa en el análisis de dichas secciones de la estructura.

De igual manera se utiliza el material obtenido de los ensayos de tracción del metal base más electrodo E6011 este material se aplicará el material en la zona afectada por soldadura.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7890	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's...			
6	Young's Modulus	2,7E+05	MPa		
7	Poisson's Ratio	0,3			
8	Bulk Modulus	2,25E+11	Pa		
9	Shear Modulus	1,0385E+11	Pa		
10	Plastic Strain Failure				
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,37			
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening				
13	Piecewise Linear Hardening				
14	Strain Rate Correction	Scale Y...			
15	Initial Yield Stress A	330,15	MPa		
16	Strain Rate Constant C	40			
17	Strain Rate Constant P	5			
18	Effective Stress	Tabular			
19	Scale	1			
20	Offset	0	MPa		

Figura 6-16: Material ASTM A500 + Electrodo E6011  
Fuente: Autor

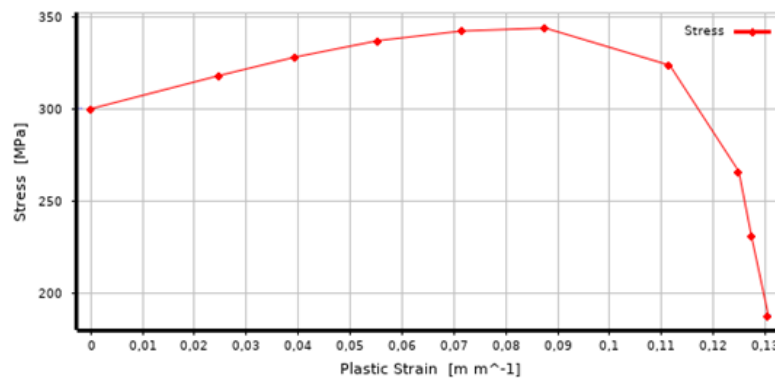


Figura 6-17: Material ASTM A500 Esfuerzo deformación  
Fuente: Autor

### 6.6.7.2 EL MALLADO

En el mallado se analiza en base al método del radio jacobiano que nos permite establecer una medida de la desviación de un elemento dado con respecto a un elemento ideal este valor ideal varis entre -1 a 1 donde 1 representa un elemento de forma perfecta en la figura 6-18 se muestra la aplicación jacobiana y también la gráfica de la estadística de los elementos obtenidos.



Figura 6-18: Mallado de la estructura del frente del bus interprovincial.  
Fuente: Autor

En la figura 6-19 la pared rígida se le da un tamaño de malla grande esto por ahorro computacional y porque la pared rígida no va absorber energía en nuestro análisis.

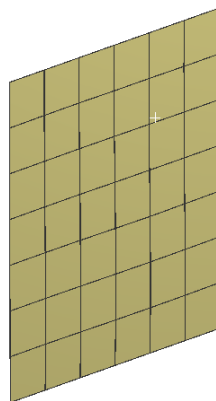


Figura 6-19: Mallado pared rígida.  
Fuente: Autor

### 6.6.7.3 Verificación de la calidad de la malla

El modelo fue mallado con elementos cuadriláteros y triangulares de tipo Shell en la estructura del frente de la carrocería con un tamaño de 25 mm para la estructura y para la pared el tamaño de malla es de 500mm.

La malla está compuesta por 32500 elementos y 32143 nodos teniendo 32137 elementos cuadriláteros y 363 elementos triangulares, la calidad de la malla se ha evaluado en base a la relación de aspecto de los elementos, teniendo una relación mínima de 1.32 y máxima de 7.03, los cuales son valores adecuados de calidad de

malla en la que la mayoría de elementos se encuentran en los valores mínimos de relación de aspecto y muy pocos se encuentran en los valores máximos. A continuación, se muestra la malla del modelo y su calidad:

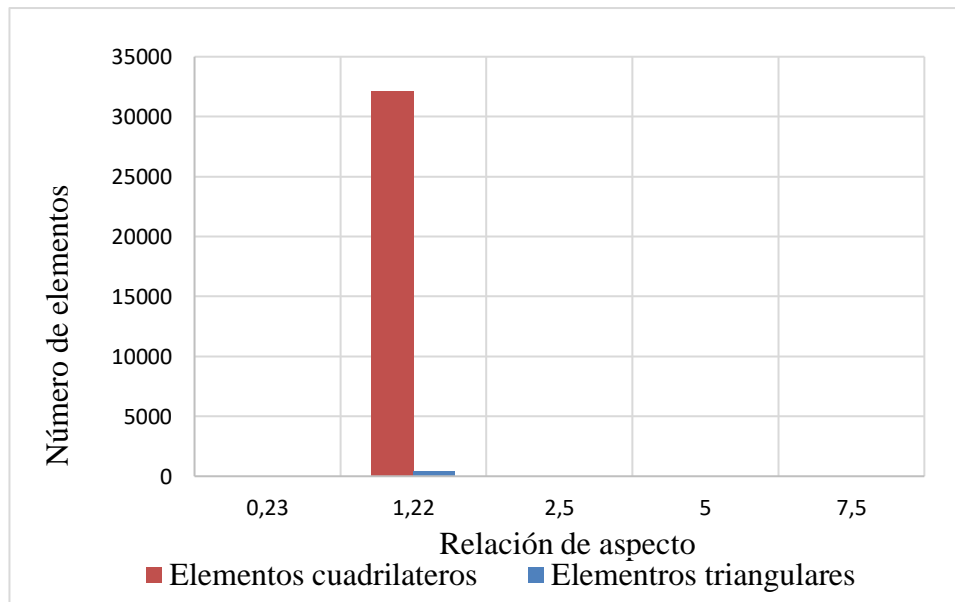


Figura 6-20: Calidad de mallado  
Fuente: Autor

### 6.6.7.4 RESULTADOS OBTENIDOS

La tabla muestra los resultados obtenidos de la simulación del ensayo, para la cual se utilizaron los modelos de materiales y condiciones descritas en las secciones anteriores respectivamente.



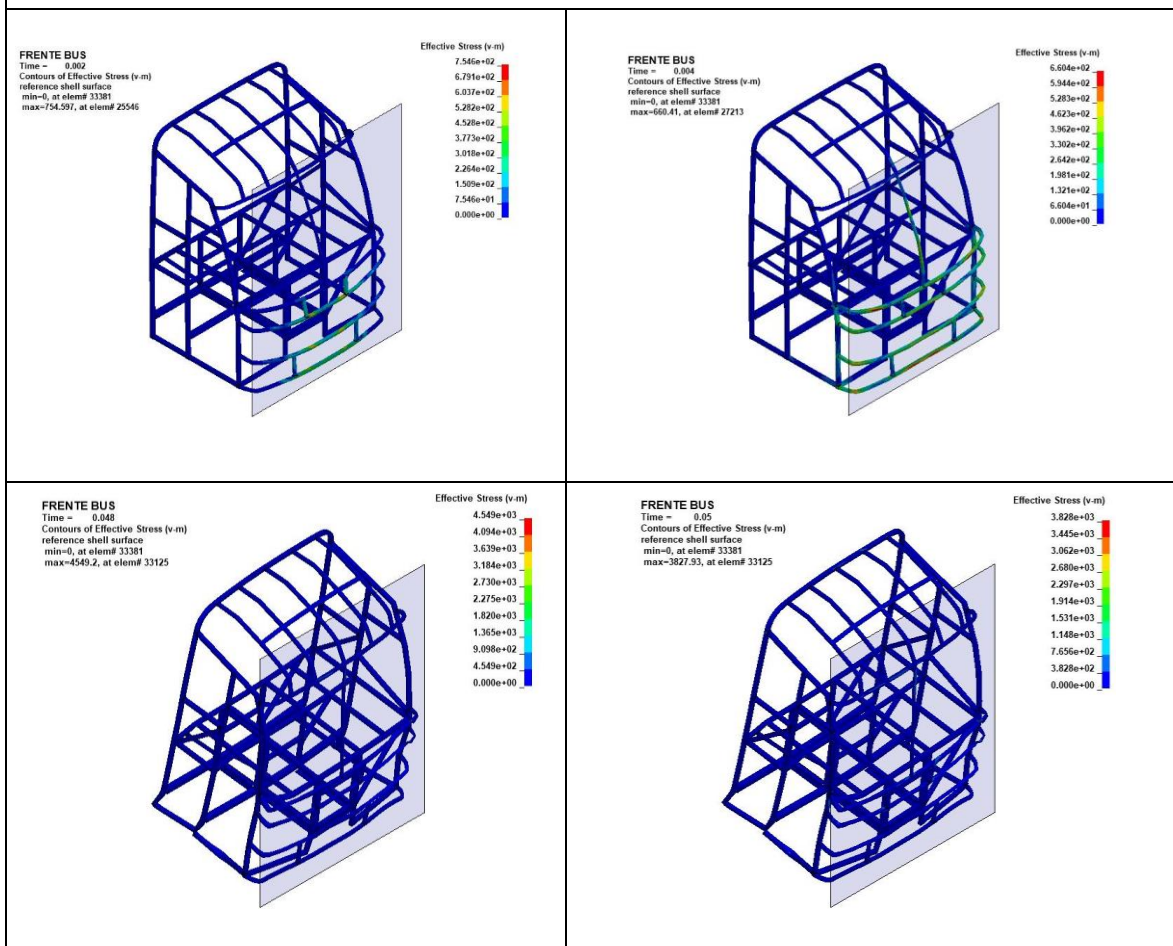
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

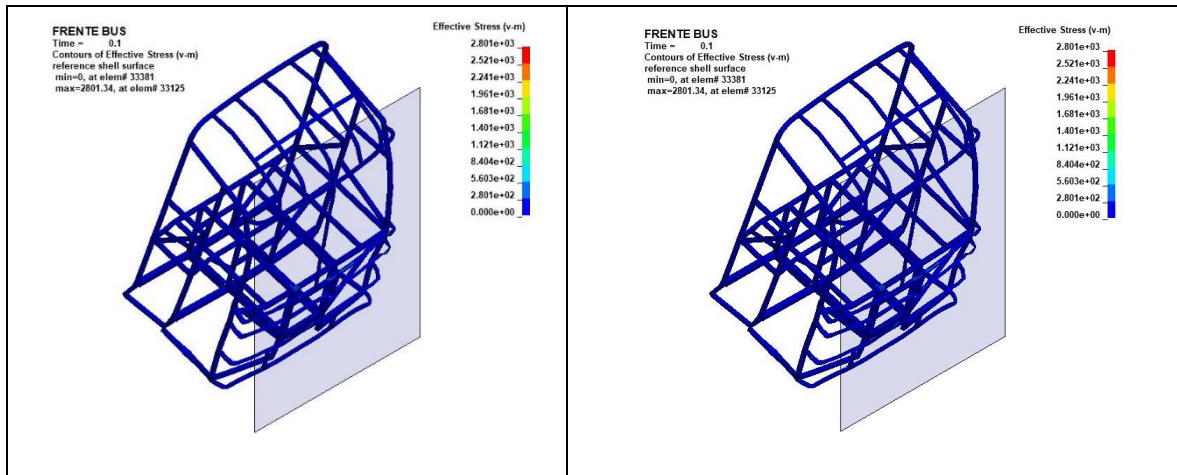


**SIMULACIÓN DE ENSAYO DE RESISTENCIA DEL FRENTE DEL BUS TIPO INTERPROVINCIAL**

<b>Normas aplicables:</b>	REGLAMENTO CEPE 94 NTE INEN 1323		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	25/05/2020	<b>Realizado por:</b>	Ing. Carrasco
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Gonzalo López
<b>Relación de aspecto mínima:</b>	1,20	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	1,22
<b>Número de elementos:</b>	32500	<b>Número de nodos:</b>	32143
<b>Tiempo de procesamiento:</b>	50 horas 12 minutos	<b>Número de procesadores:</b>	4
<b>Tipo de soldadura</b>		Material base más electrodo E6011	
<b>Resiste la estructura al impacto:</b>		Si	

**RESULTADO DEL ENSAYO**





Una vez terminada la simulación, se analiza los resultados más importantes obtenidos, estos esfuerzos se observan en las zonas donde sería más probable que se produzcan roturas, tales zonas son las uniones entre los puntos de soldadura del frente de la estructura del bus interprovincial, también se han analizado los desplazamientos y deformaciones plásticas efectivas. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

#### 6.6.7.5 Esfuerzos y deformaciones plásticas efectivas obtenidas en las uniones de la soldadura

En la estructura frontal se ha evaluado los esfuerzos en los elementos N.º 22689, 28536, 21722, los cuales se encuentran en las zonas de mayor concentración de esfuerzos, la figura 6-21 muestran la ubicación de los elementos analizados, mientras que las figuras 6-22, 6-23 muestran los esfuerzos producidos en dichos elementos

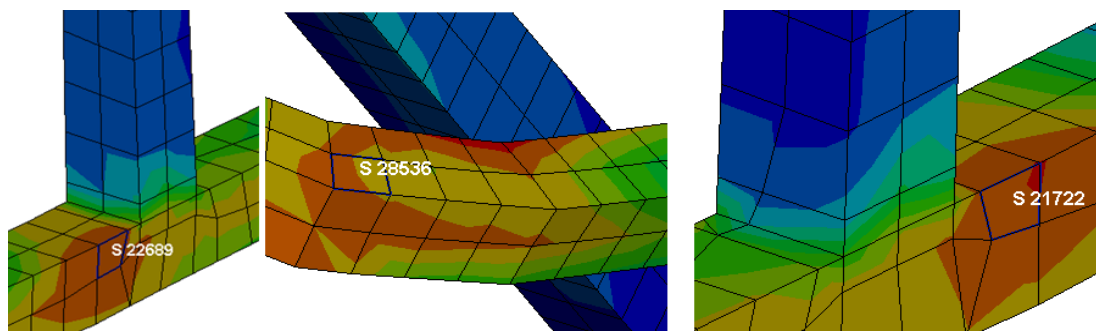


Figura 6-21: Ubicación de los elementos (22689, 28536, 21722)

Fuente: Autor

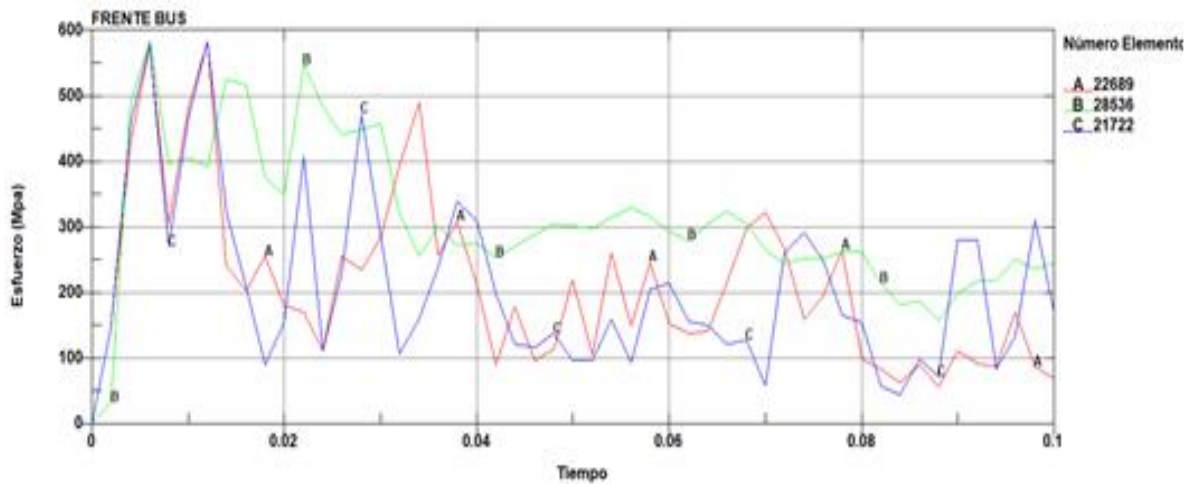


Figura 6-22: Esfuerzos en los elementos (22689,28536,21722).  
Fuente: Autor

El esfuerzo máximo se localiza en el elemento N° 28536, por lo que se ha analizado también la deformación plástica efectiva en este elemento, estos resultados se muestran a continuación:

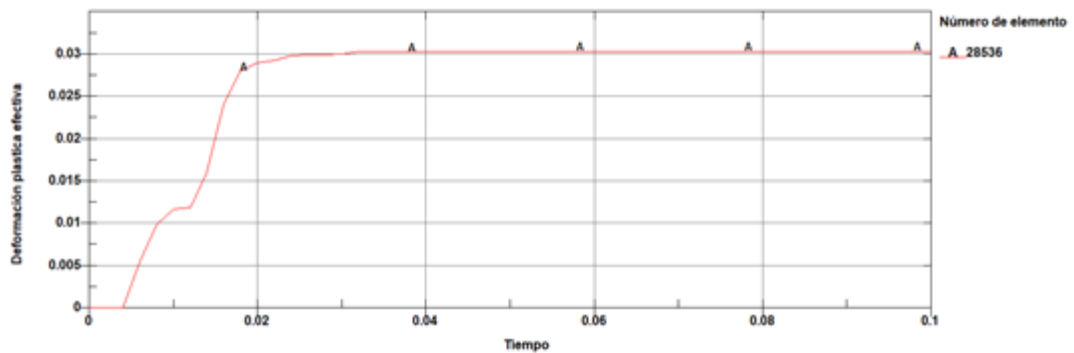


Figura 6-23 Deformación plástica efectiva en el elemento N° 28536  
Fuente: Autor

El esfuerzo máximo obtenido se localiza en el elemento N° 28536, su valor es de 586 MPa, mientras que la deformación plástica efectiva máxima en este elemento es de 0.03, por lo que este elemento es capaz de soportar el ensayo de resistencia debido a que los esfuerzos que se producen en la región de contacto de la estructura con la pared no llegan a la rotura del material.

A continuación, se presentan las curvas de energías cinética e interna representadas con los colores rojo y verde respectivamente. Durante el tiempo de impacto se cumple la Ley de conservación de energía “La energía no se crea ni se destruye solo se transforma en otros tipos de energía”, la energía cinética es proporcional a la energía



interna mientras la energía cinética disminuye la energía interna se incrementa, además un parámetro para la validez del ensayo realizado establece que toda la energía producida en un impacto debe ser constante, lo que claramente se puede evidenciar en la figura 6-24 con lo que posteriormente se procede a validar el estudio computacional.

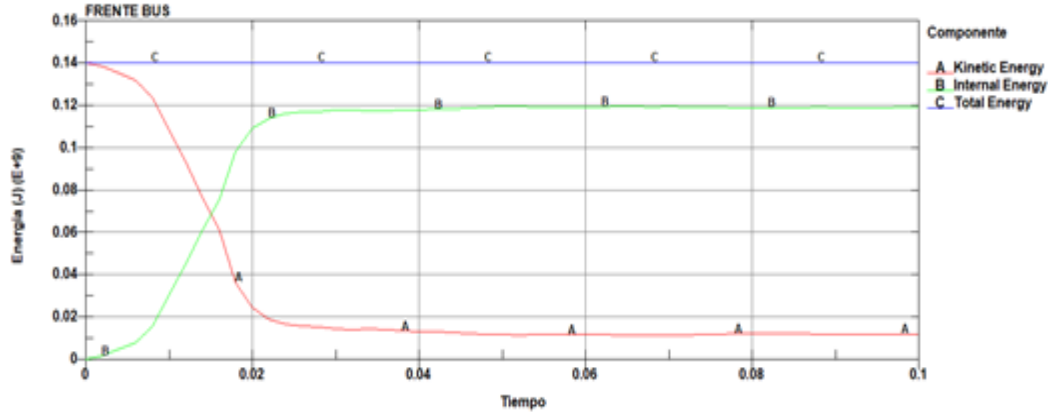


Figura 6-24 Variación de energía cinética e interna impacto frontal a 90 km/h.  
Fuente: Autor

### 6.6.7.6 Validación del proceso de simulación

Para validar la simulación se debe verificar el valor que se obtiene de la energía de hourglass, este valor al ser realizado por el método de Flanagan debe tener a ser una energía de valor cero y que no tenga influencia en el proceso de la simulación, por lo tanto, debe compararse con el refinamiento de la malla.

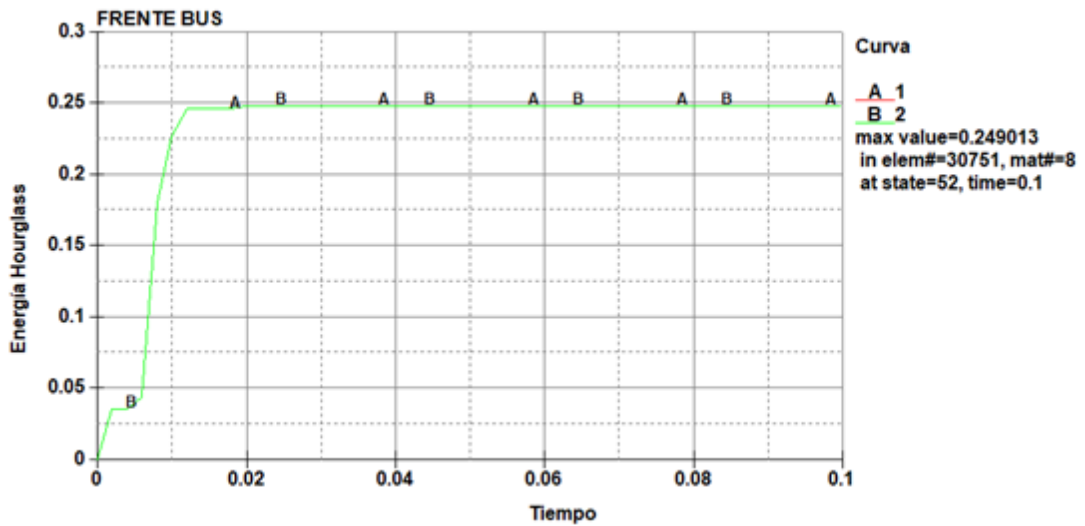


Figura 6-25 Curva de energía hourglass.  
Fuente: Autor

Como se visualiza en la figura 6-25 el valor de la energía de hourglass no sobrepasa de 0,249013 Joule para validar este estudio el valor de la energía de hourglass debe ser inferior al 10% de la energía interna.

$$H_G = \frac{\text{Energía Hourglass}}{\text{Energía interna}} * 100\% \quad (6-2)$$

$$H_G = \frac{0,24013 \text{ J}}{1,19 \times 10^8 \text{ J}} * 100\%$$

$$H_G = 0,0000000201\%$$

Se demuestra que el valor obtenido es inferior al 10% de la energía interna por tal motivo se concluye que el estudio es válido.

En la figura 6-20 se observa el comportamiento de la energía total del modelo en base a la cabina del bus tipo interprovincial durante la prueba de impacto frontal donde se garantiza la precisión del análisis ya que la energía total tiende a mantenerse constante y la energía de reloj de arena no excede del 10% de la energía interna.

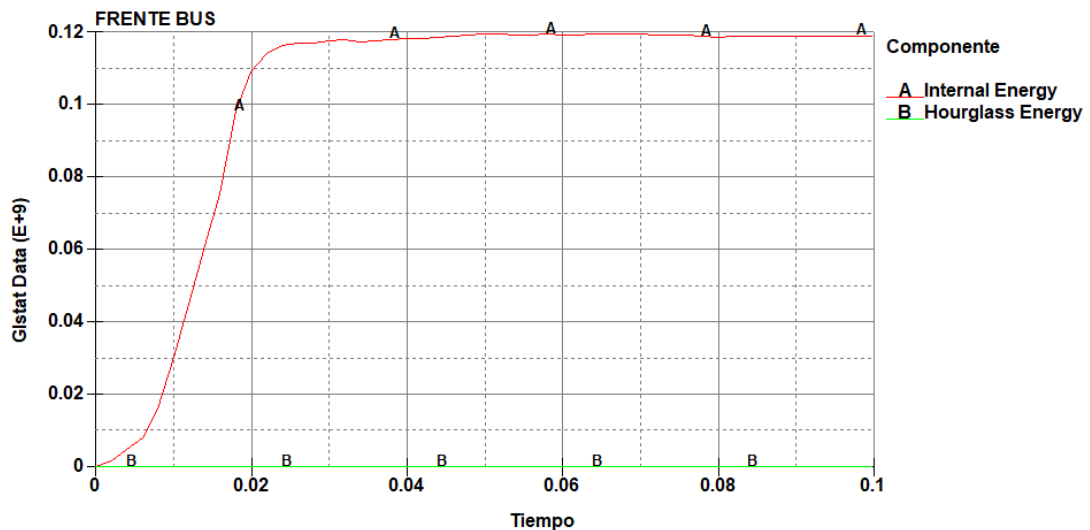


Figura 6-26 Curva de energía hourglass.  
Fuente: Autor

### 6.6.8 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA EN LA ZONA DE SOLDADURA ER70S-6

En este caso el análisis del material base más electrodo E6011 se reemplazará el material de soldadura, utilizando ahora el material base con el ER70S-6 también se

utiliza para el análisis durante el impacto frontal del frente de la carrocería por lo que se ingresa las propiedades del material en el software para su análisis correspondiente la figura muestra las propiedades obtenidas de las probetas ensayadas en capítulos anteriores.

Properties of Outline Row 4: ASTM A500 ER. 7056				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7890	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's...		
6	Young's Modulus	2,808E+05	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,3		
8	Bulk Modulus	2,34E+11	Pa	
9	Shear Modulus	1,08E+11	Pa	
10	Plastic Strain Failure			
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,37		
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			
13	Piecewise Linear Hardening			
14	Strain Rate Correction	Scale Y...		
15	Initial Yield Stress A	239,71	MPa	
16	Strain Rate Constant C	40		
17	Strain Rate Constant P	5		
18	Effective Stress	Tabular		
19	Scale	1		
20	Offset	0	MPa	

Figura 6-27: Material ASTM A500 + Electrodo ER70S-6  
Fuente: Autor

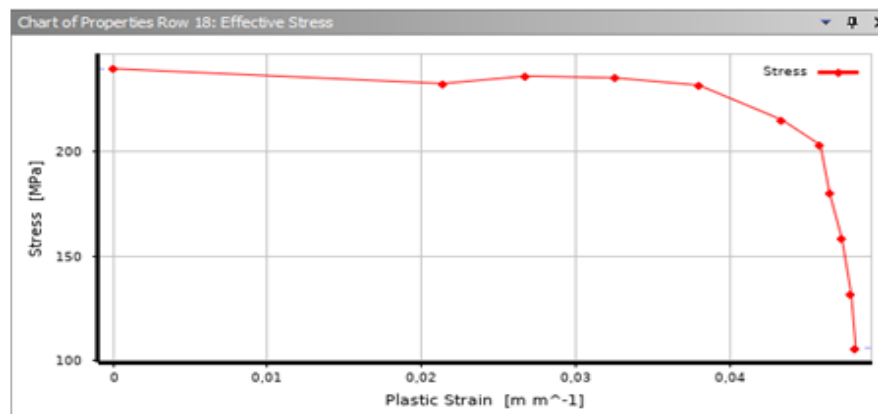


Figura 6-28: Material ASTM A500 + ER70S-6 Esfuerzo deformación  
Fuente: Autor

Estos materiales se aplicarán a cada miembro del frente de la estructura según los planos de construcción el valor de la malla, así como las condiciones de borde son las mismas que en el caso del análisis anterior del material base más el electrodo E6011 por lo tanto se obtiene los valores de los mismos elementos, así como la comparación de energías y validación del análisis computacional.

Por lo tanto, la figura muestra la calidad de malla del frente del bus interprovincial en ese caso con el electrodo ER70S-6 donde el número total de elementos es el mismo para los dos análisis.

#### **6.6.8.1 RESULTADOS OBTENIDOS**

La tabla muestra los resultados obtenidos de la simulación del ensayo, para la cual se utilizaron los modelos de materiales y condiciones descritas en las secciones anteriores respectivamente.



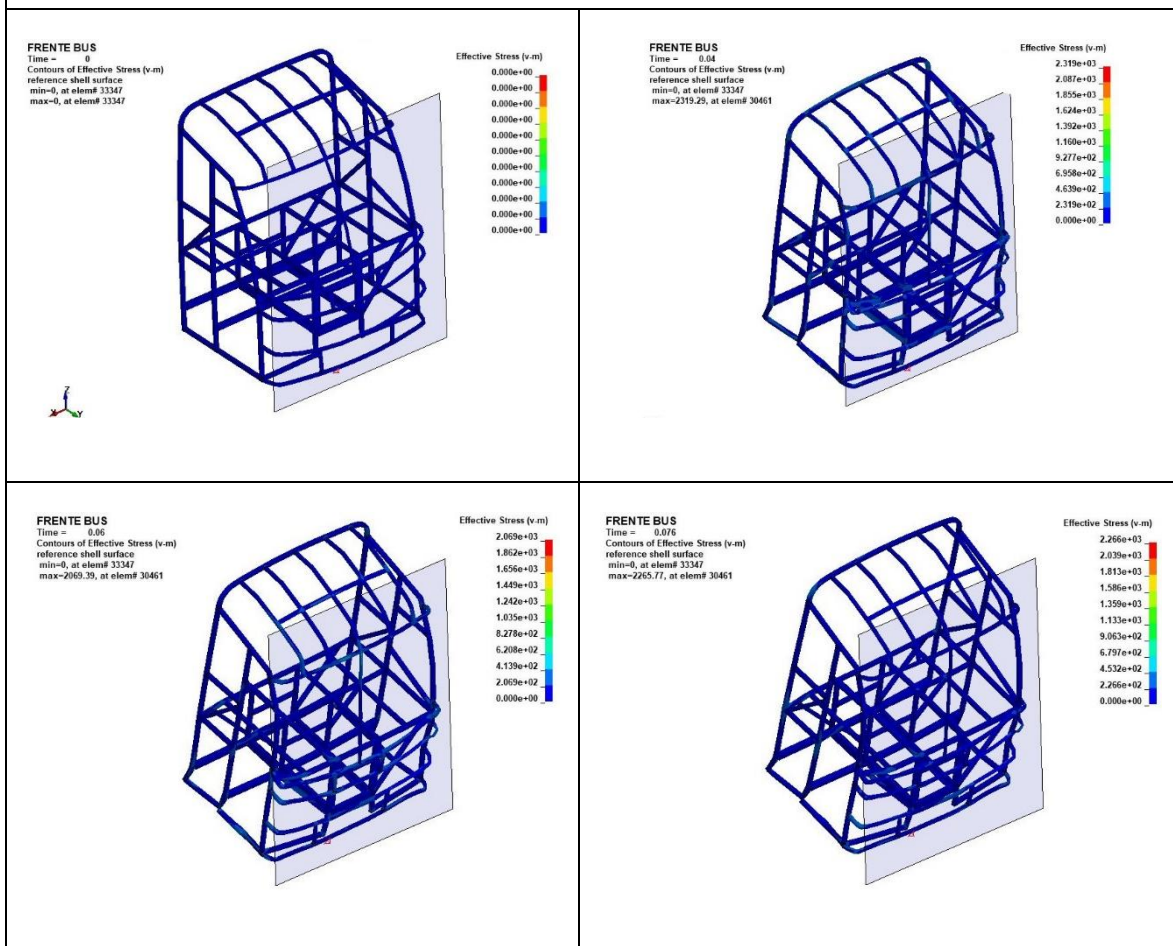
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

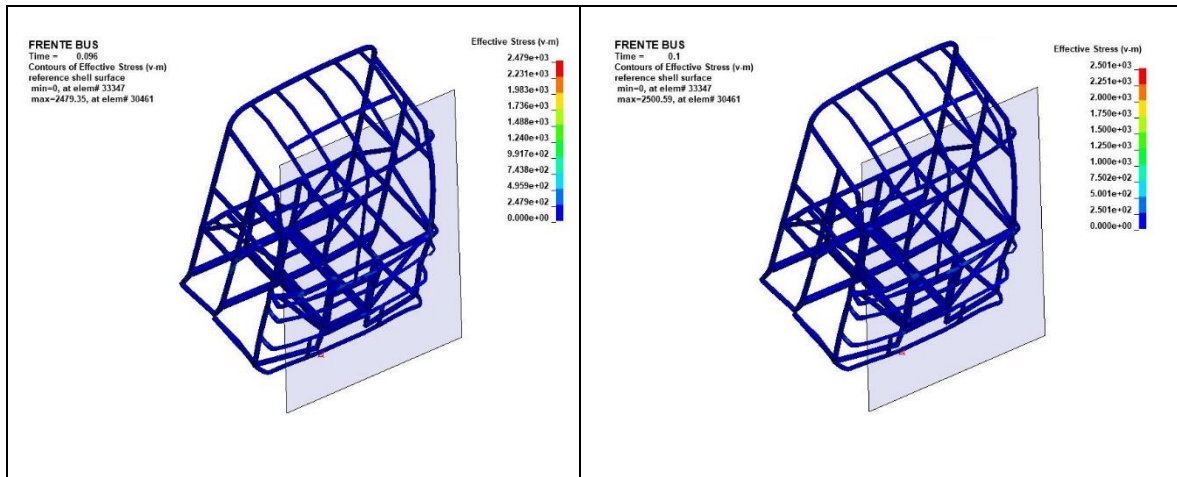


**SIMULACIÓN DE ENSAYO DE RESISTENCIA DEL FRENTE DEL BUS TIPO INTERPROVINCIAL**

<b>Normas aplicables:</b>	REGLAMENTO CEPE 94 NTE INEN 1323		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	25/05/2020	<b>Realizado por:</b>	Ing. Carrasco
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Gonzalo López
<b>Relación de aspecto mínima:</b>	1,20	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	1,22
<b>Número de elementos:</b>	32500	<b>Número de nodos:</b>	32143
<b>Tiempo de procesamiento:</b>	50 horas 12 minutos	<b>Número de procesadores:</b>	4
<b>Tipo de soldadura</b>		Material base más ER-70S6	
<b>Resiste la estructura al impacto:</b>		Si	

**RESULTADO DEL ENSAYO**





La grafica 6-29 muestra los elementos seleccionados para el análisis de los esfuerzos máximos

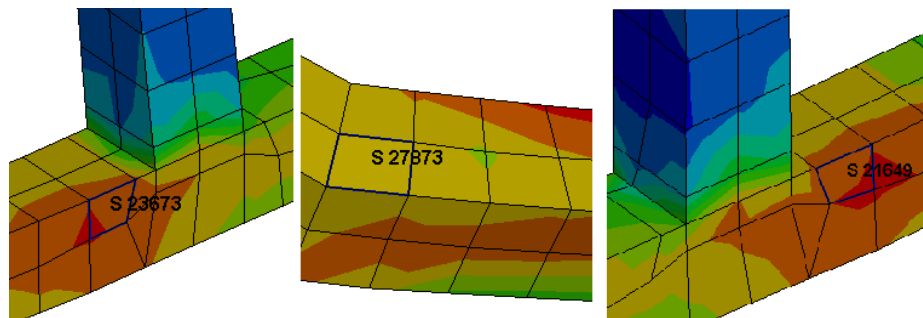


Figura 6-29: Ubicación de los elementos (22689, 28536, 21722)  
Fuente: Autor

El esfuerzo máximo se localiza en el elemento N° 21649, con un valor de 606 MPa sobrepasando el valor obtenido de la rotura del material sin embargo en se analiza también la deformación plástica efectiva en este elemento, estos resultados se muestran en las siguientes graficas.

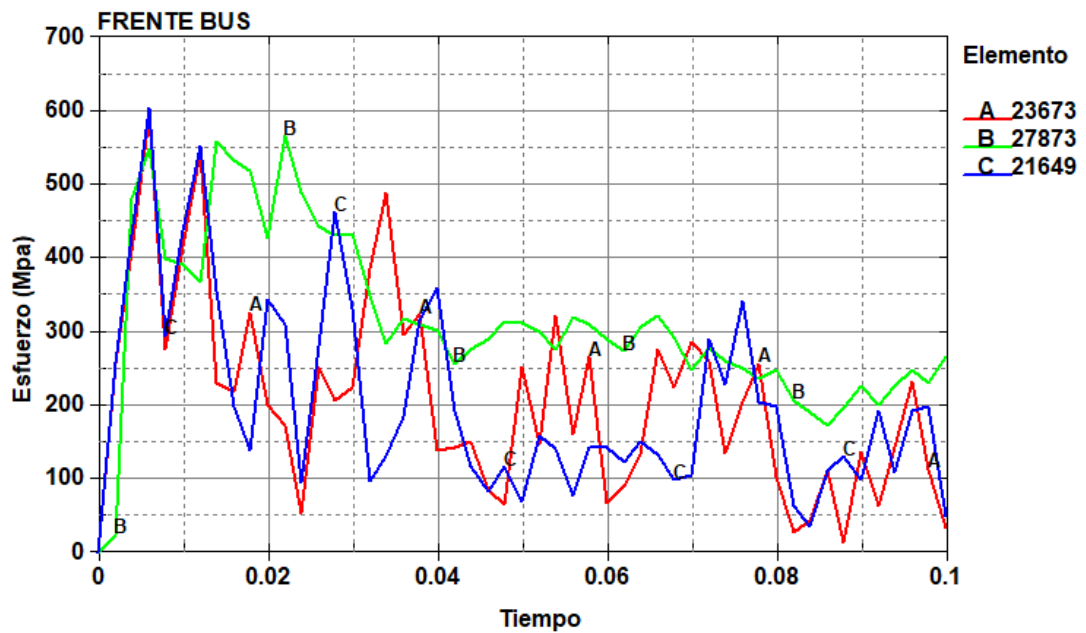


Figura 6-30: Esfuerzos en los elementos (21649,27973,23673)  
Fuente: Autor

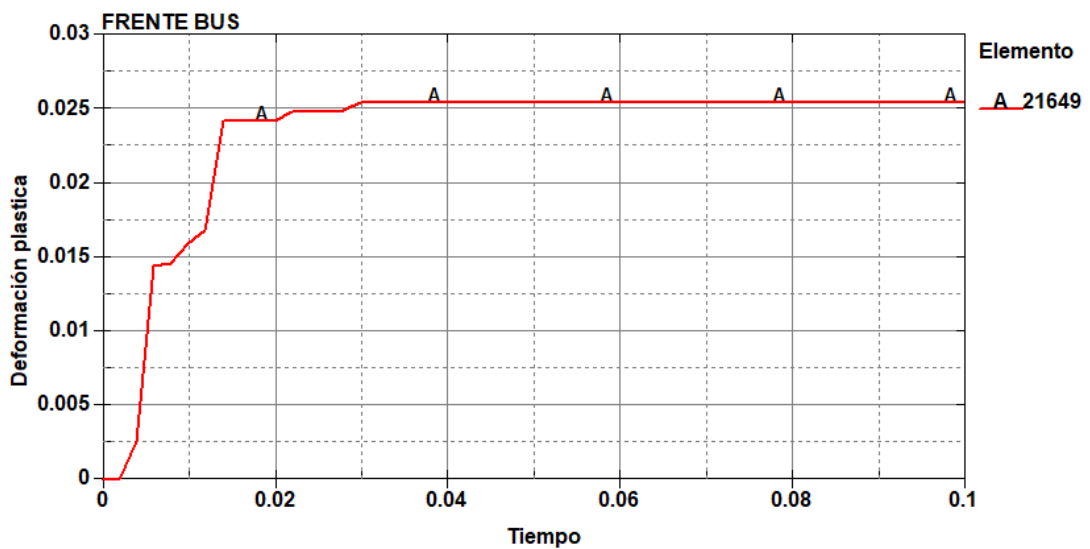


Figura 6-31 Deformación plástica efectiva en el elemento N° 21649  
Fuente: Autor

De la misma manera se analiza las curvas de energías cinética e interna representadas Durante el tiempo de impacto donde claramente se puede evidenciar en la gráfica con lo que posteriormente se procede a validar el estudio computacional.

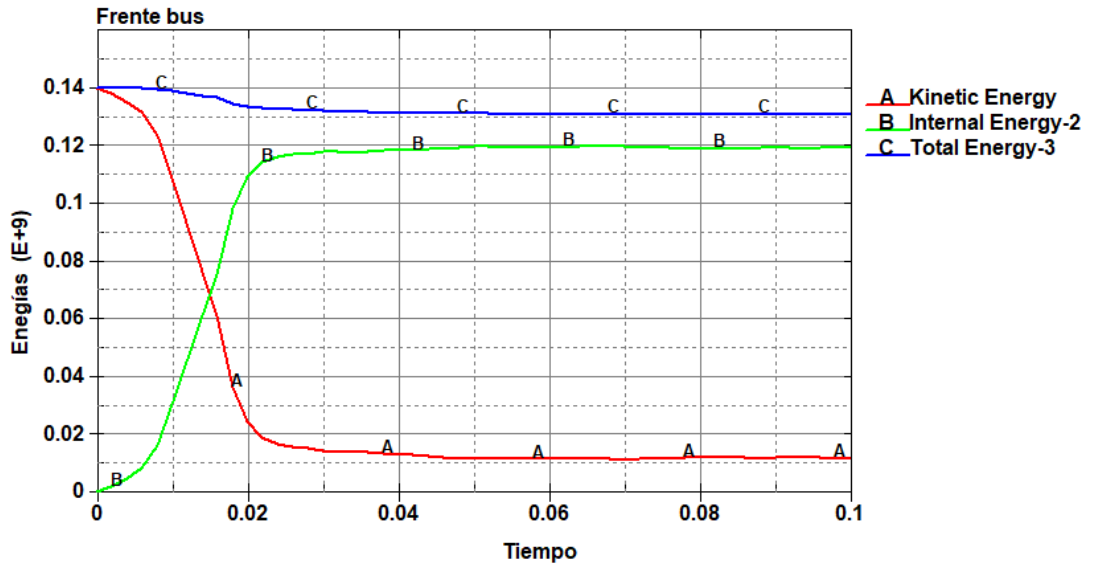


Figura 6-32 Variación de energía cinética e interna impacto frontal a 90 km/h.  
Fuente: Autor

### 6.6.8.2 Validación del proceso de simulación

Para validar la simulación se debe verificar el valor que se obtiene de la energía de hourglass, este valor al ser realizado por el método de Flanagan debe tener a ser una energía de valor cero y que no tenga influencia en el proceso de la simulación, por lo tanto, debe compararse con el refinamiento de la malla.

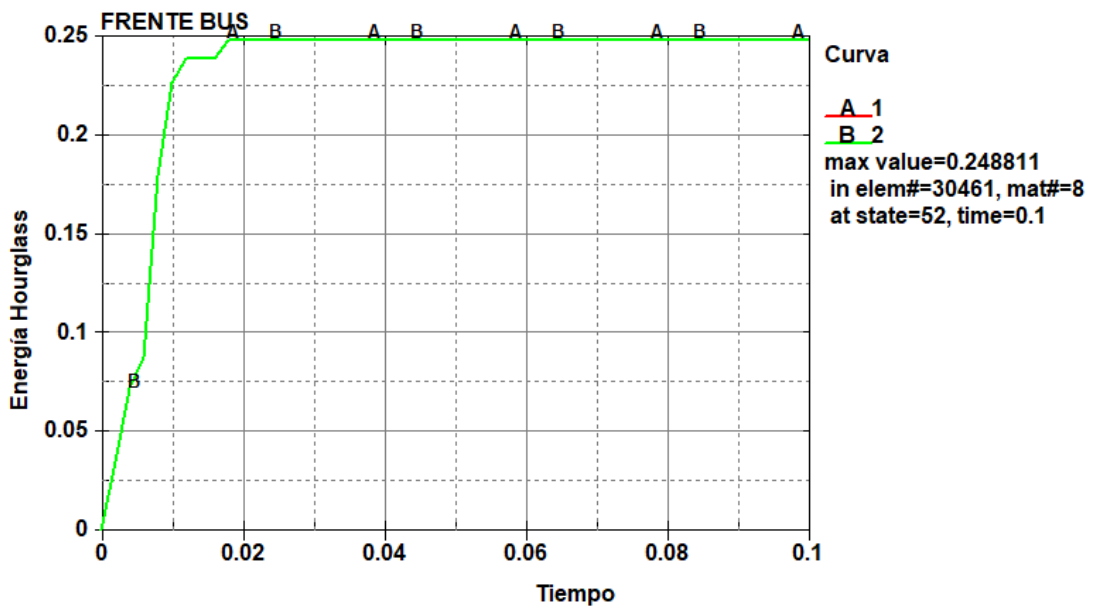


Figura 6-33 Curva de energía hourglass.  
Fuente: Autor



Como se visualiza en la figura 6-19 el valor de la energía de hourglass no sobrepasa de 0,248811Joule para validar este estudio el valor de la energía de hourglass debe ser inferior al 10% de la energía interna.

$$H_G = \frac{\text{Energía Hourglass}}{\text{Energía interna}} * 100\% \quad (6-3)$$

$$H_G = \frac{0,248811 \text{ J}}{1,2 \times 10^8 \text{ J}} * 100\%$$

$$H_G = 0,000000020734\%$$

Se demuestra que el valor obtenido es inferior al 10% de la energía interna por tal motivo se concluye que el estudio es válido.

En la figura 6-20 se observa el comportamiento de la energía total del modelo en base a la cabina del bus tipo interprovincial durante la prueba de impacto frontal donde se garantiza la precisión del análisis ya que la energía total tiende a mantenerse constante y la energía de reloj de arena no excede del 10% de la energía interna.

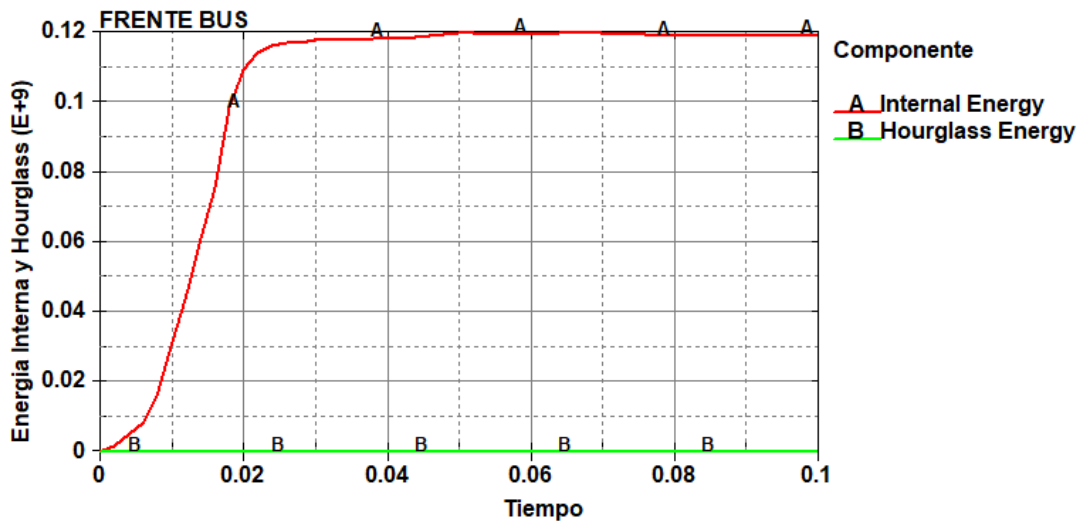
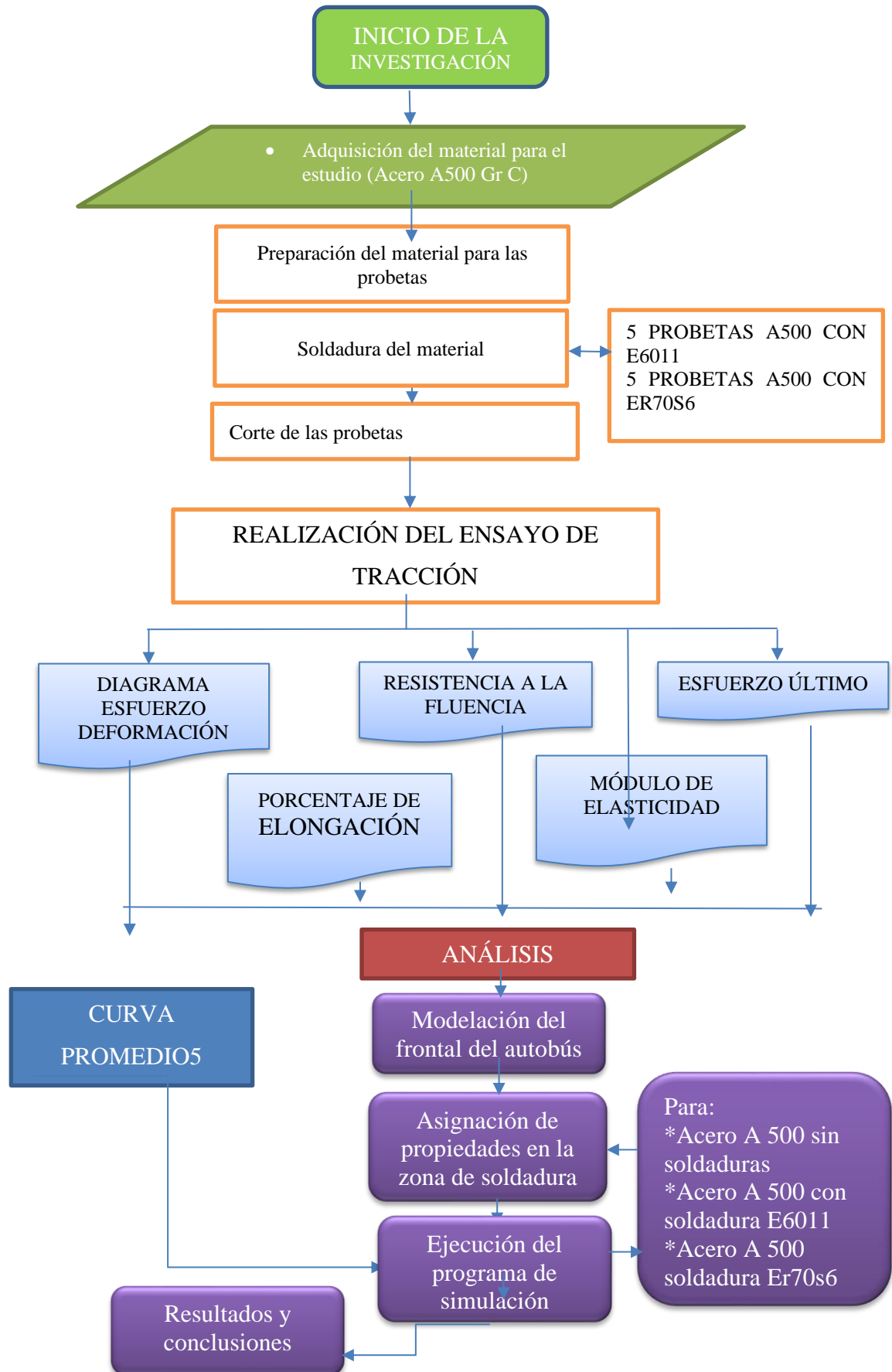



Figura 6-34 Curva de energía hourglass.  
Fuente: Autor

Comparación de análisis de soldadura por medio de la simulación computacional

## 6.7 METODOLOGÍA




## 6.7.1 ADQUISICIÓN DEL MATERIAL PARA EN ESTUDIO

**Tubería Estructural e Industrial - Tubería Mecánica** 

**Tubería Estructural e Industrial**

**Tubo Estructural Redondo**

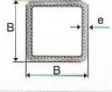
Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 6.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta



Diámetro		Espesor e	Área A	Peso P
Nominal	Exterior			
D				
Pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
3/4	19.10	1.50	0.83	0.65
		2.00	1.07	0.84
7/8	22.20	1.50	0.98	0.77
		2.00	1.27	1.00
1	25.40	1.50	1.13	0.88
		2.00	1.47	1.15
1 1/4	31.80	1.50	1.43	1.12
		2.00	1.87	1.47
1 1/2	38.10	1.50	1.72	1.35
		2.00	2.27	1.78
1 3/4	44.50	1.50	2.02	1.59
		2.00	2.67	2.09
1 7/8	47.60	1.50	2.17	1.71
		2.00	2.87	2.25
2	50.80	1.50	2.32	1.82
		2.00	3.07	2.41
		3.00	4.61	3.54
2 3/8	60.30	1.50	2.77	2.18
		2.00	3.66	2.88
		3.00	5.40	4.24
2 1/2	63.50	1.50	2.92	2.29
		2.00	3.86	3.03
		3.00	5.70	4.48
3	76.20	1.50	3.52	2.76
		2.00	4.66	3.66
		3.00	6.90	5.42
4	101.80	2.00	6.26	4.91
		3.00	9.29	7.29
		4.00	12.26	9.63
5	127.00	2.00	7.85	6.17
		3.00	11.69	9.17
		4.00	15.46	12.13
		6.00	22.81	17.90
6	152.40	2.00	9.45	7.42
		3.00	14.08	11.05
		4.00	18.65	14.64
		6.00	27.60	21.66

**Tubo Estructural Cuadrado**


Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 6.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta



Dimensiones		Área A	Peso P
B	e		
mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
20	1.50	1.05	0.83
	2.00	1.34	1.05
25	1.50	1.35	1.08
	2.00	1.74	1.36
30	1.50	1.65	1.30
	2.00	2.14	1.68
	3.00	3.01	2.36
40	1.50	2.25	1.77
	2.00	2.94	2.31
	3.00	4.21	3.30
50	1.50	2.95	2.24
	2.00	3.74	2.93
	3.00	5.41	4.25
60	1.50	3.45	2.71
	2.00	4.54	3.56
	3.00	6.61	5.19
75	2.00	5.74	4.50
	3.00	8.41	6.60
	4.00	10.95	8.59
100	2.00	7.74	6.07
	3.00	11.41	8.95
	4.00	14.95	11.73
125	2.00	9.74	7.64
	3.00	14.41	11.31
	4.00	18.95	14.87
	6.00	27.63	21.69

**Tubo Estructural Redondo para Postes**

Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 3.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta



Diámetro		Espesor e	Área A	Peso P
Nominal	Exterior			
D				
Pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
1/2	21.20	1.50	0.93	0.73
		2.00	1.21	0.95
3/4	26.70	1.50	1.19	0.93
		2.00	1.55	1.22
1	33.50	1.50	1.51	1.18
		2.00	1.98	1.55
		3.00	2.87	2.26
1 1/4	42.20	1.50	1.92	1.51
		2.00	2.53	1.98
		3.00	3.89	2.90
1 1/2	48.10	1.50	2.20	1.72
		2.00	2.90	2.27
		3.00	4.25	3.34
2	60.30	1.50	2.77	2.18
		2.00	3.66	2.88

Figura 6-35 Ficha técnica del material  
 Fuente: IPAC.

La adquisición del material para el estudio se lo hizo a través de la empresa IPAC en su sección de tubería estructural cuadrada en dimensiones de 50x50x2(mm), con una longitud de 6m, recubrimiento galvanizado. Su norma de fabricación es la ASTM A500 Gr C, con norma ecuatoriana NTE INEN 2415 y norma de galvanizado ASTM123.

## 6.7.2 PREPARACIÓN DE MATERIAL PARA LAS PROBETAS



Figura 6-36 Corte longitudinal del tubo cuadrado.  
Fuente: Autor



Figura 6-37 Corte a la longitud de cada probeta.  
Fuente: Autor

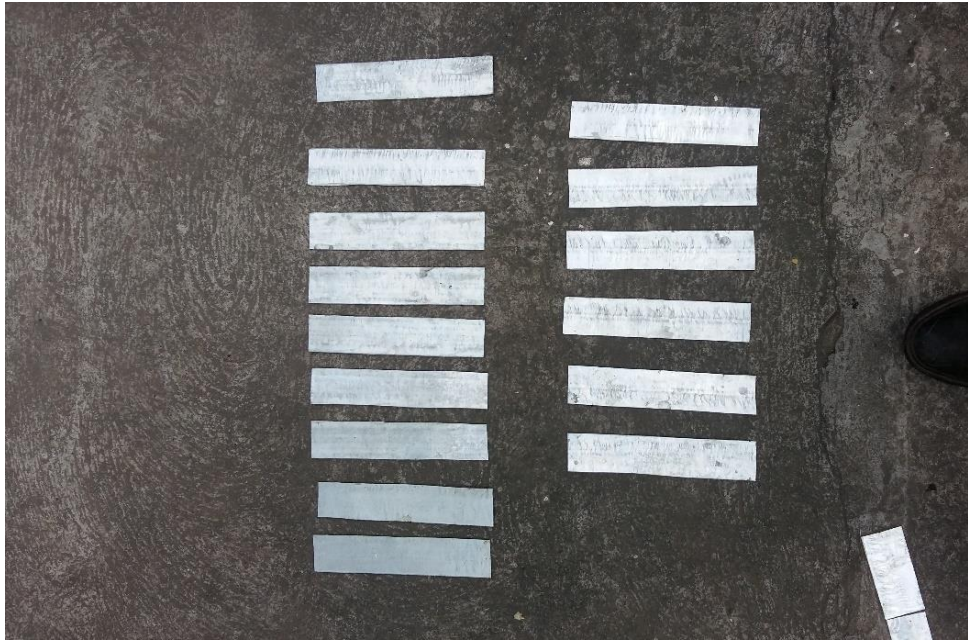


Figura 6-38 Placas cortadas a la longitud de cada probeta.  
Fuente: Autor

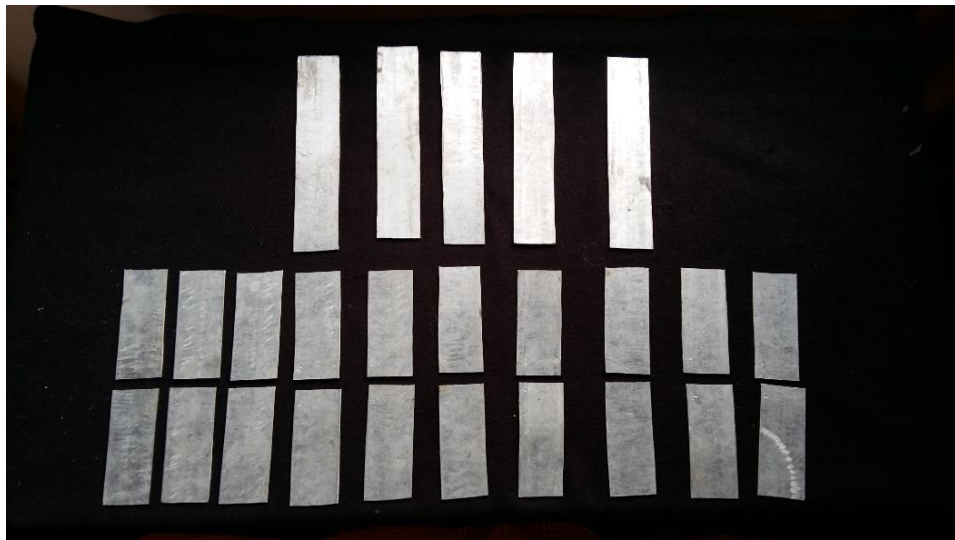


Figura 6-39 Corte de las placas para soldadura a tope.  
Fuente: Autor

### 6.7.3 SOLDADURA DEL MATERIAL



Figura 6-40 Soldadura del material  
Fuente: Autor



Figura 6-41 Soldadura a tope las placas.  
Fuente: Autor

#### 6.7.4 CORTE DE LAS PROBETAS



Figura 6-42 Maquinado de las probetas.  
Fuente: Autor



Figura 6-43 Probetas maquinadas por grupo.  
Fuente: Autor

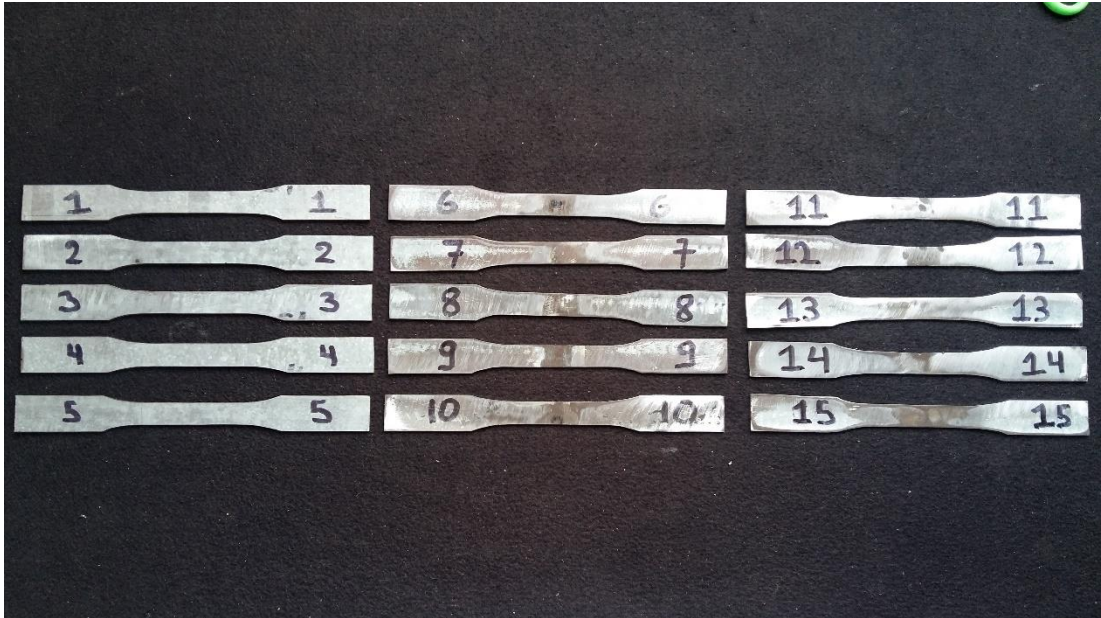


Figura 6-44 Numeración de las probetas.  
Fuente: Autor



Figura 6-45 Cada grupo de probetas para el ensayo.  
Fuente: Autor



## 6.7.5 ENSAYO DE TRACCIÓN

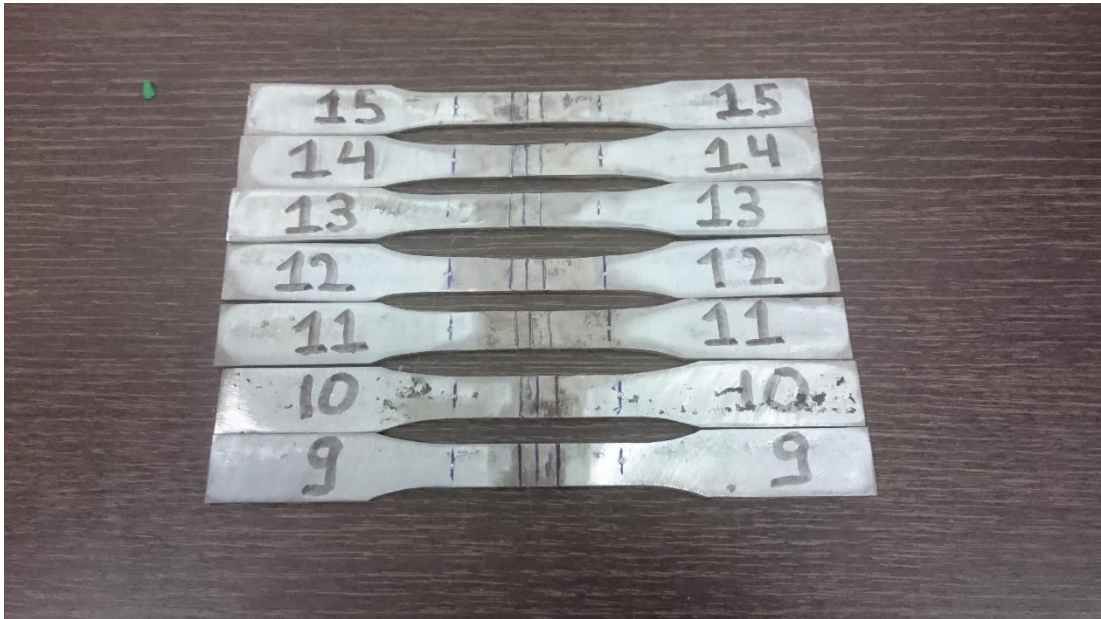


Figura 6-46 Marcación de las probetas para ubicar el deformímetro en la zona central de la soldadura.

Fuente: Autor



Figura 6-47 Ensayo de tracción.

Fuente: LenMaV Laboratorio de ensayo de materiales.

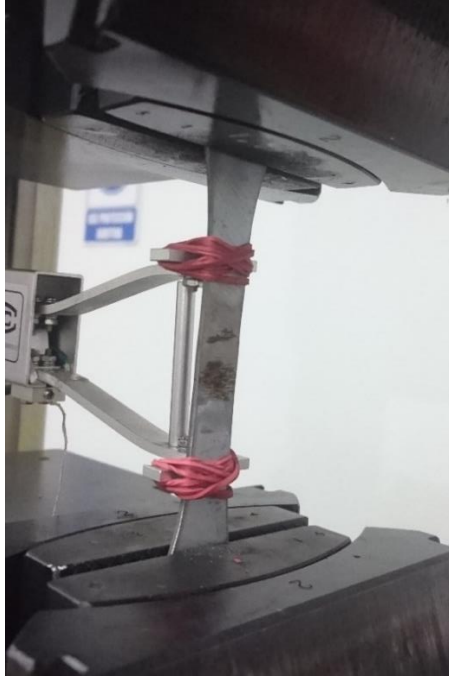


Figura 6-48 Ubicación del deformímetro y aplicación de carga.  
Fuente: LenMaV Laboratorio de ensayo de materiales.




Figura 6-49 Deformación de la probeta antes de romperse. Se puede observar que la ruptura será en cono y copa.  
Fuente: LenMaV Laboratorio de ensayo de materiales.



Figura 6-50 Probetas después dl ensayo de tracción  
Fuente: Autor

## 6.7.6 RESULTADOS




**LenMaV**  
LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.


  

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
Denominación: RG-18-02	
N° 01	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
<b>DIRECCION:</b>	UTA - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	Acero - A500
<b>MATERIAL:</b>	Lámina de acero - sin soldadura
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	ASTM E8
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	5-may-20
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
<b>MARCA:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
<b>SERIE:</b> 7136	<b>CERTIFICADO:</b> LNM-F-2016500064D
<b>CÓD IDENT:</b> M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 1
ESPESOR [mm]	2.00
ANCHURA [mm]	12.70
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	25.40
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	141.22
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.94
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	312.60
CARGA MAXIMA [KN]	9.44
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	371.65
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	24.00
<b>OBSERVACIONES:</b>	
Forma de la fractura:	taza y cono



LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES  
Riobamba - Ecuador

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Figura 6-51 Formato de los resultados del ensayo a tracción.  
Fuente: LenMaV Laboratorio de ensayo de materiales.

### 6.7.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Tabla 6-2 Tabla de resultados y porcentajes de variación de las propiedades.

Propiedades	Promedio para material base	Promedio para soldadura con E6011	Porcentaje de variación con respecto al material base [%]	Promedio para soldadura con ER70S-6	Porcentaje de variación con respecto al material base [%]
Módulo de Elasticidad (GPa)	149,8	269,97	80,22	280,8	87,45
Esfuerzo de fluencia (MPa)	316,36	300,15	-5,12	280,9	-11,21
Esfuerzo Máximo (MPa)	317,64	349,02	9,88	303,19	-4,55
Porcentaje de elongación	25,9	17	-34,36	19,4	-25,10

Fuente: Autor

### 6.7.8 MODELACIÓN DEL FRONTAL DEL AUTOBÚS

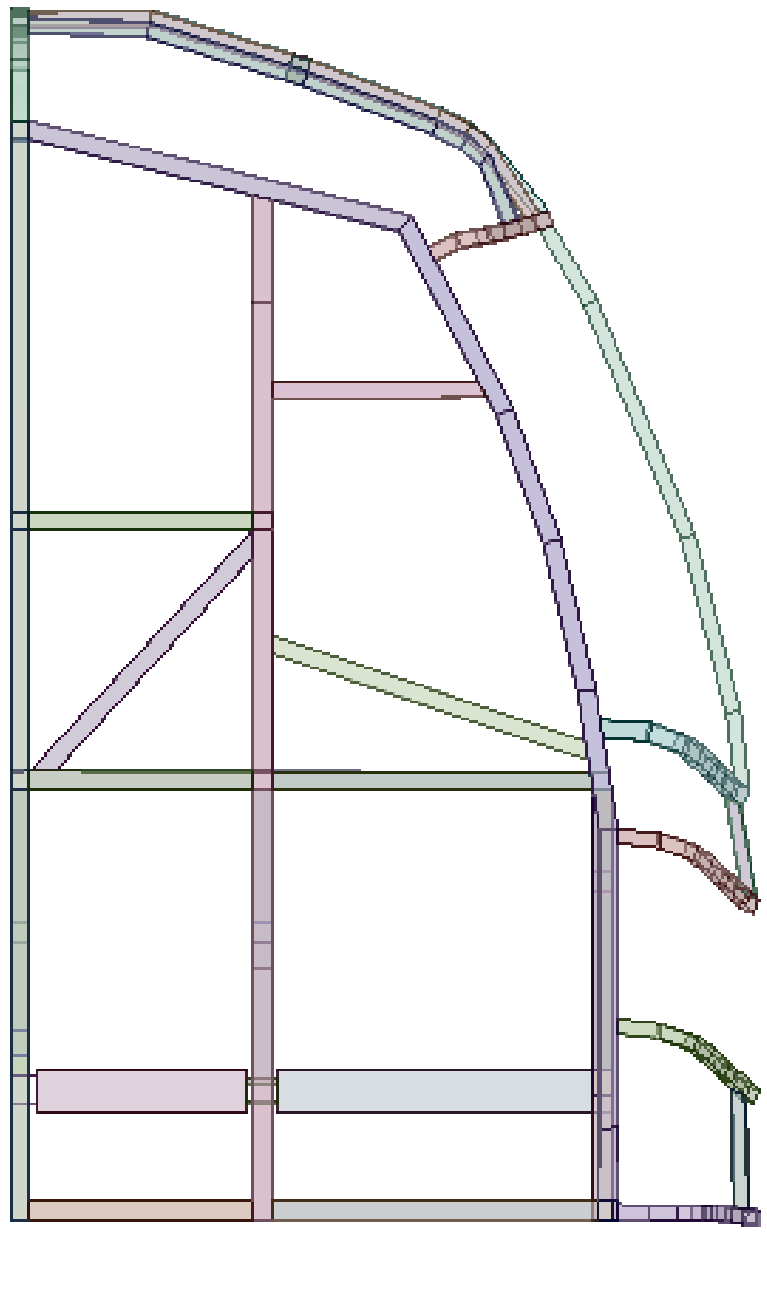


Figura 6-52 Modelación del frontal del bus y pared rígida.  
Fuente: Autor

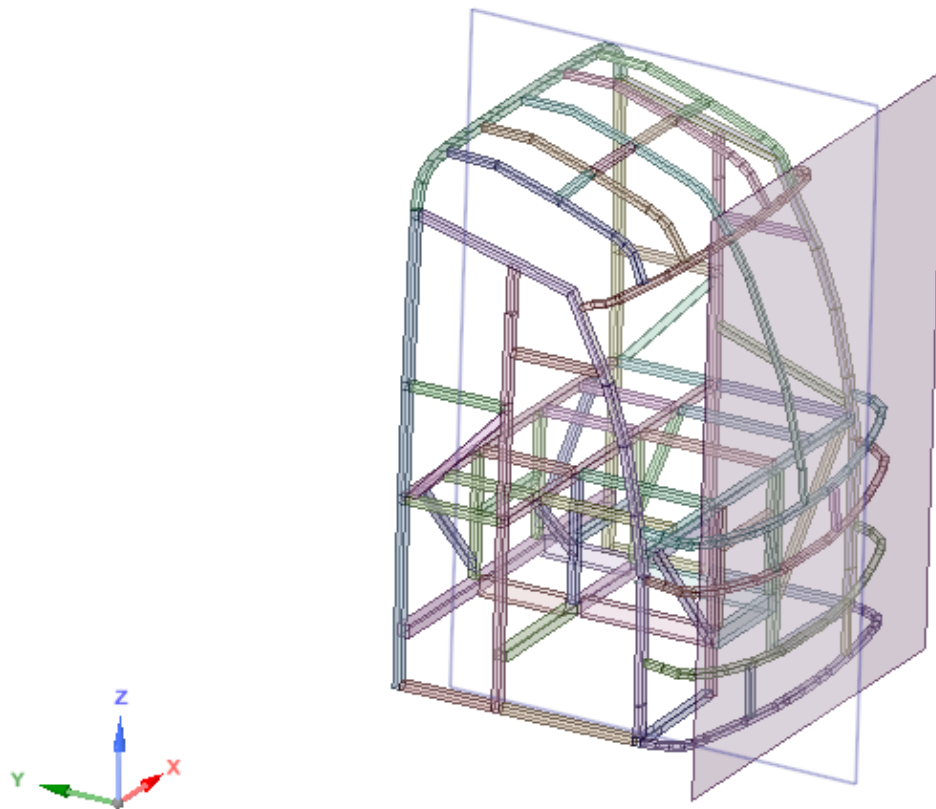


Figura 6-53 Vista isométrica frente de carrocería del bus para ensayo de impacto frontal.  
Fuente: Autor

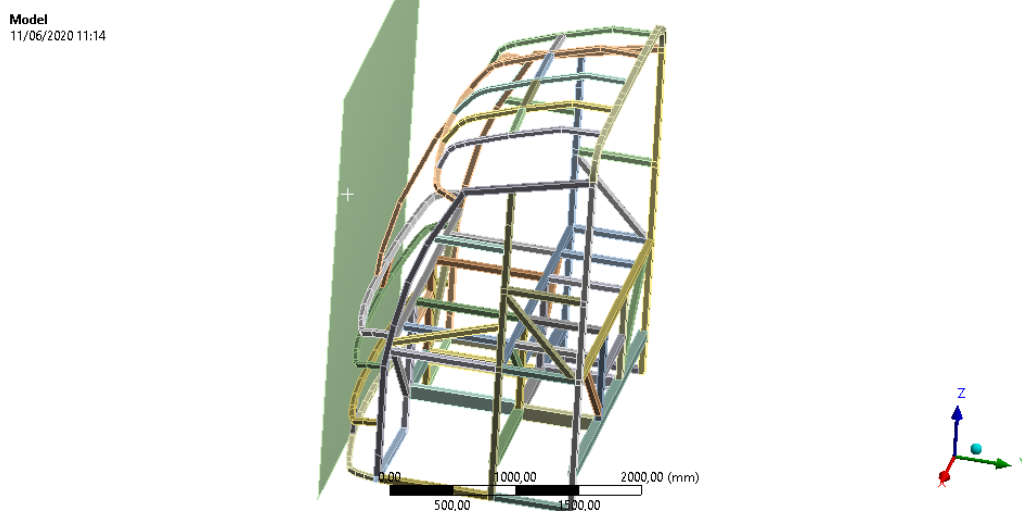


Figura 6-54 Asignación de propiedades en ANSYS  
Fuente: Autor

## 6.7.9 ASIGNACIÓN DE PROPIEDADES EN ZONA SOLDADA

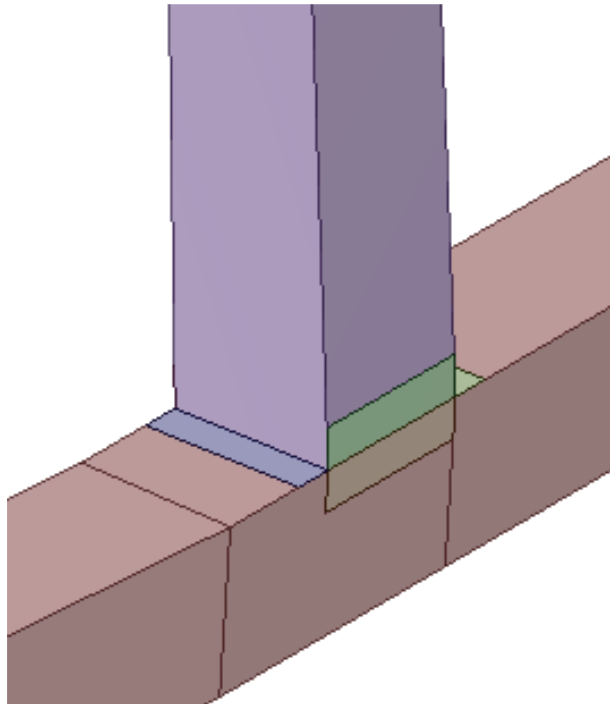


Figura 6-55 Zona de afectación térmica de la soldadura para el análisis.

Fuente: Autor

Properties of Outline Row 3: ASTM A500				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7890	kg m <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's...		
6	Young's Modulus	2,7E+05	MPa	
7	Poisson's Ratio	0,3		
8	Bulk Modulus	2,25E+11	Pa	
9	Shear Modulus	1,0385E+11	Pa	
10	Plastic Strain Failure			
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,37		
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			
13	Piecewise Linear Hardening			
14	Strain Rate Correction	Scale Y...		
15	Initial Yield Stress A	330,15	MPa	
16	Strain Rate Constant C	40		
17	Strain Rate Constant P	5		
18	Effective Stress	Tabular		
19	Scale	1		
20	Offset	0	MPa	

Figura 6-56 Asignación de propiedades promedio a la zona soldado obtenidas mediante el ensayo de tracción.

Fuente: Autor



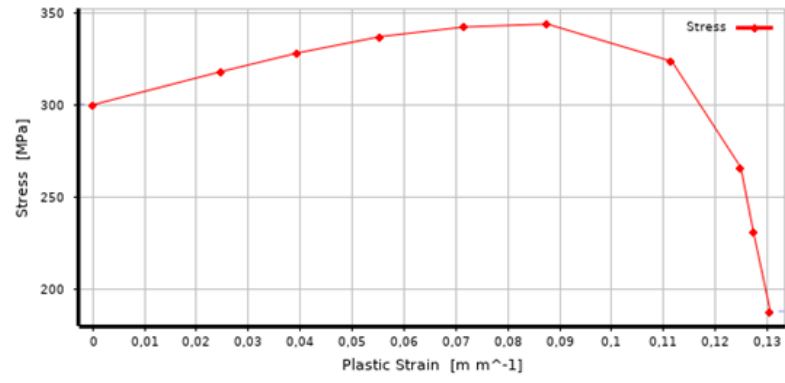


Figura 6-57 Curva promedio para la zona soldada.  
Fuente: Autor

### 6.7.10 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE IMPACTO

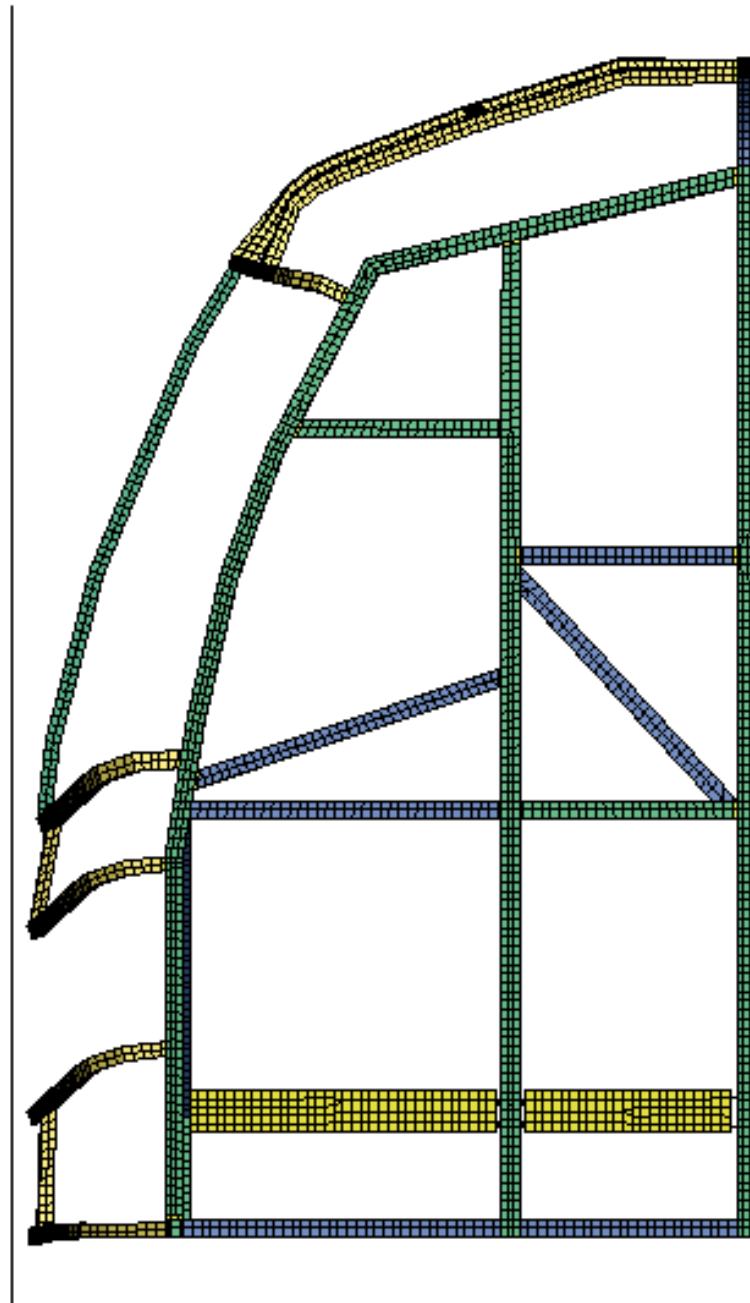


Figura 6-58 Frente de carrocería de bus a instantes del impacto.  
Fuente: Autor

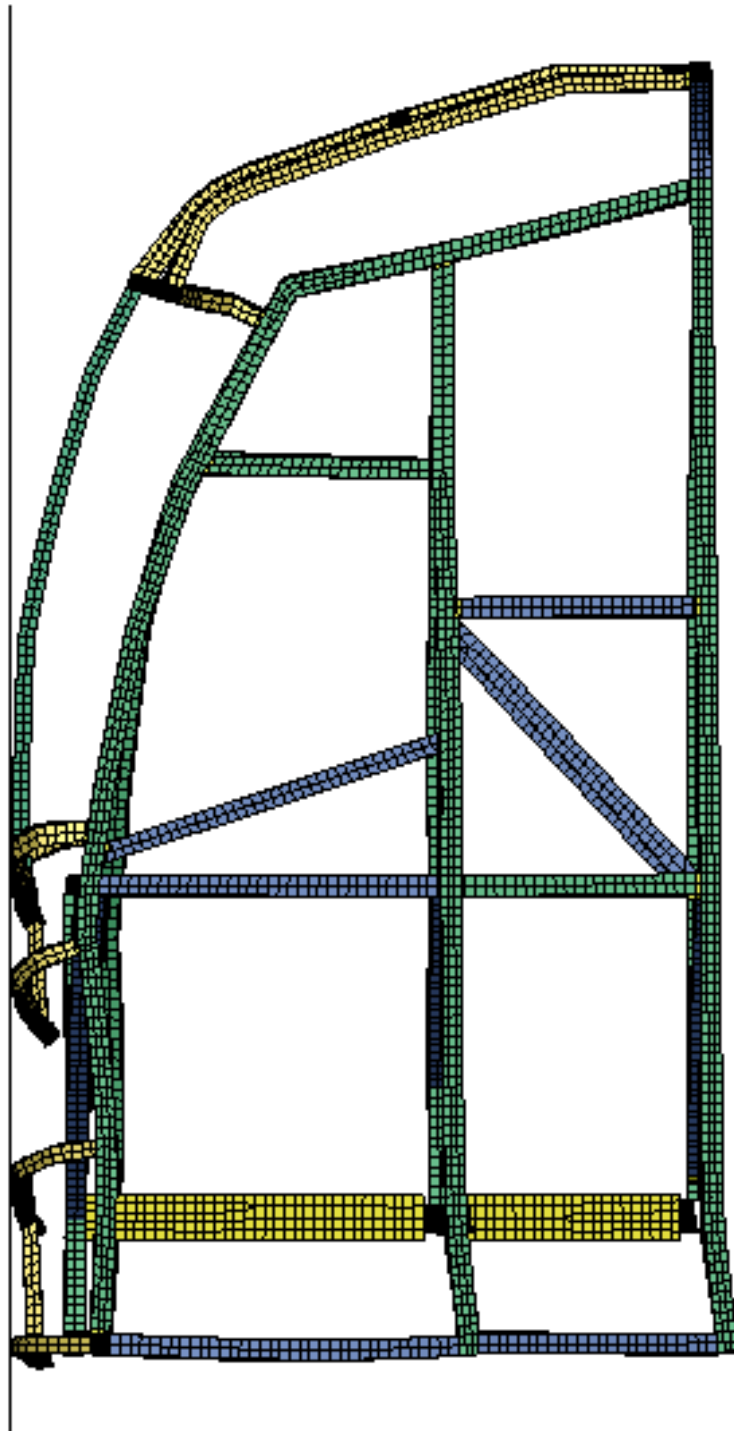


Figura 6-59 Deformación durante el impacto.  
Fuente: Autor

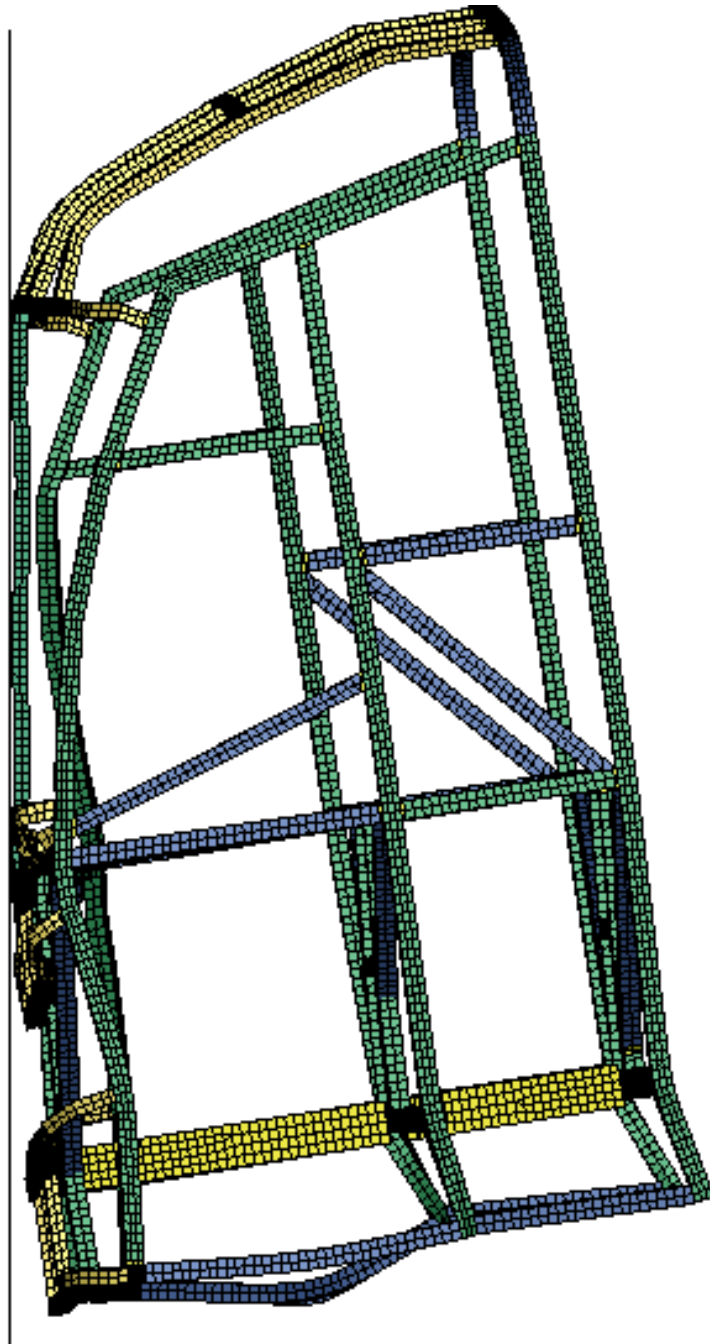


Figura 6-60 Deformación total del frente de carrocería.  
Fuente: Autor

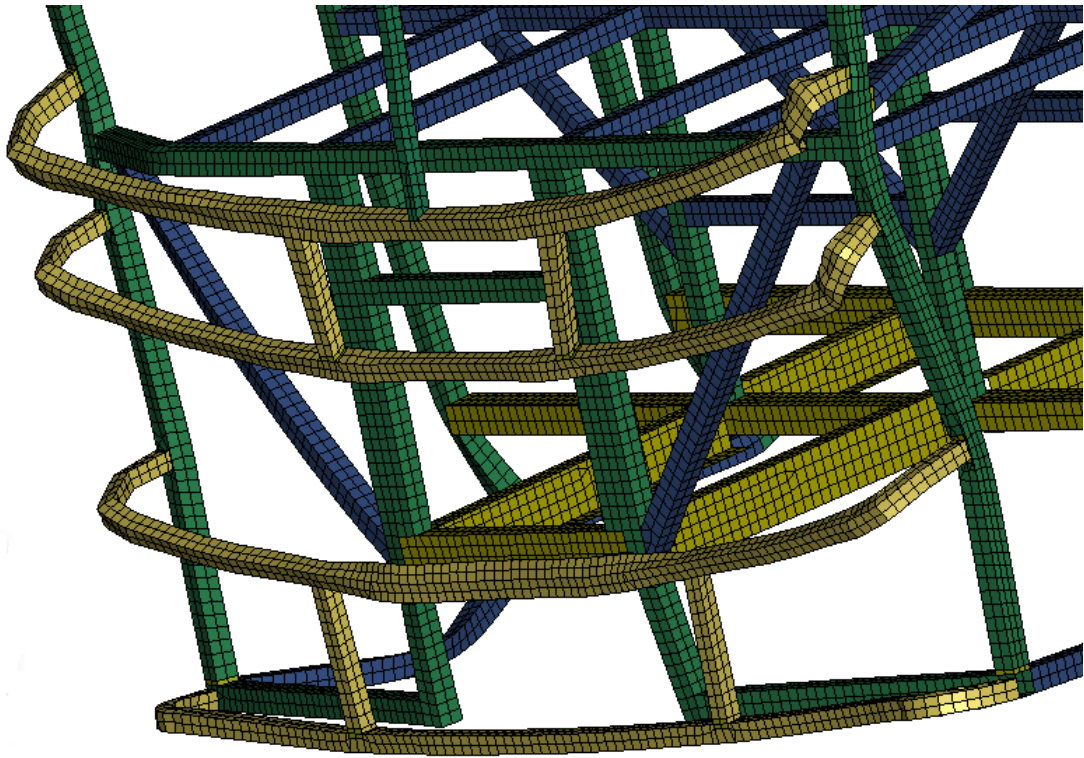


Figura 6-61 Vista frontal de la deformación por impacto.  
Fuente: Autor

### 6.7.11 ANÁLISIS DE RESULTADOS

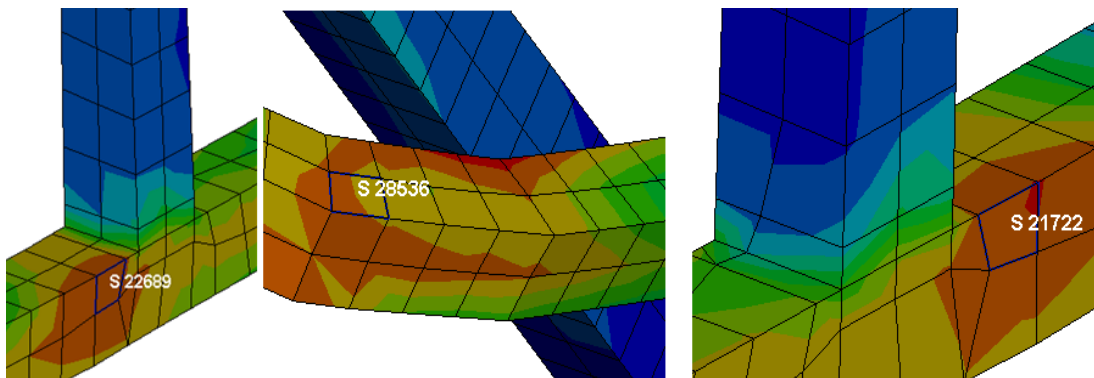


Figura 6-62 Esfuerzos máximos en la estructura y en la zona de soldadura.  
Fuente: Autor

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

Para la realización de esta investigación se necesitó de varios recursos tanto económicos, materiales y personales.

### 6.8.1 COSTOS DIRECTOS

Tabla 6-3 Costos Directos.

Nº.	Materiales	Cantidad	Unidades	Precio por unidad (USD)	Total
1	Perfil de acero ASTM A500 50x50x2	1	Perfil(6m)	40	40
2	Corte del perfil	1	unidad	5	5
3	Preparación de la soldadura	10	Probetas	5	50
4	Electrodos	10	ER70S-6	2	20
5	Soldadura	10	Por probeta	3	30
6	Corte de las probetas	15	Por probeta	8	120
7	Preparación de las probetas para ensayo de tracción	15	Por probeta	5	75
8	Ensayo de tracción	15	Por probeta	17	255
9	Resultados	15	Por ensayo	3	45
10	Análisis de resultados y datos	1	Por Informe	50	50
				<b>TOTAL</b>	<b>690</b>

Fuente: Autor.

## 6.8.2 COSTOS INDIRECTOS

Tabla 6-4. Costos indirectos.

N°.	Actividad	Cantidad	Precio por unidad (USD)	Sub Total
1	Análisis de resultado y verificación de la hipótesis	1	50	50
2	Adquisición del programa de simulación	1	30	30
3	Ejecución del programa	1	400	400
4	Resultados	1	50	50
5	Brocas	5	3	15
6	Lijas	10	0,75	7,5
7	Discos de desbaste	3	4	12
	Pulidora	1	40	40
			<b>TOTAL</b>	<b>604,5</b>

Fuente: Autor.

### Costos varios.

Tabla 6-5. Costos varios.

N°.	Actividad	Total
1	Transporte	50
2	Alimentación	100
3	Internet	30
4	Material de oficina	70
5	Imprevistos	100
	<b>TOTAL</b>	<b>350</b>

Fuente: Autor.

## 6.8.3 COSTO TOTAL

Tabla 6-6 Costo total.

N°	Descripción	Costo
1	C. Directos	690
2	C. Indirectos	604,5
3	C. Varios	350
	<b>TOTAL</b>	<b>1644,5</b>
		<b>(USD)</b>

## 6.9 CONCLUSIONES DE LA PROPUESTA

- El mallado de la sección frontal sin analizar la zona afectada por soldadura se lo realizó con un tamaño de malla de 25mm para la estructura y 500 mm para la pared rígida donde es un elemento tipo Shell cuadriláteros y triangulares siendo el número total de elementos de 31574 nodos y 31004 elementos siendo los elementos cuadriláteros con un numero 31284 y los elementos triangulares son 290. El valor de la relación de aspecto es 1,22 en los elementos por lo que la calidad de la malla es aceptable para nuestro análisis.
- Una vez terminada la simulación, se analizó los resultados más importantes obtenidos, estos esfuerzos se observan en las zonas donde sería más probable que se produzcan roturas, tales zonas son las uniones entre los puntos de soldadura del frente de la estructura del bus interprovincial
- En la estructura frontal se ha evaluado los esfuerzos en los elementos N.º 21151, 23258, 25350, 21932 los cuales se encuentran en las zonas de mayor concentración de esfuerzos, que sobrepasan el valor del esfuerzo, En la figura 6-10 se observó que el elemento 25350 tiene un valor de 606 MPa por lo que dicho elemento se analiza también la deformación plástica del elemento
- Se observa que el valor de la deformación máximo es de 0,0145 siendo un valor inferior al obtenido en los ensayos de tracción del acero el análisis sin la afectación de la zona de la soldadura resiste ante el impacto frontal a la velocidad indica para este tipo de simulación computacional.
- También se presentan las curvas de energías cinética e interna producto del análisis durante el tiempo de impacto y se cumple la Ley de conservación de energía, la energía cinética es proporcional a la energía interna mientras la energía cinética disminuye y la energía interna se incrementa, además un parámetro para la validez del ensayo realizado establece que toda la energía producida en un impacto debe ser constante.



## 6.10 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Finalizada la investigación se pudo comprobar efectivamente que el proceso de soldadura sí afecta a las propiedades del material. La propiedad más afectada fue el módulo de elasticidad con un cambio que superó el 80% lo que significa que el proceso de soldadura modificó el material haciéndolo más rígido y frágil debido al cambio de temperatura y a la velocidad de enfriamiento. Sin embargo, el esfuerzo de fluencia del material en la zona soldada disminuyó hasta un 10% lo que reduce también el factor de seguridad en esta zona. Seguido de esto se modeló y se realizó la simulación de impacto del frente de la carrocería del bus utilizando los resultados de los ensayos en la zona de soldadura. Los resultados de la simulación permitieron identificar las zonas donde se producen los mayores esfuerzos que se ubicaron en la zona del para choque frontal cercana a las uniones soldadas, pero no sobre las soldaduras. Los esfuerzos en estas zonas sobrepasaron los esfuerzos máximos pero las deformaciones fueron menores a los de los ensayos por esta razón no llegaron a romperse.

Mediante las tres simulaciones de impacto de la zona frontal de la estructura del autobús utilizando los resultados del ensayo de las probetas de material base de acero ASTM A500 sin soldadura, ASTM A500 con soldadura de electrodo E6011 y ASTM A500 con soldadura de electrodo ER70S-6, se pudo determinar las zonas y la cantidad de esfuerzo que se producen al momento del impacto y el comportamiento de las soldaduras en estas condiciones. Se observó que al momento del impacto del frontal de la carrocería se producen esfuerzos muy altos, pero estos no están en las zonas de soldadura de la estructura por lo que a pesar de que en las zonas soldadas se tiene una afectación en las propiedades y resistencia al momento del impacto estas zonas no se rompen debido a que los esfuerzos máximos no están en esa zona.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. O. Aranda Pazmiño y V. P. Dután Aman, Tesis. Estudio de los aceros estructurales para la construcción de carrocerías de buses, Quito, 2009.
- [2] D. AsKeland y P. Phulé, CIENCIA E INGENIERÍA DE LAS MATERIALES, México, D.F.: CENGAGE Learning, 2016.
- [3] A. F. Vyhmeister Franco, Tesis, CORTE MEDIANTE CHORRO DE AGUA-ABRASIVO, Valdivia, 2003.
- [4] D. O. Aranda Pazmiño, Estudio de aceros esructurales para la construcción de carrocerías para buses TESIS, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [5] Z. Mónica , M. Ramini, E. Surian, R. Bruna y E. Barralla , «Efecto del procedimiento de soldadura sobre las propiedades de uniones soldadas de aceros microaleados para cañería,» *Scielo* , 2009.
- [6] E. Lopez , B. Campillo , H. Vergara y P. Garnica, «EFECTO DEL CALOR APORTADO POR SOLDADURA EN UN ACERO,» *MEMORIAS DEL XIX CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 2013.
- [7] American Society for Testing and Materials, ASTM E8 Métodos de prueba estandar par tensión en materiales metálicos., West Conshohocken, 2016.
- [8] Gerdau Aza, «Compendio de normas para productos de acero,» *GERDAU AZA Palabra de acero*, Vols. %1 de %2Tercera Edición, 2000, 2010.
- [9] N. John E, Metalurgia y Materiales Industriales, Limusa, 2010.
- [10] GERDAU CORSA, «Elcción del tipo de acero para estructuras,» *El ACERO HOY*, 2008.
- [11] SOLDEXA, «Manual de soldadura y catálogo de productos.,» *OerliKon*, vol. 7° Edición, 2005.

- [12] H. Gutiérrez Pulido y R. De La Varra Salazar, Análisis y diseño de experimentos, Segunda ed., México: McGraw-Hill, 2008.
- [13] American Welding Society, WS B4.0 Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, Miami, 2016.
- [14] M. B. F. K. Merklein, Key Engineering Materials, Volume 438 : The Coatings in Manufacturing Engineering, Dueten , 2010.
- [15] A. Bruzone, «Resistencia Mecánica,» 20 Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://www.substech.com/desgastemecanico-resistencia/rtf..> [Último acceso: 3 6 2013].
- [16] T. C. Y.-B. A. T. Goto, Engineering Materials, Volume 484 : Advanced Engineering, Durnten, Zurich, 2011.
- [17] C. A. Castro, Teorías de falla, México, 2011.
- [18] W. Smith y J. Hashemiv, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Nueva York: McGrawHill, 2010.
- [19] P. L. Mangonon, Ciencia de materiales Selección y diseño, Mexico: Person Educación, 2015.
- [20] W. Callister , Ciencia e Ingeniería de los Materiales, España: REVERTÉ,S.A., 2017.
- [21] J. Shigley y C. Mischke, Diseño en ingeniería mecánica, Mexico: McGraw-Hill, 2019.

# ANEXOS

# Anexo 1: Catálogo de productos de IPAC

Tubería Estructural e Industrial - Tubería Mecánica

### Tubería Estructural Redondo

Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 6.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

Diámetro		Espesor	Área	Peso
Nominal	Exterior	e	A	P
D				
Pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
3/4	19.10	1.50	0.83	0.65
		2.00	1.07	0.84
7/8	22.20	1.50	0.98	0.77
		2.00	1.27	1.00
1	25.40	1.50	1.13	0.88
		2.00	1.47	1.15
1 1/4	31.80	1.50	1.43	1.12
		2.00	1.87	1.47
1 1/2	38.10	1.50	1.72	1.35
		2.00	2.27	1.78
1 3/4	44.50	1.50	2.02	1.59
		2.00	2.67	2.09
1 7/8	47.60	1.50	2.17	1.71
		2.00	2.87	2.25
2	50.80	1.50	2.32	1.82
		2.00	3.07	2.41
		3.00	4.51	3.54
2 3/8	60.30	1.50	2.77	2.18
		2.00	3.66	2.88
		3.00	5.40	4.24
2 1/2	63.50	1.50	2.92	2.29
		2.00	3.86	3.03
		3.00	5.70	4.48
3	76.20	1.50	3.52	2.76
		2.00	4.66	3.66
		3.00	6.90	5.42
4	101.80	2.00	6.26	4.91
		3.00	9.29	7.29
		4.00	12.26	9.63
5	127.00	2.00	7.85	6.17
		3.00	11.69	9.17
		4.00	15.46	12.13
		6.00	22.61	17.90
6	152.40	2.00	9.45	7.42
		3.00	14.08	11.05
		4.00	18.65	14.64
		6.00	27.60	21.66

### Tubo Estructural Cuadrado

Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 6.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

Dimensiones		Área	Peso
B	e	A	P
mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
20	1.50	1.05	0.83
	2.00	1.34	1.05
25	1.50	1.35	1.08
	2.00	1.74	1.36
30	1.50	1.65	1.30
	2.00	2.14	1.68
	3.00	3.01	2.36
40	1.50	2.25	1.77
	2.00	2.94	2.31
	3.00	4.21	3.30
50	1.50	2.85	2.24
	2.00	3.74	2.93
	3.00	5.41	4.25
60	1.50	3.45	2.71
	2.00	4.54	3.56
	3.00	6.61	5.19
75	2.00	5.74	4.50
	3.00	8.41	6.60
	4.00	10.95	8.59
100	2.00	7.74	6.07
	3.00	11.41	8.96
	4.00	14.95	11.73
125	2.00	9.74	7.64
	3.00	14.41	11.31
	4.00	18.95	14.87
	6.00	27.63	21.69

### Tubo Estructural Rectangular

Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 6.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

Dimensiones		Espesor	Área	Peso
B	H	e	A	P
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
20	40	1.50	1.65	1.30
		2.00	2.14	1.68
25	50	1.50	2.10	1.65
		2.00	2.74	2.15
		3.00	3.91	3.07
30	50	1.50	2.25	1.77
		2.00	2.94	2.31
		3.00	4.21	3.30
40	60	1.50	2.85	2.24
		2.00	3.74	2.93
		3.00	5.41	4.25
30	70	1.50	2.85	2.24
		2.00	3.74	2.93
		3.00	5.41	4.25
40	80	2.00	4.54	3.56
		3.00	6.61	5.19
		4.00	8.55	6.71
50	100	2.00	5.74	4.50
		3.00	8.41	6.60
		4.00	10.95	8.59
50	150	2.00	7.74	6.07
		3.00	11.41	8.96
		4.00	14.95	11.73
75	175	2.00	9.74	7.64
		3.00	14.41	11.31
		4.00	18.95	14.87
		6.00	27.63	21.69
100	150	2.00	9.74	7.64
		3.00	14.41	11.31
		4.00	18.95	14.87
		6.00	27.63	21.69

### Tubo Estructural Redondo para Postes

Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: ASTM A 500 Gr.A, B ó C  
 NTE INEN 2415  
 Norma de Galvanizado: ASTM A 123  
 Espesores: Desde 1.50 a 3.00 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

Diámetro		Espesor	Área	Peso
Nominal	Exterior	e	A	P
D				
Pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
1/2	21.20	1.50	0.93	0.73
		2.00	1.21	0.95
3/4	26.70	1.50	1.19	0.93
		2.00	1.55	1.22
1	33.50	1.50	1.51	1.18
		2.00	1.98	1.55
		3.00	2.87	2.26
1 1/4	42.20	1.50	1.92	1.51
		2.00	2.53	1.98
		3.00	3.69	2.90
1 1/2	48.10	1.50	2.20	1.72
		2.00	2.90	2.27
		3.00	4.25	3.34
2	60.30	1.50	2.77	2.18
		2.00	3.66	2.88
		3.00	5.40	4.24
2 1/2	73.00	1.50	3.49	2.74
		2.00	4.62	3.63
		3.00	6.74	5.23
3	88.90	2.00	5.12	4.03
		3.00	8.10	6.36
		4.00	11.05	8.66
4	114.30	1.50	5.32	4.17
		2.00	7.06	5.54
		3.00	10.49	8.23
5	141.30	1.50	6.59	5.17
		2.00	8.75	6.87
		3.00	13.03	10.23
6	168.30	1.50	7.86	6.17
		2.00	10.45	8.20
		3.00	15.58	12.23

### Tubería Mecánica

#### Tubo Mecánico Rectangular

Largo Normal: 6 m  
 Recubrimiento: Negro o Galvanizado  
 Norma de Fabricación: NTE INEN 2415, ASTM A 513  
 Espesores: Desde 0.75 a 1.50 mm  
 Observaciones: Otras dimensiones y largos previa consulta

Dimensiones		Espesor	Área	Peso
B	H	e	A	P
mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	Kg/m
10	20	0.75	0.41	0.32
		0.90	0.49	0.38
12	25	0.75	0.52	0.41
		0.90	0.61	0.48
		1.00	0.67	0.53
		1.10	0.73	0.58
20	30	0.75	0.71	0.56
		0.90	0.85	0.66
		1.00	0.93	0.73
		1.10	1.02	0.80
20	40	0.75	0.86	0.68
		0.90	1.03	0.81
		1.00	1.13	0.89
		1.10	1.24	0.97
		1.50	1.65	1.30
25	50	0.75	1.09	0.85
		0.90	1.30	1.02
		1.00	1.43	1.13
		1.10	1.57	1.23
		1.50	2.10	1.65
30	50	1.10	1.68	1.32
		1.50	2.25	1.77



**Anexo 2: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°1**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
Denominación: RG-18-02	
<b>N° 01</b>	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
<b>DIRECCION:</b>	UTA - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	Acero - A500
<b>MATERIAL:</b>	Lámina de acero - sin soldadura
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	ASTM E8
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	5-may-20
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
<b>MARCA:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
<b>SERIE:</b> 7136	<b>CERTIFICADO:</b> LNM-F-2016500064D
<b>CÓD IDENT:</b> M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 1
ESPEJOR [mm]	2.00
ANCHURA [mm]	12.70
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	25.40
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	141.22
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.94
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	312.60
CARGA MAXIMA [KN]	9.44
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	371.65
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	24.00
<b>OBSERVACIONES:</b>	
Forma de la fractura: taza y cono	



Aprobado por:

  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

**Anexo 3: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°2**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 02	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECANICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - sin soldadura
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D CÓD IDENT: M1
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 2
ESPELOR [mm]	1.90
ANCHURA [mm]	12.60
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	23.94
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	154.9
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.98
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	333.33
CARGA MAXIMA [KN]	8.88
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	370.93
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	25.00
OBSERVACIONES:	
Forma de la fractura: taza y cono	

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador



**Anexo 4: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°3**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - sin soldadura
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 3
ESPESOR [mm]	2.00
ANCHURA [mm]	13.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	26.00
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	128.85
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.78
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	299.23
CARGA MAXIMA [KN]	9.36
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	360.00
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	26.00
OBSERVACIONES:	
Forma de la fractura: taza y cono	

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Telf: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

**Anexo 5: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°4**



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
Denominación: RG-18-02	
<b>N° 04</b>	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
<b>DIRECCION:</b>	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	Acero - A500
<b>MATERIAL:</b>	Lámina de acero - sin soldadura
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	ASTM E8
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	5-may-20
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
<b>MARCA:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
<b>SERIE:</b> 7136	<b>CERTIFICADO:</b> LNM-F-2016500064D
<b>CÓD IDENT:</b> M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 4
ESPESOR [mm]	2.00
ANCHURA [mm]	13.30
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	26.60
MÓDULO DE ELASTICIDAD [GPa]	126.55
CARGA DE FLUENCIA [KN]	8.02
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	301.50
CARGA MAXIMA [KN]	9.84
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	369.92
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	27.50
<b>OBSERVACIONES:</b>	
Forma de la fractura: taza y cono	



Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

**Anexo 6: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°5**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
Denominación: RG-18-02	
N° 05	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
<b>DIRECCION:</b>	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	Acero - A500
<b>MATERIAL:</b>	Lámina de acero - sin soldadura
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	ASTM E8
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	5-may-20
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
<b>MARCA:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
<b>SERIE:</b> 7136	<b>CERTIFICADO:</b> LNM-F-2016500064D
<b>CÓD IDENT:</b> M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 5
ESPESOR [mm]	1.90
ANCHURA [mm]	12.50
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	23.75
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	197.64
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.96
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	335.16
CARGA MAXIMA [KN]	9.16
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	385.68
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	27.00
<b>OBSERVACIONES:</b>	
Forma de la fractura: taza y cono	



Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

Anexo 7: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°6



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 06	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECANICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo E6011
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D Cód IDENT: M1
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 6
ESPEJOR [mm]	1.70
ANCHURA [mm]	12.70
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	21.59
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	539.14
CARGA DE FLUENCIA [KN]	4.60
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	213.06
CARGA MAXIMA [KN]	5.84
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	270.50
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	11.50
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	17.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: Al borde de la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. MsC.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdlá Politécnica

Telf: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
 Riobamba - Ecuador

**Anexo 8: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°7**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 07	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo E6011
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 7
ESPEJOR [mm]	1.80
ANCHURA [mm]	13.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	23.40
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	305.25
CARGA DE FLUENCIA [KN]	6.88
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	294.02
CARGA MAXIMA [KN]	7.02
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	300.00
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	6.50
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	14.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: En la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Telf: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
 Riobamba - Ecuador

**Anexo 9: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°8**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	
Denominación: RG-18-02	
<b>N° 08</b>	
<b>SOLICITADO POR:</b>	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
<b>DIRECCION:</b>	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
<b>PROYECTO DE TESIS:</b>	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	Acero - A500
<b>MATERIAL:</b>	Lámina de acero - junta soldada - electrodo E6011
<b>NORMA UTILIZADA:</b>	ASTM E8
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	5-may-20
<b>EQUIPO UTILIZADO:</b> MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
<b>MARCA:</b> JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
<b>SERIE:</b> 7136	<b>CERTIFICADO:</b> LNM-F-2016500064D
<b>CÓD IDENT:</b> M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 8
ESPEJOR [mm]	1.80
ANCHURA [mm]	13.60
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	24.48
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	224.18
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.52
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	307.19
CARGA MAXIMA [KN]	8.98
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	366.83
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	14.50
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	15.00
<b>OBSERVACIONES:</b>	Ubicación de la fractura: Fuera de la Zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

Anexo 10: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°9



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 09	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo E6011
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D Cód IDENT: M1
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 9
ESPESOR [mm]	1.70
ANCHURA [mm]	12.80
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	21.76
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	148.34
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.54
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	346.51
CARGA MAXIMA [KN]	8.84
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	406.25
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	17.00
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	23.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: Fuera de la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
 Riobamba - Ecuador

**Anexo 11: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°10**



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 10	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo E6011
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D CÓD IDENT: M1
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 10
ESPESOR [mm]	1.60
ANCHURA [mm]	13.20
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	21.12
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	132.95
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.18
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	339.96
CARGA MAXIMA [KN]	8.48
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	401.52
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	11.00
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	16.00
OBSERVACIONES: Ubicación de la fractura: Fuera de la zona soldada	
Forma de la fractura: taza y cono	

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cda Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador



Anexo 12: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°11



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 11	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo ER7056
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 11
ESPEJOR [mm]	1.60
ANCHURA [mm]	12.70
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	20.32
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	140.17
CARGA DE FLUENCIA [KN]	6.36
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	312.99
CARGA MAXIMA [KN]	6.38
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	313.98
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1.50
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	16.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: En la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

  
 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cda Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
 Riobamba - Ecuador

Anexo 13: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°12



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 12	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo ER7056
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: MI	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 12
ESPEJOR [mm]	1.60
ANCHURA [mm]	11.20
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	17.92
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	483.63
CARGA DE FLUENCIA [KN]	3.78
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	210.94
CARGA MAXIMA [KN]	4.24
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	236.61
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	2.50
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	19.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: En la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Telf: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

Anexo 14: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°13



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 13	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo ER7056
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: M1	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 13
ESPEJOR [mm]	1.70
ANCHURA [mm]	12.70
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	21.59
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	191.12
CARGA DE FLUENCIA [KN]	7.34
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	339.97
CARGA MAXIMA [KN]	8.52
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	394.63
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	16.00
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	18.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: Fuera de la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
Riobamba - Ecuador

Anexo 15: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°14



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 14	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo ER7056
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT: MI	
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 14
ESPESOR [mm]	1.60
ANCHURA [mm]	12.00
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	19.20
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	226.93
CARGA DE FLUENCIA [KN]	4.38
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	228.13
CARGA MAXIMA [KN]	4.94
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	257.29
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3.00
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	19.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: En la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Tel: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
 Riobamba - Ecuador

Anexo 16: Informe de resultados ensayo a tracción probeta N°15



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG-18-02	
N° 15	
SOLICITADO POR:	Ing. Luis Roberto Carrasco Carrasco
DIRECCION:	UTA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA
PROYECTO DE TESIS:	"ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL ACERO HSLA ASTM A500 Grado C UTILIZADO EN CARROCERIAS DE BUSES EN SUS PROPIEDADES MECÁNICAS"
TIPO DE MATERIAL:	Acero - A500
MATERIAL:	Lámina de acero - junta soldada - electrodo ER7056
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8
FECHA DE ENSAYO:	5-may-20
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-2016500064D
CÓD IDENT:	M1
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	PROBETA N° 15
ESPEJOR [mm]	1.60
ANCHURA [mm]	12.80
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	20.48
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	362.24
CARGA DE FLUENCIA [KN]	6.40
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	312.50
CARGA MAXIMA [KN]	6.42
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	313.48
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	4.50
PORCENTAJE DE ELONGACION ZONA SOLDADA [%]	25.00
OBSERVACIONES:	Ubicación de la fractura: En la zona soldada
Forma de la fractura:	taza y cono



Aprobado por:

*(Firma)*  
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.  
 GERENTE DEL LABORATORIO  
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

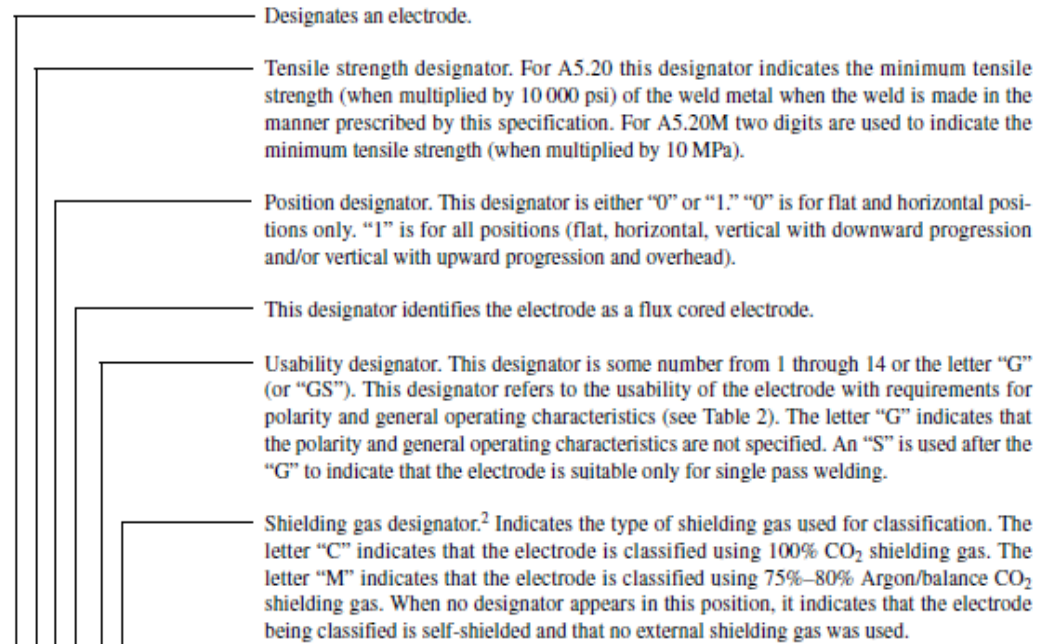
Dir: Calle Roma N°7 y Padua, Cdla Politécnica

Telf: 032924420 - Cel: 0987260955

email: jvinan54@lenmav.com  
 Riobamba - Ecuador

## Anexo 17: Designación de electrodos según AWS A5.20/A5.20M:2005

### Mandatory Classification Designators<sup>1</sup>



**E X X T - X X - J X H X**

### Optional Supplemental Designators<sup>3</sup>

- Optional supplemental diffusible hydrogen designator (see Table 8).
- The letter "D" or "Q" when present in this position indicates that the weld metal will meet supplemental mechanical property requirements with welding done using low heat input, fast cooling rate procedures and using high heat input, slow cooling rate procedures as prescribed in Clause 17 (see Tables 9 and 10).
- The letter "J" when present in this position designates that the electrode meets the requirements for improved toughness and will deposit weld metal with Charpy V-Notch properties of at least 20 ft-lbf at –40°F [27J at –40°C] when the welds are made in a manner prescribed by this specification.

## Anexo 18: Composición química del electrodo ER70S-6 por la empresa Linde

Versión: 10

Fecha de aprobación: 18-01-2010



TABLA : DATOS DE COMPOSICIÓN (WT %)

Tipo de AWS	Hierro Numero CAS 7439-89-6	Carbón Numero CAS 7440-44-0	Manganeso Numero CAS 7439-96-5	Silicona Numero CAS 7440-21-3	Cobre <sup>1</sup> Numero CAS 7440-50-8	Ti Numero CAS 7440-32-6	Zr Numero CAS 7440-67-7	Al Numero CAS 7429-90-5
ER70S-2	>97	0.07	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70	<0.5	0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 a 0.15 Clasificación de Amenazas (GHS) 1272/2008 Clasificación de Amenazas (GHS) 1272/2008
ER70S-3	>97	0.06 a 0.15	0.90 a 1.40	0.45 a 0.70	<0.5			
ER70S-4	>97	0.07 a 0.15	1.00 a 1.50	0.65 a 0.85	<0.5			
ER70S-5	>97	0.07 a 0.19	0.90 a 1.40	0.30 a 0.60	<0.5			
ER70S-6	>96	0.07 a 0.15	1.40 a 1.85	0.80 a 1.15	<0.5			
ER70S-7	>96	0.07 a 0.15	1.50 a 2.00	0.50 a 0.80	<0.5			

## Anexo 19: Características del electrodo AWS ER70S-6

ALAMBRE PARA MIG (GMAW)

# L-S6<sup>TM</sup>

Acero Dulce, Recubrimiento de Cobre • AWS ER70S-6

### Características principales

- ▶ Los altos niveles de desoxidantes de manganeso y silicio toleran superficies con escamación ligera hasta pesada.
- ▶ El excelente mojado brinda una óptima apariencia del cordón
- ▶ Recubrimiento de cobre para una larga vida de punta de contacto
- ▶ Soporta perfectamente transferencia de corto circuito, globular, rocío axial y rocío por pulsos
- ▶ MicroGuard<sup>®</sup> Ultra proporciona alimentación y estabilidad de arco superiores

### Aplicaciones típicas

- ▶ Material base con escamación ligera a pesada.
- ▶ Hoja de acero de material con resistencia a la cedencia de 380 - 485 MPa (55 - 70 ksi)
- ▶ Reparaciones automotrices
- ▶ Automatización Pesada o robótica
- ▶ Acero estructural

### Cumplimientos

AWS A5.18/A5.18M: 2005 ER70S-6

### Posiciones de soldadura

Todas

### Gas protector

100% CO<sub>2</sub>  
95-98% Mezcla Argón/O<sub>2</sub>  
75-95% Mezcla Argón/CO<sub>2</sub>  
Flujo de Gas: 30-50 CFH



**Anexo 20:** Licenciamiento del programa ANSYS y LS DYNA para la UTA



**Propuesta Actualización de Software Simulación ANSYS Research Mechanical and CFD y ANSYS LS DYNA Y HPC**

**Proposal N°:** 684.19\_UTA\_Ansys.Tecs **Place and Date:**

Quito, 18 de Junio del 2019

**Ciente:** EMPRESA PUBLICA DE LA UNIVERSIDAD DE AMBATO RUC:  
1865042910001

**Atención:** Ing. César H. Arroba A. / Facultad de Ingeniería Civil Mecánica **Dirección:**  
Ingahurco, calles México y Salvador

De nuestras consideraciones

Nos es grato poner en su consideración la cotización para la Actualización (TECS) del licenciamiento adquirido por la Universidad Técnica de Ambato.

Estamos a sus gratas ordenes para cualquier consulta o inquietud, no dude en comunicarnoslo será muy grato servirles.

Atentamente,

Cecilia Vargas Avendaño  
Commercial Manager – Quito -  
Ecuador Office: +593(2)3263186  
Cell: +593 987547567  
[cvgargas@bereziaequipos.com](mailto:cvgargas@bereziaequipos.com)  
Engineering Simulation Scientific Software