



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

**OROZCO SALGADO RICARDO
PRESENTE**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**



Instituto de
Investigación en
Ciencias
Básicas y
Aplicadas



Por este conducto le notifico que su tesis de Maestría titulada,

"ANÁLISIS DEL DISEÑO DE UN SOPORTE/AISLADOR DE VIBRACIONES"

Fue aprobada en su totalidad por el jurado revisor y examinador integrado por los ciudadanos

NOMBRE	FIRMA
DR. SERGIO ALONSO SERNA BARQUERA	
DR. RENE GUARDIÁN TAPIA	
DR. OSVALDO FLORES CEDILLO (ICF-UNAM)	
DR. ÁLVARO TORRES ISLAS (FCQEI)	
DR. ARTURO MOLINA OCAMPO	

Por consiguiente, se autoriza a editar la presentación definitiva de su trabajo de investigación para culminar en la defensa oral del mismo.

Sin otro particular aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"Por una Humanidad Culta"


DR. JOSÉ ALFREDO HERNÁNDEZ PÉREZ
COORDINADOR DE POSGRADO DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Cuernavaca, Mor., 02 de febrero de 2017.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

**ANÁLISIS DEL DISEÑO DE UN SOPORTE/AISLADOR
DE VIBRACIONES**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS**

I.M. RICARDO OROZCO SALGADO

DIRECTORES:

INTERNO: DR. ARTURO MOLINA OCAMPO

EXTERNO: DR. OSVALDO FLORES CEDILLO

CUERNAVACA, MORELOS.

ABRIL, 2017.

RESUMEN.

En el presente trabajo se realiza el análisis general de un dispositivo de seguridad el cual es llamado aislador de vibraciones de un avión Saab 340, para determinar sus propiedades tanto mecánicas como estructurales, con la finalidad de adquirir conocimientos tanto de su proceso de fabricación como de los elementos químicos constituyentes.

Saab es una empresa de defensa y aviación sueca, fundada en Linköping en 1937, el nombre es un acrónimo de *Svenska Aeroplan Aktie Bolang* (Sociedad Anónima de Aeroplanos Suecos). Debido a cambios en la directiva de la empresa en los 90's, el nombre actual es Saab AB.

El avión designado inicialmente como Saab-Fairchild 340, cuyo primer prototipo voló por primera vez el 25 de enero de 1983, tras la salida de la empresa Fairchild (empresa estadounidense fabricante de aviones) del proyecto conjunto en 1984, el nombre fue finalmente cambiado por 340A. En 1989, una versión mejorada del 340A; el 340B, el cual introdujo nuevos motores más potentes y un timón de cola mayor. La versión final se realizó en 1994, el 340B Plus, el cual incorporó mejoras que se introdujeron al mismo tiempo en el SAAB 2000 [0.1].

De acuerdo con datos del sitio web AirDisaster.com, el Saab 340 es el avión más seguro en su base estadística, con solamente tres accidentes fatales en más de nueve millones de vuelos realizados [0.2]

En la base de datos de la ASN (*Aviation Safety National Database*) entre 1983 y 2011 hubo 10 accidentes de pérdida de casco en el que se vieron involucrados aviones de la serie SAAB 340, resultando en la muerte de 48 personas [0.3].

Se realizó el análisis del diseño del aislador de vibración mediante el análisis simulado por CAE (*Computer Aided Engineering*). Mediante diversas técnicas se caracterizó los diferentes componentes del aislador de

vibraciones. Se realizó el análisis químico de los diferentes componentes para determinar sus elementos de aleación y su porcentaje, también se realizaron pruebas mecánicas para determinar sus propiedades: dureza y esfuerzo de cedencia.

Se realizaron procesos de re-ingeniería con el fin de entender y optimizar el diseño y la estructura del componente. Incluyendo su caracterización microestructural y de las propiedades mecánicas de los elementos que lo constituyen. Con el programa de diseño CAD (*Computer Aided Design*) se reprodujo el componente y posteriormente a las pruebas mecánicas y se realizó el análisis estructural vía CAE (*Computer Aided Engineering*). Se determinó la distribución de esfuerzos y la deformación a la que se someten los componentes. Con ayuda del programa ANSYS *Workbench* se realizó el análisis de la estructura en relación a su geometría para identificar las frecuencias naturales a las que el componente se encontraba expuesto.

Las pruebas de tensión fueron realizadas bajo la norma ASTM E8 [0.4]. La medición de la dureza se realizó en la escala de dureza Rockwell E, K y C, dado a que es un método práctico y conciso para determinar la resistencia de un material para ser penetrado. Para la realización del estudio químico de cada uno de los componentes, primero se procedió al desmantelamiento del mismo con la obtención de muestras y polvos de cada una de ellas. Se determinó que el componente es bastante complejo en su constitución y de que se requieren de diversos procesos de conformado para lograr su fabricación. Entre las aleaciones identificadas se encuentran aleaciones base aluminio, aceros al carbono e inoxidable.

El presente estudio permite estimar la posible fabricación del componente en estudio en México. La construcción de esta pieza reduciría los costos y se abriría un campo de trabajo para los especialistas en reingeniería debido a que la pieza actualmente no se produce en el país.

SUMMARY.

The present thesis work carries out the general analysis of a safety device, which is called vibration isolator of a Saab 340 aircraft, in order to determine its mechanical and structural properties and to acquire the knowledge of both manufacture process and constituent chemical elements.

Saab is a Swedish defense and Aviation Company, founded in Linköping in 1937, the name is an acronym for Svenska Aeroplan AktieBolag (Swedish Aircraft Corporation). Due to changes in the company's policy in the 90's, the current name is Saab AB.

The aircraft initially designated as the Saab-Fairchild 340, whose first prototype flew for the first time on January 25, 1983. After the departure of Fairchild (the American aircraft company) from the joint project in 1984, the name was eventually changed to 340A. In 1989 the 340B version was constructed as improved version of the 340A; which introduced new more powerful engines and a larger tail rudder. The final version was made in 1994, the 340B Plus, which incorporated improvements that were introduced at the same time in SAAB 2000 [0.1].

According to data from the AirDisaster.com website, the Saab 340 is the safest aircraft in its statistical database, with only three fatal crashes on more than nine million flights [0.2]

For the ASN Database between 1983 and 2011 there were 10 crash helmet accidents involving Saab 340 series aircraft, resulting in the deaths of 48 people [0.3].

The analysis of the design of the vibration isolator was carried out by CAE (Computer Aided Engineering) simulation. Several techniques were used to characterize each vibration isolator components. The chemical analysis of the different components was carried out to determine their alloying elements and their percentages as well as mechanical test to determine their properties: hardness and yield stress.

Re-engineering processes were performed in order to know and optimize the design and structure of the component. This includes its structural characterization and the mechanical properties of their components. Using the CAD (Computer Aided Design) program, the component was rendered and following to the structural analysis tests, via CAE (Computer Aided Engineering) were determined the stress distribution and the deformation to which the components were subjected. With the help of the ANSYS Workbench program, the structure was analyzed in relation to its geometry to identify the natural frequencies to which the component was exposed.

Tensile tests were performed under ASTM Standard E8 [0.4]. Hardness measurement was performed on the Rockwell E, K and C hardness scale; given that it is a practical and concise method for determining the strength of a material to be penetrated. For the accomplishment of the chemical study of the each one component, it was first dismantled and sampling as powders. It was determined that the component is quite complex in its constitution and that various forming processes are required to achieve its manufacture. Among the identified alloys are aluminum base alloys, carbon steels and stainless steels.

The previous study allows us to estimate the possible manufacture of this component under study in Mexico. The construction of this piece would reduce costs and would open a field of work for the specialists in re-engineering because the piece is not currently produced in the country.

AGRADECIMIENTOS.

Antes que nada quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores y guías de ésta tesis Dr. Arturo Molina Ocampo y el Dr. Osvaldo Flores Cedillo, por haberme brindado la oportunidad de trabajar con ellos, por haber tenido la paciencia necesaria para ayudarme, por transmitirme su conocimiento y por estar a todo momento pendiente de mi trabajo.

También deseo agradecer a los sinodales encargados de revisar y corregir esta tesis Dr. Osvaldo Flores Cedillo, Dr. Arturo Molina Ocampo, Dr. Sergio Alonso Serna Barquera, Dr. Álvaro Torres Islas y Dr. René Guardián Tapia.

A la UNAM, por la oportunidad de seguir adelante en mi formación y por el gran apoyo brindado durante este tiempo.

A todo el personal de la UNAM Ing. Héctor Hugo Hinojosa Galván, encargado de maquinado corte y asistencia en los laboratorios, ya que sin su apoyo la presente tesis no sería posible. Se agradece el apoyo técnico al Dr. Fermín Castillo Mejía, del ICF-UNAM y al M. en M. Gerardo Aramburo, M. en M. Sergio García, Sr. Iván Puente, al Dr. Adrián Amaro por su apoyo incondicional en la FQ-UNAM.

A CONACYT por la beca de tiempo completo nivel maestría de 24 meses de salarios mínimos que me proporcionaron, porque gracias a ello me fue posible continuar con mi preparación profesional y me permitió desarrollar el presente proyecto de investigación.

DEDICATORIAS.

A mis padres por ser la base fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de vida; por su apoyo incondicional principalmente en esta etapa de mi vida porque todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

A mi esposa por todo su apoyo y amor a lo largo de todo este tiempo.

A todos los maestros quienes me han enseñado tanto académicamente como moralmente a ser un mejor profesionalista que nunca desistieron de apoyarme también a todos aquellos quienes me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

A mis asesores el Dr. Arturo Molina Ocampo y el Dr. Osvaldo Flores Cedillo que sin su apoyo este logro no sería posible.

ÍNDICE.	
ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 JUSTIFICACIÓN	20
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3 OBJETIVO ESPECIFICO.....	21
1.4 HIPOTESIS.....	21
1.5 METAS.....	22
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 DESCRIPCION DEL DISEÑO Y PROBLEMAS DE LA PIEZA....	34
2.2 PROCESOS DE MECANIZADO DE ACERO	43
2.3 PROCESO DE SOLDADURA.....	44
2.3.1 SOLDADURA POR SOPLETE DE OXIACETILENO.....	45
2.3.2 SOLDADURA ELÉCTRICA POR ARCO.....	45
2.3.3 SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO.....	46
2.3.4 SOLDADURA POR ARCO EN ATMÓSFERA GASEOSA CON ELECTRODO FUSIBLE. <i>GAS METAL ARC WELDING (GMAW)</i>	46
2.3.5 SOLDADURA POR ARCO EN ATMÓSFERA GASEOSA CON ELECTRODO TUNGSTENO (<i>GAS TUNGSTEN ARC WELDING, GTAW</i>).....	47
2.3.6 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO.....	48
2.3.7 SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	49
2.4 INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE).....	49
CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	52
3.1 PROCESO DE CORTE DEL COMPONENTE Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA PRUEBAS POSTERIORES.....	52
3.2 ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROSCOPIA POR MEB.....	53
3.3 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB) CON	

	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA POR RAYOS X (EDX)	54
3.4	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	57
3.5	ANÁLISIS MECÁNICO.....	59
3.5.1	PRUEBA DE TENSIÓN.....	59
3.5.2	DUREZA ROCKWELL.....	61
3.5.3	DUREZA ROCKWELL DE PLÁSTICOS Y MATERIALES ELECTRICOS DE AISLAMIENTO.....	62
3.5.4	MICRO-DUREZA VICKERS.....	63
3.6	MICROSCOPIA ÓPTICA.....	65
3.7	PLATAFORMA CAD EN PROGRAMA SOLIDWORKS.....	69
	CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	70
4.1	ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSA EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)	70
4.2	RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	71
4.3	PRUEBAS MECÁNICAS.....	72
4.3.1	RESULTADOS PRUEBA DE TENSIÓN.....	72
4.3.2	RESULTADOS PRUEBA ROCKWELL.	74
4.3.3	RESULTADOS MICRODUREZA VICKERS.....	75
4.3.3.1	COMPARATIVO ENTRE DUREZA ROCKWELL Y MICRO- DUREZA VICKERS.....	76
4.3.4	DUREZA ROCKWELL DE PLÁSTICOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS DE AISLAMIENTO.	76
4.3.5	ANÁLISIS DE TRAZAS POR MICROSCOPIO ÓPTICO DE PROBETAS SOMETIDAS A ESFUERZO.....	77
4.4	MICROSCOPIA ÓPTICA.....	82
4.4.1	ANÁLISIS DE MICROSCOPIA ÓPTICA:	82
4.4.2	ANÁLISIS PIEZA 1	83
4.4.2.1	VISTA LONGITUDINAL	83
4.4.2.2	VISTA TRASVERSAL	86

4.4.2.3.	VISTA SUPERFICIAL	88
4.4.2.4.	DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 1	91
4.4.3	ANALISIS PIEZA 2	92
4.4.3.1	VISTA LONGITUDINAL	92
4.4.3.2	VISTA TRASVERSAL	95
4.4.3.3.	VISTA SUPERFICIAL	97
4.4.3.4.	DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 2	100
4.4.4	ANALISIS PIEZA 3	100
4.4.4.1	VISTA LONGITUDINAL	101
4.4.4.2	VISTA TRANSVERSAL	103
4.4.4.3.	VISTA SUPERFICIAL	106
4.4.4.4.	DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 3	108
4.4.5	ANALISIS PIEZA 4	109
4.4.5.1	VISTA LONGITUDINAL	110
4.4.5.2	VISTA TRASVERSAL	112
4.4.5.3.	VISTA SUPERFICIAL	115
4.4.5.4.	DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 4	117
4.4.6	ANALISIS PIEZA 5	118
4.4.6.1	VISTA FRONTAL	120
4.4.6.2	VISTA LONGITUDINAL	121
4.4.6.3.	DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 5	123
4.4.7	ANALISIS SOLDADURA.....	123
4.4.8	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA, MEB	126
4.4.9	ESTUDIO POR MEB: PIEZA 1	126
4.4.9.1	ESTUDIO MEB: MATRIZ	128

4.4.9.1.1	DIAGRAMA DE FASE Al-Cu	129
4.4.9.1.2	DIAGRAMA DE FASE Al-Mg.....	129
4.4.9.1.3.	DIAGRAMA DE FASE Al-Mn.....	130
4.4.9.1.4	DIAGRAMA DE FASE Al-Fe.....	131
4.4.9.2	ESTUDIO MEB FASE BLANCA	131
4.4.9.2.1	DIAGRAMA DE FASE Al-Cu	132
4.4.9.2.2	DIAGRAMA DE FASE Al-Mg	133
4.4.9.2.3	DIAGRAMA DE FASE Al-Mn	133
4.4.9.3	ESTUDIO MEB FASE GRIS	134
4.4.9.3.1	DIAGRAMA DE FASE Al-Cu	135
4.4.9.3.2	DIAGRAMA DE FASE Al-Fe	135
4.4.9.3.3	DIAGRAMA DE FASE Al-Mn	136
4.4.9.3.4	DIAGRAMA DE FASE Al-Si	137
4.4.9.3.5	DIAGRAMA DE FASE Al-Mg	137
4.4.10	ESTUDIO MEB: PIEZA 2	138
4.4.10.1	ESTUDIO MEB MATRIZ	139
4.4.10.1.1	DIAGRAMA DE FASE Al-Cu	140
4.4.10.1.2	DIAGRAMA DE FASE Al-Ag.....	140
4.4.10.1.3.	DIAGRAMA DE FASE Al-Mg.....	141
4.4.10.1.4	DIAGRAMA DE FASE Al-Mn.....	141
4.4.10.2	ESTUDIO MEB FASE BLANCA	142
4.4.10.2.1	DIAGRAMA DE FASE Al-Cu	143
4.4.10.2.2	DIAGRAMA DE FASE Al-Fe	143
4.4.10.2.3	DIAGRAMA DE FASE Al-Mg	144
4.4.10.2.4	DIAGRAMA DE FASE Al-Mn	144
4.4.11	ESTUDIO MEB: PIEZA 3	145
4.4.11.1	ESTUDIO MEB MATRIZ	146
4.4.11.2	ESTUDIO MEB FASE OSCURA	147
4.4.11.2.1	DIAGRAMA DE FASE Fe-Mn.....	148
4.4.11.2.2	DIAGRAMA DE FASE Fe-S	148

4.4.11.2.3	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr	149
4.4.11.2.4	DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni	150
4.4.11.2.5	DIAGRAMA DE FASE Fe-Si	151
4.4.11.3	ESTUDIO MEB FASE OSCURA 2	151
4.4.12	ESTUDIO MEB: PIEZA 4	152
4.4.12.1	ESTUDIO MEB MATRIZ	153
4.4.12.2	ESTUDIO MEB FASE GRIS OSCURO	155
4.4.12.2.1	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr	156
4.4.12.2.2	DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni	156
4.4.12.2.3	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu.....	157
4.4.12.2.4	DIAGRAMA DE FASE Fe-Si	158
4.4.12.3	ESTUDIO MEB FASE NEGRA	159
4.4.12.3.1	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr	160
4.4.12.3.2	DIAGRAMA DE FASE Fe-Si	160
4.4.12.3.3	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu.....	161
4.4.12.3.4	DIAGRAMA DE FASE Fe-Al	162
4.4.12.3.5	DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni	162
4.4.12.3.6	DIAGRAMA DE FASE Fe-Mn.....	163
4.4.12.3.7	DIAGRAMA DE FASE Fe-Nb.....	164
4.4.12.4	ESTUDIO MEB FASE BLANCA	164
4.4.12.4.1	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr	166
4.4.12.4.2	DIAGRAMA DE FASE Fe-Nb.....	166
4.4.12.4.3	DIAGRAMA DE FASE Fe-O	167
4.4.12.4.4	DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni	169
4.4.12.4.5	DIAGRAMA DE FASE Fe-Al	169
4.4.12.4.6	DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu.....	170
4.4.12.4.7	DIAGRAMA DE FASE Fe-Si	170
4.4.13	ESTUDIO MEB: PIEZA 5	171
4.4.13.1	ESTUDIO MEB ZONA 212	172
4.4.13.2	ESTUDIO MEB ZONA 213	173

4.4.13.3	ESTUDIO SEM ZONA 214	174
4.5	PROCESO DE SOLDADURA.....	175
4.5.1	DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOLDADURA.....	175
4.5.2	DUREZA ROCKWELL DE SOLDADURA EN SECCIÓN LONGITUDINAL.....	176
4.6	DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD).....	179
4.6.1	RECONSTRUCCIÓN DIGITAL DEL COMPONENTE BAJO ESTUDIO.....	179
4.7	INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE).....	185
4.7.1	DEFINICIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PIEZAS DEL COMPONENTE.....	185
4.7.2	ANÁLISIS MODAL.....	188
4.7.3	ANÁLISIS MECÁNICO.....	193
	CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....	206
	BIBLIOGRAFÍA.....	207

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Distintos tipos de soldadura para acero inoxidable.....	44
Tabla 3.1. Características de los especímenes para pruebas de tensión.....	60
Tabla 4.1. Resultados de Espectroscopia de rayos x de energía dispersiva EDX.....	70
Tabla 4.2. Resultados de Espectroscopia de absorción atómica.....	71
Tabla 4.3 Nominación de diferentes aceros encontrados en la literatura	72
Tabla 4.4. Propiedades mecánicas obtenidas de las pruebas de tensión.....	74
Tabla 4.5. Resultados de ensayo de dureza Rockwell.....	75
Tabla 4.6. Resultados de cada una de las piezas constituyente del elemento de estudio.....	75
Tabla 4.7. Comparativo entre dureza Rockwell y Vickers.....	76
Tabla 4.8. Resultados de prueba dureza Rockwell de plásticos y materiales eléctricos de aislamiento.....	77
Tabla 4.9. Características de la fase α (Al).....	129
Tabla 4.10. Características de fase α (Al).....	130
Tabla 4.11. Características de fase α (Al).....	130
Tabla 4.12. Características de las fases α (Al) y θ	132
Tabla 4.13. Características de fase α (Al).....	133
Tabla 4.14. Características de fase α (Al).....	133
Tabla 4.15. Características de las fases α (Al) y θ	135
Tabla 4.16. Características de las fases α (Al) y FeAl_3	136
Tabla 4.17. Características de las fases α (Al) y $\lambda \text{Al}_4\text{Mn}$	136
Tabla 4.18. Características de fase α (Al).....	137
Tabla 4.19. Características de fase α (Al).....	137
Tabla 4.20. Características de las fases α (Al) y θ	140
Tabla 4.21. Características de fase α (Al).....	140
Tabla 4.22. Características de fase α (Al).....	141

Tabla 4.23. Características de fase α (Al).....	141
Tabla 4.24. Características de las fases α (Al) y θ	143
Tabla 4.25. Características de fase α Fe.....	144
Tabla 4.26. Características de fase α (Al).....	144
Tabla 4.27. Características de fase α (Al).....	145
Tabla 4.28. Características de la fase Γ Fe- Γ Mn y α Fe.....	148
Tabla 4.29. Características de las fases α Fe, α FeS, β FeS y Γ FeS.....	149
Tabla 4.30. Características de las fases α Fe, Cr.....	150
Tabla 4.31. Características de la fase α Fe, Γ Fe y δ Fe.....	150
Tabla 4.32. Características de las fases α Fe y Γ Fe.....	151
Tabla 4.33. Características de las fases α Fe, Cr.....	156
Tabla 4.34. Características de la fase α Fe, Γ Fe y δ Fe.....	157
Tabla 4.35. Características de la fase α Fe.....	158
Tabla 4.36. Características de las fases α Fe y Γ Fe.....	158
Tabla 4.37. Características de las fases α Fe, Cr.....	160
Tabla 4.38. Características de las fases α_1 y α_2	161
Tabla 4.39. Características de la fase Γ Fe.....	161
Tabla 4.40. Características de la fase α Fe.....	162
Tabla 4.41. Características de la fase α Fe, Γ Fe y δ Fe.....	163
Tabla 4.42. Características de la fase α Fe.....	163
Tabla 4.43. Características de las fases.....	164
Tabla 4.44. Características de las fases α Fe, Cr.....	166
Tabla 4.45. Características de las fases.....	167
Tabla 4.46. Características de la fase α Fe, Γ Fe y δ Fe.....	169
Tabla 4.47. Características de la fase α Fe.....	170
Tabla 4.48. Características de la fase α Fe.....	170
Tabla 4.49. Características de las fases α Fe y Γ Fe.....	171
Tabla 4.50. Resultados de ensayo de dureza Rockwell de soldadura.....	177
Tabla 4.51. Calculo de la desviación estándar de las gráficas de la	

figura 4.106.....	178
Tabla 4.52. Descripción de los diferentes componentes de la pieza.....	184
Tabla 4.53. Frecuencias naturales del componente.....	190
Tabla 4.54. Frecuencias naturales del componente sin redondeos.....	191
Tabla 4.55. Comparativo entre frecuencias naturales.....	192
Tabla 4.56. Resultados de deformación de tamaños de elementos de 3 a 0.5 mm.....	191
Tabla 4.57. Resultados deformaciones para componente sin redondeos	203
Tabla 4.58. Comparación de esfuerzos de estructura con y sin redondeos.....	203
Tabla 4.59. Diferencias de resultado con y sin redondeos.....	204

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Avión Saab 340.....	37
Figura 2.2.	Componente objeto de estudio.....	37
Figura 2.3.	Motor turbo-propulsor General Electric CT7-9B.....	38
Figura 2.4.	Ubicación de motor y componente aislador de vibraciones derecho.....	38
Figura 2.5.	Visualización del motor desnudo izquierdo del avión Saab 340.....	39
Figura 2.6.	Ubicación del componente aislador de vibraciones derecho.....	39
Figura 2.7.	Visualización de seccionamientos circulares.....	40
Figura 2.8.	Visualización isométrica de todo el sistema aislador de vibraciones.....	40
Figura 2.9.	Vista superficial del sistema.....	41
Figura 2.10.	Vista lateral del sistema.....	41
Figura 2.11.	Vista lateral del lugar de posicionamiento de un sensor de vibración.....	42
Figura 2.12.	Vista superficial del lugar de posicionamiento de los sensores de vibración.....	40
Figura 2.13.	Vista frontal.....	50
Figura 2.14.	Vista superior.....	50
Figura 2.15.	Vista lateral.....	50
Figura 2.16.	Visualización de ensamble del componente con todas las piezas.....	50
Figura 3.1.	Cierra cinta.....	45
Figura 3.2.	Corte de PIEZA 4 y PIEZA 5.....	52
Figura 3.3.	Corte de PIEZA 3.....	52
Figura 3.4.	Corte de PIEZA 2.....	53
Figura 3.5.	Material de PIEZA 2 cortado para su posterior uso.....	53
Figura 3.6.	Rebabas de los diferentes materiales almacenados en	

	bolsas para su posterior análisis químico por absorción atómica.....	54
Figura 3.7.	Emisión de electrones por parte del microscopio electrónico de barrido.....	55
Figura 3.8.	Microscopio Electrónico de Barrido, Marca: JEOL, Modelo: JSM-5900LV.....	57
Figura 3.9.	Fotografía de equipo de espectroscopia atómica.....	59
Figura 3.10.	Vista de las características de una probeta de tensión según la norma ASTM E8.....	60
Figura 3.11.	Vista frontal de equipo de tensión.....	61
Figura 3.12.	Vista frontal de equipo de dureza Rockwell.....	62
Figura 3.13.	Indentador piramidal Vickers.....	56
Figura 3.14.	Impronta piramidal de dureza.....	56
Figura 3.15.	Vista frontal de equipo de micro-dureza Vickers.....	56
Figura 3.16.	Microscopio óptico Olympus PMG3.....	58
Figura 3.17.	Vista de las tres vistas de análisis por cada pieza.....	58
Figura 3.18.	Visualización real de las 3 vistas analizadas en el material	59
Figura 3.19.	Plataforma de diseño SolidWorks.....	65
Figura 4.1.	Vista superior de dos probetas para tensión	73
Figura 4.2.	Grafica esfuerzo-deformación, resultado de las pruebas de tensión.....	73
Figura 4.3.	Muestra preparada para prueba dureza Rockwell.....	77
Figura 4.4.	Probeta sometida a pulido espejo.....	78
Figura 4.5.	Micrografía sin deformación plástica. 80X.....	78
Figura 4.6.	Banda de deformación paralela a la fractura. 80X.....	79
Figura 4.7.	Estructura sin deformación 120X.....	79
Figura 4.8.	Línea que va conforme a la fractura. 120X	80
Figura 4.9.	Estructura sin deformación. 250X.....	80
Figura 4.10.	Se observa deformación a 45 grados. 250X.....	81
Figura 4.11.	Estructura sin deformación. 800X.....	81

Figura 4.12. Deformación a 45 grados con montículo. 800X.....	82
Figura 4.13. Vista isométrica de pieza 1.	83
Figura 4.14. Visualización sin ataque químico. 80X.....	84
Figura 4.15. Visualización con ataque químico. 80X.....	84
Figura 4.16. Visualización sin ataque químico. 250X.....	85
Figura 4.17. Visualización con ataque químico. 250X.....	85
Figura 4.18. Visualización sin ataque químico. 80X.....	86
Figura 4.19. Visualización con ataque químico. 80X.....	87
Figura 4.20. Visualización sin ataque químico. 250X.....	87
Figura 4.21. Visualización con ataque químico. 250X.....	88
Figura 4.22. Visualización sin ataque químico. 80X.....	89
Figura 4.23. Visualización sin ataque químico. 80X.....	89
Figura 4.24. Visualización sin ataque químico. 250X.....	90
Figura 4.25. Visualización con ataque químico. 250X.....	90
Figura 4.26. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 1.	91
Figura 4.27. Vista isométrica de pieza 2.	92
Figura 4.28. Visualización sin ataque químico. 80X.....	93
Figura 4.29. Visualización con ataque químico. 80X.....	93
Figura 4.30. Visualización sin ataque químico. 250X.....	94
Figura 4.31. Visualización con ataque químico. 250X.....	94
Figura 4.32. Visualización sin ataque químico. 120X.....	95
Figura 4.33. Visualización con ataque químico. 120X.....	96
Figura 4.34. Visualización sin ataque químico. 250X.....	96
Figura 4.35. Visualización con ataque químico. 250X.....	97
Figura 4.36. Visualización sin ataque químico. 80X.....	98
Figura 4.37. Visualización con ataque químico. 80X.....	98
Figura 4.38. Visualización sin ataque químico. 250X.....	99
Figura 4.39. Visualización con ataque químico. 250X.....	99
Figura 4.40. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 2.....	100
Figura 4.41. Vista isométrica de pieza 3.	101

Figura 4.42. Visualización sin ataque químico. 80X.....	101
Figura 4.43. Visualización con ataque químico. 80X.....	102
Figura 4.44. Visualización sin ataque químico. 250X.....	102
Figura 4.45. Visualización con ataque químico. 250X.....	103
Figura 4.46. Visualización sin ataque químico. 80X.....	104
Figura 4.47. Visualización con ataque químico. 80X.....	104
Figura 4.48. Visualización sin ataque químico. 250X.....	105
Figura 4.49. Visualización con ataque químico. 250X.....	105
Figura 4.50. Visualización sin ataque químico. 80X.....	106
Figura 4.51. Visualización con ataque químico. 80X.....	107
Figura 4.52. Visualización sin ataque químico. 250X.....	107
Figura 4.53. Visualización con ataque químico. 250.....	108
Figura 4.54. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 3.	109
Figura 4.55. Vista isométrica de pieza 4.	109
Figura 4.56. Visualización sin ataque químico. 80X.....	110
Figura 4.57. Visualización con ataque químico. 80X.....	111
Figura 4.58. Visualización sin ataque químico. 250X.....	111
Figura 4.59. Visualización con ataque químico. 250X.....	112
Figura 4.60. Visualización sin ataque químico. 80X.....	113
Figura 4.61. Visualización con ataque químico. 80X.....	113
Figura 4.62. Visualización sin ataque químico. 250X.....	114
Figura 4.63. Visualización con ataque químico. 250X.....	114
Figura 4.64. Visualización sin ataque químico. 80X.....	115
Figura 4.65. Visualización con ataque químico. 80X.....	116
Figura 4.66. Visualización sin ataque químico. 250X.....	116
Figura 4.67. Visualización con ataque químico. 250X.....	117
Figura 4.68. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 4.	117
Figura 4.69. Vista isométrica de PIEZA 5.....	118
Figura 4.70. Vista frontal y sección analizada.	119
Figura 4.71. Vista longitudinal y sección analizada.	119

Figura 4.72. Visualización sin ataque químico. 120X.....	120
Figura 4.73. Visualización con ataque químico. 120X.....	121
Figura 4.74. Visualización sin ataque químico. 120X.....	121
Figura 4.75. Visualización con ataque químico. 120X.....	122
Figura 4.76. Visualización de las dos vistas analizadas de la pieza 5....	123
Figura 4.77. Secciones de soldadura analizada.....	123
Figura 4.78. Pieza 3 cortada.....	124
Figura 4.79. Vista superficial de sección analizada.....	124
Figura 4.80. Visualización sin ataque químico. 80X.....	124
Figura 4.81. Visualización con ataque químico. 80X.....	125
Figura 4.82. Visualización sin ataque químico. 250X.....	125
Figura 4.83. Visualización con ataque químico. 250X.....	126
Figura 4.84. Análisis superficial de PIEZA 1.....	127
Figura 4.85. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matriz.	128
Figura 4.86. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase blanca.	131
Figura 4.87. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris.	134
Figura 4.88. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 2	138
Figura 4.89. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matricial.	139
Figura 4.90. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase blanca.	142
Figura 4.91. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 3	145
Figura 4.92. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matricial.	146
Figura 4.93. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase oscura 1.	147

Figura 4.94. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase oscura 2.	152
Figura 4.95. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 4	153
Figura 4.96. Descripción de los diferentes materiales constituyentes matricial.	154
Figura 4.97. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris oscura.	155
Figura 4.98. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase negra.	159
Figura 4.99. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase blanca.	165
Figura 4.100. Diagrama de Ellingham.....	168
Figura 4.101. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 5	171
Figura 4.102. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matricial (Spectrum 212).	172
Figura 4.103. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris oscura (Spectrum 213).	173
Figura 4.104. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris blanca (Spectrum 214).	174
Figura 4.105. Vista vertical.....	175
Figura 4.106. Vista horizontal.....	175
Figura 4.107. Vista de corte preparada para soldadura.....	176
Figura 4.108. Sección analizada.....	176
Figura 4.109. Imagen de la sección longitudinal.....	177
Figura 4.110. Pieza 3.	180
Figura 4.111. Pieza 2.	180
Figura 4.112. Pieza 1.	181
Figura 4.113. Pieza polímero.	181
Figura 4.114. Pieza 4.	182
Figura 4.115. Pieza 5.	182

Figura 4.116. Pieza 6.	183
Figura 4.117. Despiece general del componente en vista lateral izquierda.....	183
Figura 4.118. Ensamblaje de todas las piezas del componente.	183
Figura 4.119. Vista del componente renderizado diseñado en <i>SolidWorks</i>	184
Figura 4.120. Plataforma de programa ANSYS Workbench.	185
Figura 4.121. Selección de datos de ingeniería.	186
Figura 4.122. Selección de geometría en caja de herramientas.	186
Figura 4.123. Enlazamiento de funciones.	187
Figura 4.124. Definición de parámetros y solucionado de los mismos en el componente.	188
Figura 4.125. Exportando resultados a análisis modal.	189
Figura 4.126. Análisis modal.	189
Figura 4.127. Modificado de pieza 3 y ensamblaje.	190
Figura 4.128. Análisis modal de geometría sin redondeos.	191
Figura 4.129. Parametrización CAE del componente aislador de vibraciones.....	194
Figura 4.130. Vista 1 de plano del eje de las xy.	194
Figura 4.131. Vista 2 de plano de eje de las xy.	195
Figura 4.132. Vista 3 de plano de eje de las xy.	195
Figura 4.133. Vista 1 de plano del eje de las xz.	195
Figura 4.134. Vista 2 de plano de eje de las xz.	196
Figura 4.135. Vista 3 de plano de eje de las xz.	196
Figura 4.136. Vista 1 de plano del eje de las yz.	196
Figura 4.137. Vista 2 de plano de eje de las yz.	197
Figura 4.138. Vista 3 de plano de eje de las yz.	197
Figura 4.139. Mallado a 3 mm de tamaño de elementos del componente	198
Figura 4.140. Parametrización del componente sin redondeos previo a estudio CAE.	199

Figura 4.141. Vista 1 de plano del eje de las xy.	200
Figura 4.142. Vista 2 de plano de eje de las xy.	200
Figura 4.143. Vista 3 de plano de eje de las xy.	200
Figura 4.144. Vista 1 de plano del eje de las xz.	201
Figura 4.145. Vista 2 de plano de eje de las xz.	201
Figura 4.146. Vista 3 de plano de eje de las xz.	201
Figura 4.147. Vista 1 de plano del eje de las yz.	202
Figura 4.148. Vista 2 de plano de eje de las yz.	202
Figura 4.149. Vista 3 de plano de eje de las yz.	202
Figura 4.150. Gráfica de datos interpuestos con y sin redondeos.....	204

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La reingeniería es un proceso de mejoramiento continuo en el cual se establecen todas las variables a utilizar, las cuales influyen en el desempeño de un componente o proceso y una vez establecidas adecuadamente, permiten alcanzar el mejor rendimiento posible. Mediante este proceso se pretende el mejoramiento continuo a los sistemas de costos, calidad, servicio, seguridad, medios de transporte, etc. Es la revisión fundamental y el re-diseño radical, para alcanzar mejoras espectaculares en medidas críticas y actuales en rendimiento en términos de costos, calidad, servicio, seguridad, medios de transporte de materiales, etc.

La reingeniería se aplica en todo proceso el cual pretenda ser modificado para obtener un mayor rendimiento en su uso y así alcanzar mejores resultados de uso. El ejemplo más claro a esta aplicación se da a finales de la segunda guerra mundial con Japón, el país más afectado en su sociedad, se dispuso la tarea de mejorar sus país a pesar de su gran déficit económico por el cual pasaban, Entonces empezaron a mejorar su sistema educativo, dado a que los niños de ese entonces eran los futuros gobernantes del país y por lo tanto debían de ser educados de la mejor manera posible.

Empezaron a mejorar sus procesos tecnológicos, desde ese entonces, lo cual dio paso a la comercialización, volviéndose el proceso de reingeniería un proceso por el cual sentarían la base de su nueva comunidad tanto social como económica. Uno de sus más grandes logros es su tren de levitación magnética, el cual no produce fricción en su movimiento, dado a que se encuentra suspendido entre dos polos magnéticos iguales, lo cual causa rechazo entre las superficies de la vía del tren.

Para la reingeniería, la implementación de los sistemas de información constituye un elemento clave en el cambio organizacional y la mejora de procesos. Los factores que proporcionaron el desarrollo de la

REINGENIERIA fue precisamente la impresionante evolución tecnológica que ha sufrido el mundo, y particularmente el campo de las telecomunicaciones electrónicas, ya que ante la necesidad que tienen las empresas de convertirse en altamente competitivas, la solución es contar con una infraestructura sólida en el flujo de la información en todos los campos de la organización, que les permita el acceso a la información de cualquier sucursal en cualquier parte del mundo en cuestión de segundos, y entablar conversaciones telefónicas (no sólo de voz, sino también de video y teleconferencias), hacia cualquier sucursal o filial de la empresa, de sus competidores, de sus clientes, e inclusive del mundo (prueba de ello es el Internet).

La reingeniería se basa en dos factores interdependientes: primero, la idea constante del cambio y segundo, los procesos internos eficaces y eficientes. El éxito de una empresa depende de su capacidad para satisfacer las necesidades de sus clientes. A su vez, esta capacidad depende de la eficacia de los procesos internos de la organización, para satisfacer esta demanda externa que está en constante cambio.

Por lo tanto, el compromiso y dedicación de los empleados para cumplir las necesidades del cliente pueden convertirse en la llave autosuficiente que perpetúe el éxito, por lo que el éxito de una organización no es el resultado de composturas rápidas, programas sencillos o discursos de los directores, sino del desarrollo de un programa de cambio técnicamente analizado, estudiado, comprendido y formulado por los integrantes de la organización.

Desafortunadamente en nuestro país no se cuenta todavía con una gama interesante de casos de reingeniería documentados adecuadamente, para que investigadores o autoridades en la materia puedan enriquecer a sus investigaciones con datos de análisis reales.

Además, los pocos casos de éxito que se han dado a conocer abiertamente muestran sólo un panorama general del proyecto, sin dar un

énfasis en particular a estrategias desarrolladas o barreras 'encontradas por políticas de confidencialidad. Así pues, esta problemática nos hace contar con algunos ejemplos de empresas que han adoptado esquemas de reingeniería. A continuación algunos ejemplo de empresas mexicanas las cuales han contribuido a la utilización de la reingeniería para mejorar sus procesos:

- Instituto Mexicano del Petróleo
- Petróleos Mexicanos
- Coca Cola Femsa
- Conservas La Costeña
- EDS de México
- Grupo Jumex
- Industrias Vinícolas Pedro Domeq
- Lucas (Alimentos Matre)
- Cementos Apasco
- Industria Nacional de Cementos
- Corfuerte
- Celanese Mexicana
- Grupo Elektra
- Integradora de Activos
- Altos Hornos de México
- Cartones Ponderosa
- Transportación Ferroviaria Mexicana
- Transportación Marítima Mexicana
- Teléfonos de México

Una de las obras más completas, es la del modelo de reingeniería de Daniel Morris y Joel Brandon. Obra en la cual muestran, tanto los conceptos más modernos relacionados con la reingeniería, como las últimas herramientas

tecnológicas y empresariales para llevar a cabo el proceso en un concepto denominado reingeniería dinámica de los negocios.

Estos autores mencionan como la reingeniería ha evolucionado, qué tipo de cambios de pensamiento requiere, qué conceptos incorpora y cuáles de los existentes (entre ellos la calidad), para posteriormente dividir el proceso en dos vertientes definitivas, que son: el posicionamiento y el proceso (aplicación del proyecto) en sí mismo.

El posicionamiento se refiere al dimensionamiento y preparación del proyecto. Se definen objetivos, estrategias, formación de equipos de trabajo, recopilación de datos, y se establece la acción para cambiar de un paradigma actual a uno que pueda ser continuo. Una vez logrado el posicionamiento se realiza el proceso de reingeniería, utilizando una metodología tradicional de proyectos de nueve pasos, incorporando técnicas y herramientas tecnológicas que puedan utilizarse.

En el presente trabajo se realizaron procesos de re-ingeniería con el fin de optimizar la estructura del componente incluyendo su caracterización estructural y de propiedades de los elementos que lo constituyen, así como la realización de ensayos para la determinación de propiedades mecánicas del material de cada uno de los componentes.

Esta tesis está centrada en la reingeniería aplicada al componente llamado “reductor de vibraciones” el cuál es un componente aeronáutico que va colocado en una de las alas de un avión Saab 340, su función es medir las vibraciones a la cual el motor es sometido a lo largo de todo su trabajo, si el motor se encuentra fuera de su rango de vibración, el piloto manda a una revisión el motor para evitar cualquier accidente. El componente reductor de vibraciones va posicionado en medio de entre una base de sujeción del motor y una base de sujeción empotrada al ala del avión.

Características generales del Saab 340:

- ✓ Tripulación: 2 pilotos y 1 auxiliar de vuelo
- ✓ Capacidad: 37 pasajeros
- ✓ Longitud: 19,73 m
- ✓ Envergadura: 21,44 m
- ✓ Altura: 6,97 m
- ✓ Superficie alar: 41,81 m²
- ✓ Perfil alar: NASA MS(1)-0313
- ✓ Peso vacío: 8.140 kg
- ✓ Peso bruto de carga: 4.905 kg
- ✓ Peso máximo al despegue: 13.155 kg
- ✓ Planta motriz: 2x turbohélices General Electric CT7-9B.
- ✓ Potencia: 1 305 kW (1 750 HP; 1 774 CV) en despegue cada uno.
- ✓ Hélices: 1xcuatripala de paso variable (velocidad constante) Dowty Rotol o Hamilton Standard 14RF19 por motor.
- ✓ Diámetro de la hélice: 3,35 m

Rendimiento:

- Velocidad nunca excedida (V_{ne}): 522 km/h (324 MPH; 282 kt)
- Velocidad máxima operativa (V_{no}): 463 km/h (288 MPH; 250 kt) Mach 0.5
- Velocidad crucero (V_c): 467 km/h (290 MPH; 252 kt) a 7.620 m de altitud
- Alcance: 1 732 km (935 nmi; 1 076 mi)
- Techo de vuelo: 7,620m (25000ft)
- Régimen de ascenso: 10,2 m/s (2 008 ft/min)

Para la realización del proceso de reingeniería fueron necesarios el uso de diversos programas, como el programa CAD. El programa CAD fue principalmente inventado por un francés, Pierre Bézier, ingeniero de los Arts et Métiers Paris Tech. El ingeniero desarrolló los principios fundamentales de la CAD con su programa UNISURF en 1966. En dicho programa el usuario tiene la capacidad de asociar a cada entidad una serie de propiedades como color, capa, estilo de línea, nombre, definición geométrica, material, etc., que permiten manejar la información de forma lógica.

El sistema CAD es un programa de diseño asistido por computadoras más conocido por sus siglas inglesas CAD. El programa hace uso de un amplio rango de herramientas computacionales que asisten a ingenieros, arquitectos y diseñadores. El CAD es también utilizado en el marco de procesos de administración de ciclo de vida de productos.

Estas herramientas se pueden dividir básicamente en programas de dibujo 2D y de modelado 3D. Las herramientas de dibujo en 2D se basan en entidades geométricas vectoriales como puntos, líneas, arcos y polígonos, con las que se puede operar a través de una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D añaden superficies y sólidos.

SolidWorks® es un programa de diseño mecánico en 3D que utiliza un entorno gráfico basado en Microsoft® Windows®, intuitivo y fácil de manejar. Su filosofía de trabajo permite plasmar las ideas de forma rápida sin necesidad de realizar operaciones complejas y lentas.

Las principales características que hace de *SolidWorks*® una herramienta versátil y precisa es su capacidad de ser asociativo, variacional y paramétrico de forma bidireccional con todas sus aplicaciones. Además utiliza el Gestor de diseño (*Feature Manager*) que facilita enormemente la modificación rápida de operaciones tridimensionales y de croquis de operación sin tener que rehacer los diseños ya plasmados en el resto de sus documentos asociados [1.1].

Se utilizó el programa de diseño CAD para generar el modelo del componente y posterior a eso, realizar pruebas de análisis estructural vía CAE para determinar la distribución de esfuerzos y la deformación a la que se someten los componentes.

CAE es un programa de ingeniería asistida por computadora o por ordenador es la disciplina que se encarga del conjunto de programas informáticos que permiten analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador, o creados de otro modo e introducidos en el ordenador, para valorar sus características, propiedades, viabilidad, y rentabilidad.

Su finalidad es optimizar el desarrollo de un componente o sistema específico y reducir sus consecuentes costos de fabricación, esto hace reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto final. La base de todas áreas de desarrollo se presentan como módulos o extensiones de aplicaciones CAD, que incorporan: el análisis cinemático, el análisis por el método de elementos finitos (FEM, *Finite Elements Method*), el maquinado por control numérico CNC (*Computered Numeric Control*), el de exportación de ficheros "Stl" (Estereolitografía) para máquinas de prototipado rápido y CAD [1.2]

Con el análisis CAE se obtendrán resultados de zonas críticas para conocer las zonas de ruptura en el material con la finalidad de reforzar el componente para que la pieza tenga mayor resistencia. Ya que el estudio mecánico del componente optimizará el diseño, debido al re-acomodo de soportes con los que la pieza originalmente está fabricada.

Se evaluó la capacidad de replicar la pieza así como el proceso de reingeniería del soporte, para ello se requirió comprender todas las cuestiones asociadas a la pieza, tales como: su geometría, análisis de esfuerzos y el material de fabricación.

No solo se requirió la utilización de los programas computacionales antes mencionados, sino también pruebas de tensión basadas en la norma ASTM E8 [0.4].

En el análisis de trazas superficiales realizado se pudo observar estructuras sin deformaciones y se observan líneas paralelas entre sí, que va conforme a la fractura. Se utilizaron diferentes escalas de durezas Rockwell, de entre ellas predomina la escala Rockwell C, dado a que es un método práctico y conciso para determinar la resistencia de un material para ser penetrado.

Para realizar todo el estudio químico del componente, primero se procedió al desmantelamiento del mismo con la obtención de muestras y polvos de cada una. Se obtuvieron muestras de los diferentes materiales constituyentes, se encapsularon en resina para un mejor manejo y posterior a eso las muestras se pulieron a espejo a 0.3 micras. Por cada pieza se analizó su micro estructura tanto transversal (radial), longitudinal como superficialmente.

Se obtuvieron análisis muy concretos sobre sus procesos de fabricación de acuerdo a sus micrografías, y se analizaron sus porcentajes de contenidos de diferentes materiales constituyentes por medio de microscopio electrónico de barrido, y con ello se pudieron identificar las aleaciones distintas de los materiales.

Las pruebas de dureza y micro-dureza dan valores en los cuales se pueden clasificar los distintos materiales de acuerdo a rangos específicos, se utilizó la dureza Rockwell para evaluar la dureza de todos los materiales constituyentes del componente y se utilizó la prueba de micro-dureza Vickers para evaluar la microdureza de los materiales principales del componente.

El proceso de construcción CAD del componente por medio del programa *SolidWorks*, es de vital importancia, debido a que mediante una representación simulada del componente se pueden realizar varios estudios, como el estudio CAE, este estudio da la pauta para determinar tanto las frecuencias naturales como la distribución de esfuerzos que son muy

importante para saber cómo la distribución de esfuerzos se establece a lo largo de la estructura del componente y con ello determinar si la estructura podría ser mejorada para una mejor optimización de recursos.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La industria aeroespacial está actualmente en expansión en el país y los especialistas en el área son contados. El desarrollo de esta área requiere del aprendizaje de las tecnologías empleadas y hace necesario desarrollar especialistas en esta área. Uno de los mecanismos a través de los cuales es posible preparar a estos nuevos especialistas es generar el conocimiento de los materiales empleados en esta industria, materiales disponibles limitadamente, así como la información de los procesos de fabricación empleados.

Una de las alternativas para generar el conocimiento de los materiales empleados y de los procesos de fabricación de estos componentes; es realizar un proceso de re-ingeniería de los componentes de la industria aeronáutica. Este proceso de re-ingeniería permitirá adquirir conocimiento y experiencia en el área de ingeniería aeronáutica.

Debido a que este tipo de piezas actualmente no se produce en el país, la experiencia y conocimientos generados permitirá valorar la posible fabricación de este tipo de componentes en México, ya que la construcción de este tipo de componentes reduciría los costos y se abriría un campo de trabajo para los nuevos especialistas en reingeniería.

El análisis CAE permitirá conocer el desempeño simulado del soporte y evaluar la eficiencia del diseño del fabricante.

Identificar la capacidad tecnológica para fabricar este tipo de piezas.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Realizar un proceso de reingeniería de un componente aeronáutico para determinar sus procesos de fabricación y desarrollar experiencia y conocimiento en el área.

1.3 OBJETIVO ESPECIFICO

Realizar el despiece del componente bajo estudio mediante un cuidadoso desensamble.

Determinar las propiedades mecánicas de los materiales de cada una de las piezas que constituyen al componente mediante pruebas de tensión y dureza.

Determinar la composición química de cada una de las piezas del componente bajo estudio.

Realizar el análisis microestructural para determinar el probable proceso de fabricación.

Realizar el diseño CAD (Computer Aided Design) del componente y posterior a eso pruebas de análisis estructural vía CAE (Computer Aided Engineering) para determinar la distribución de esfuerzos y la deformación del componente.

Evaluar la capacidad de replicar la pieza.

1.4 HIPOTESIS

Se espera que las aleaciones empleadas en la fabricación del componente aeronáutico sean aleaciones base aluminio, titanio y/o aceros especiales.

El diseño del componente debe estar optimizado para el uso establecido.

1.5 METAS

Realizar el proceso de reingeniería de un aislador de vibraciones de dos motores que controlan los slaps de un avión SAAB 340, para determinar sus propiedades tanto mecánicas como estructurales, con la finalidad de adquirir conocimientos tanto de su fabricación como de tipos de elementos constituyentes.

Desarrollar el análisis CAD/CAE del componente para evaluar su desempeño simulado.

Comprender las cuestiones asociadas al componente; geometría, análisis de esfuerzos y el material de fabricación.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

Para poder entender la necesidad de que se realice la reingeniería en México debemos analizar antes un poco del porque la realización de la misma. Actualmente en México ha habido un crecimiento de los talleres aeronáuticos y de aeronáutica nacional e internacional así como de la aeronáutica ejecutiva. En este mundo globalizado es de vital importancia de la reingeniería en esta rama, la cual se encuentra en pleno desarrollo.

La ingeniería aeroespacial es una rama de la ingeniería que estudia a las aeronaves tanto civil como militar; engloba a los ámbitos en los que la actual ingeniería aeronáutica, relacionada con el diseño de sistemas que vuelan en la atmósfera y de la ingeniería espacial, entendiendo por esta última aquella que se ocupa del diseño de los vehículos impulsores y de los artefactos que serán colocados en el espacio. Mientras que la ingeniería aeronáutica fue el término original, el término más amplio "aeroespacial" lo ha sustituido en el uso más reciente [2.1].

La entrada de nuevos equipos de vuelo han obligado a los talleres aeronáuticos a incorporar y actualizar los sistemas y procedimientos de servicios, así como agregar a esto la necesidad del cliente ya que hoy en día quien adquiere un avión ejecutivo exige en cada evento de mantenimiento ya sea previo o correctivo, la respuesta más rápida posible y con la mayor calidad en el servicio prestado y a un precio justo.

Todos los factores antes mencionados se colocan en una lista de peticiones y ponen a prueba tanto las habilidades como los conocimientos de los más experimentados especialistas al servicio del mantenimiento de aviones. Para poder cumplir con los objetivos es necesario recurrir a la innovación e implementar nuevas herramientas de calidad que puedan lograr mantener rentable este tipo de peticiones para las empresas que están dentro del

mercado aeronáutico. He aquí una razón para la implementación de la reingeniería en esta área de la aeronáutica.

Las empresas en todos los campos comerciales muestra su interés para renovar sus operaciones y así poder mejorar la calidad en sus servicios al autorizar los proyectos innovadores para reconocer su importancia de conducir el servicio de mantenimiento a base de la satisfacción y las expectativas del cliente y así elevar la eficiencia de los procesos [2.2].

Cabe mencionar que la DGAC se convirtió en la Agencia Mexicana de Aeronáutica Civil que desde el 2014 y sigue vigente en la actualidad, la cual será un órgano desconcentrado con autonomía operativa, técnica y administrativa con presupuesto propio cercano a los 700 millones de pesos. Será un órgano de mayor autonomía en línea con las mejores prácticas internacionales en esta materia. Cuyo objetivo central es que los accidentes en aeronáutica y otros modos de transporte se investiguen de manera profesional y de manera seria y sobre todo de manera independiente de tal manera que extraigamos lecciones y que de esas lecciones aprendamos.

Debido a que la reingeniería se puede aplicar exitosamente en varios campos de estudio cabe mencionar su relevancia ya que con ella se establece una metodología vanguardista totalmente, ya que en la actualidad muchas empresas la están empleando en diferentes ramas y su principal objetivo es mejorar los procesos que se ejecutan dentro de ella. Está fundamentada en reestructurar las organizaciones, bajo el criterio enfocado al cliente, esto quiere decir que rediseña las estructuras administrativas y estructurales en función de excelencia en servicio al cliente.

Lo que conlleva un cambio en la forma de pensar a todos los niveles jerárquicos; pero sin faltar al principio elemental de la administración como la reducción de los costos, con lo anterior permite a las organización brindar un

mejor nivel de competitividad, ya sea en la producción de bienes o en la prestación de servicio, agilizar los procesos y reducir costos, para mejora así, el desempeño de todos los elementos del sistema organizacional [2.3].

La reingeniería supone un cambio radical en la forma de operar de la empresa, ya que se considera como la reconsideración fundamental y el rediseño radical de los procesos de la empresa para conseguir mejoras espectaculares en medidas críticas, actuales, de resultados o rendimiento, como pueden ser los costes, la calidad, el servicio y la rapidez. Lo cual implica normalmente enfrentarse a los cambios por adoptar con la mente limpia de la historia pasada; se recomienda pensar en la situación a la que aspiramos para, a partir de ahí, idear y diseñar los medios necesarios para la creación de la misma.

La reingeniería aeronáutica también se puede introducir en la llamada teoría proceso a proceso, ya que esto implica cambios profundos de mentalidad, por lo que en la práctica se cambian bloques enteros de procesos relacionados, o todos los procesos básicos de una unidad de negocio, o bien directamente todos los procesos clave de la empresa.

La reingeniería de procesos y de empresas ha tomado mucho ímpetu en los años noventa, pero ya se aplicaba con anterioridad, siempre que las circunstancias lo exigiesen. Un ejemplo muy conocido es el sistema automatizado de reserva de billetes implantado por American Airlines, al que se adhirieron muchas otras compañías aéreas, y que alteró a fondo la forma de funcionar de las compañías aéreas y las agencias de viaje. Esto puede tomarse como el típico caso de reingeniería, por darse en él un rasgo típico de este modelo de cambio: muchas veces esta necesidad de cambio se debe a saltos cualitativos introducidos por la competencia, que obligan a realizar un cambio comparable o más profundo o ser eliminado de un determinado mercado.

Y para llevar a cabo la transformación con éxito es casi obligado recurrir a las últimas posibilidades que ofrecen en cada momento las nuevas

tecnologías. En el caso citado se usaron las posibilidades de la informática, en este momento se pueden sumar a ella las de Internet y de las redes de comunicaciones, tanto fijas como móviles.

Cabe mencionar que debido a los cambios tan drásticos y rápidos que se han presentado a lo largo de todo este tiempo tiene sus ventajas sustanciales en plazos muy cortos casi obligatoriamente tendrá que apoyarse en las nuevas tecnologías. Se ha escrito mucho sobre la reingeniería, de la que existen partidarios fervientes y detractores, que no le conceden ninguna posibilidad. Sin embargo es conveniente apuntar unas pocas ideas relativas a sus posibilidades, ventajas y a las precauciones que conviene tomar al llevarla a cabo, ya que sigue siendo una técnica a considerar dentro de la gestión por procesos.

Sus posibilidades están limitadas exclusivamente por las fronteras combinadas de la técnica y del pensamiento: la técnica ha demostrado con frecuencia su elasticidad para acomodar nuevas soluciones, y el pensamiento creativo llega al infinito, al menos en teoría. Ya que en estos tiempos con la implementación de las nuevas tecnologías como el internet los cambios y actualizaciones están a la vuelta de la esquina y la tecnología avanza a pasos agigantados en un lapso corto de tiempo [2.4].

La reingeniería aeronáutica tiene éxito y produce un salto tecnológico como consecuencia de varios años de progreso continuo y, a veces, va más allá de lo que se conseguiría con los métodos de mejora progresiva. Esto implica riesgos, que deben estar compensados por los beneficios a obtener, por lo que es obligatorio que los proyectos de reingeniería aeronáuticos (como todos los proyectos de cambio) estén impulsados por los requisitos del mercado, de los clientes, que ya no se conforman con las características similares que les ofrece el abanico de competidores, sin iniciativas atractivas [2.5].

Para la reingeniería aeronáutica es importante iniciar desde cero en un proceso, para que este se inicie de nuevo ya que si alguno de los procesos

está mal lo ideal es componerlo o de plano hacer un cambio drástico que mejore este proceso. Lo que se pretende es realizar cambios que no perjudiquen, si no que beneficien y así se logre que el cambio sea radical pero al mismo tiempo que las personas que estén en el proceso no la rechacen, o que haya un plan de contingencia que ayude a que el cambio sea aceptado poco a poco ya que será para beneficio de la empresa.

Los impulsores Michael Hammer y James Champy los cuales hacen hincapié en que “el único elemento absolutamente indispensable en todo proyecto de reingeniería es que se dirija a un proceso y no a una “función” que son los que hicieron que el concepto de reingeniería fuera tomado en cuenta por las empresa estos dos impulsores dieron conferencias acerca de la reingeniería y de cómo aplicarla a las organizaciones para que estas puedan trabajar de manera adecuada e identificar en donde está el problema para solucionarlo desde la raíz, sabemos que el proceso administrativo se divide en planeación, organización, dirección y control, si alguno de estos procesos llegase a fallar debemos de identificar qué proceso es, y de ahí en adelante realizar un cambio que ayude a este proceso y que por obvias razones tendrá que repercutir en los otros procesos que estén adelante del que este mal.

La implementación de la reingeniería en los procesos aeronáuticos ha revolucionado en muy pocos años y ha revolucionado los procesos desde 1992 los ejecutivos de grandes empresas consideraron casi de inmediato al rediseño como una alternativa viable y estuvieron dispuestos a provocar importantes cambios en sus compañías.

Hacia 1995 se estimaba, de acuerdo a un estudio de la consultora estadounidense CSC Index, que aproximadamente entre el 70% y el 75% de las más grandes empresas estadounidenses y europeas estaban en proceso de aplicación de la reingeniería, además, aproximadamente la mitad de las restantes estaban analizando la posibilidad de adoptarla

Las empresas que recurren a la reingeniería son las que desean elevar su desempeño de calidad; las estrategias más adoptadas en las organizaciones es la polivalencia, hay que capacitar al personal para hacer múltiples trabajos para que las organizaciones no se vean afectados cuando no cuenten con uno de empleados (es decir tener siempre alternativas, si un trabajador no asiste alguien más sepa hacer lo que él hace y sacar el trabajo del día) y así ayudamos a estimular al trabajador en no caer en rutina, en si la organización debe buscar estrategias nuevas que ayuden a alcanzar los para satisfacer las complejas necesidades de los clientes, se requiere de un trabajo no individualizado; por el contrario, la utilización exitosa de grupos cuyos miembros tengan diferentes habilidad [2.6].

Esto para desarrollar una visión de los objetivos en los procesos donde la empresa debe ser capaz de producir un cambio decisivo para mejorar el rendimiento de la organización lo cual debe ser comprensiva para todo el personal, debe de ser motivadora, inspiradora para cada uno de los empleados y por medio de esto también tener mejores resultados con la satisfacción.

La ingeniería aeronáutica se ocupa de diseñar y construir los componentes de los aviones y helicópteros tomando en consideración las leyes de la aerodinámica, los fundamentos de la mecánica de fluidos y la ingeniería estructural. Además se encargan de la integración de los elementos motores (alternativos, turbo fanes, turborreactores y turbo ejes) para construir la aeronave. Otros campos de actividad de los ingenieros aeronáuticos son la construcción de aeropuertos, el diseño y operación de redes de transporte aeronáutico y la fabricación de equipos y materiales especiales como armamento, satélites o cohetes espaciales.

La ingeniería aeronáutica consiste en la aplicación de la tecnología al diseño, construcción o fabricación y la utilización de artefactos capaces de volar o aerodinos principalmente aviones o aeronaves, misiles y equipos

espaciales y en los aspectos técnicos y científicos de la navegación aérea y los instrumentos de los cuales se sirve ésta [2.7].

La reingeniería aplicada a su incorporación en la ingeniería Aeronáutica para el proceso de calibración del cabezal del sistema de distribución de combustible, al APU (siglas en inglés de *Auxiliary Power Unit*) del MD-80F.O.D.A con el cual el proceso permite determinar el correcto funcionamiento de la válvula de apertura del divisor de flujo del cabezal de distribución, y así poder determinar el correcto atomizado del combustible dentro de los ángulos especificados con cierto margen de confiabilidad.

Se pudo mejorar el proceso de medición de flujo para reducir tiempo y aumentar la precisión para así mejorar el proceso de medición del ángulo aspensor aunque se requiere de mucho tiempo para realizar el proceso de banco de pruebas sencillos presentan carencia de parámetros específicos dentro de rangos operacionales óptimos así como la carencia de entorno adecuado de medición generando incertidumbre y los bancos de pruebas más sofisticados tienen costos elevados.

La unidad auxiliar de potencia o APU es un dispositivo montado en un vehículo que proporciona energía para funciones distintas a la propulsión. Se suele utilizar en grandes aviones, barcos y algunos vehículos terrestres grandes como trenes o camiones. Cabe destacar que si la prueba se realiza directamente, no sobre el APU, la prueba no puede realizarse en condiciones extremas ni de manera completa debido a que el APU trabaja bajo ciertas condiciones que al sobrepasarlas implicaría daños y acorta su vida útil. Optimizar el proceso de modo que se pueda reducir el tiempo de procedimiento y se pueda reducir la incertidumbre con respecto a los resultados de medición sin implementar pruebas costosas.

En el caso NISSAN MOTOR IBERICA: Reingeniería de procesos, tecnología y oportunidades para mejora de calidad y productividad, para controlar bien la introducción de una modificación de diseño cuando nuestro

producto está en serie y con un volumen de fabricación de cientos o miles de piezas al día. Este proceso operativo, que forma parte del mapa de procesos de las empresas de automoción, aeronáutica, manufactureras, etc.; en muchos casos se convierte en fundamental por los riesgos que conlleva si no se controla correctamente (son los llamados Costes de “NO” Calidad: obsoletos, paros de línea, transportes urgentes, retrabajos, horas extras, etc.

Para un fabricante de coches, gestionar al año entre 1000 y 3000 modificaciones no es tarea fácil (desde que el departamento de ingeniería lanza la modificación, se coordina con los departamentos de fábrica, se negocia con los proveedores, éstos gestionan sus “*timings*” (agendas) de modificación, se homologa el cambio y se introduce el nuevo producto en la línea de coches después de apartar el material obsoleto). Varios departamentos del OEM (se le denomina fabricante de equipos originales en inglés *Original Equipment Manufacturer*) y del Tier 1 y 2 (Tier 1 son proveedores de partes originales también conocidas como proveedores de primer nivel mientras que Tier 2 y 3 son proveedores de partes con diseños suministrados por Tier 1 que generalmente suministran productos relativamente básicos y partes individuales. También conocidos como proveedores de segundo y tercer nivel) entran en juego. Decenas de personas están implicadas, todo tiene que cuadrar, un fallo de calidad o de gestión puede implicar miles de euros [2.8].

Todos los OEM introducen cambios de diseño durante la vida en serie de un vehículo pero Miguel Angel Martorell, que ha sido responsable de DCC (*Design Change Control*) en Nissan Motor Ibérica desde finales de 1993 (ahora está mejorando los procesos de los Concesionarios Nissan en Europa). La dirección de Nissan le pidió que revolucionara la gestión de los cambios de diseño y lo hizo superando todas las expectativas de acuerdo a las necesidades de la compañía y lo automatiza con un software adaptado al mismo.

Cuando se creó el departamento del DCC no existía un equipo que liderara los cambios de diseño lo cual implicaba que, ante un proceso transversal entre varios departamentos, la información fuese escasa, la comunicación complicada, la planificación y coordinación inexistente y el *lead time* de cada nuevo cambio excesivamente largo. Conseguir que DCC liderara los cambios, con menos personas que antes y de forma más eficiente fue un primer gran logro.

“La aplicación informática DCCM (*Design Change Collaborative Management*) que se creó en 2004 fue “la revolución” al aplicar a los cambios de diseño las nuevas tecnologías de la información. Otra mejora importante fue el diseñar y desplegar un proceso de valoración de proveedores para evaluar cómo gestionaban los cambios. Esto nos permitió medirles, ayudarles a mejorar y a integrarlos como un departamento más en el equipo de introducción Nissan”.

Se pasó de un tiempo medio de cambio de diseño de 96 días a 39.8 días. Eso implicó un ahorro de costes anual de casi 4 Millones €. Adicionalmente, se produjo también un ahorro en transportes urgentes, re-trabajos, obsoletos, paros de línea de 580.000 €/año. Es decir, se mejoró en un año un 60,5% con esto se logró gestionar 1.003 modificaciones en 2003 a 2.613 en 2005 y a incrementar nuestra eficacia en un 307,2%.

La calidad de los coches con DCCM se mejoró en dos aspectos:

- ✓ Reducción de tiempos de introducción de cambios de diseño de alta prioridad para introducir mejoras de calidad (25,3 días).
- ✓ Mejora de la planificación, coordinación y control de la gestión entre todos los departamentos de fábrica y con nuestros proveedores y, por lo tanto, de la reducción de errores [2.9].

En estos momentos difíciles, muchas empresas reducen bruscamente sus plantillas exigiendo a las personas que restan que realicen “las mismas tareas” con los mismos procedimientos y procesos ya obsoletos y con el mismo nivel de eficacia y eficiencia. Esto no es lógico y sólo provoca más “mala” gestión y más costes adicionales (se produce un efecto dominó). Por ejemplo, no podemos pretender hacer lo mismo que antes hacíamos con 20 personas y ahora, seguir haciéndolo con tan sólo 10. Esto no es posible sin optimizar los procesos y adecuarlos a las necesidades reales de la compañía y de nuestros clientes.

Se recomienda analizar los procesos, optimizarlos, crear sinergias internas y externas y automatizar todo lo que sea necesario. Hoy por hoy, ningún proceso colaborativo que no esté automatizado y controlado por un gestor de procesos, permanece estable en el tiempo y puede ser realmente mejorado (no “parchado”, como muchos hacen).

Tomemos en cuenta los desarrollos en América Central de los procesos de reingeniería aeronáutica, como un ente descentralizado y con un mayor nivel de independencia funcionará el nuevo Instituto Hondureño de Aeronáutica Civil, recién creado por el gobierno en Consejo de Ministros.

Esto sustituye a la suprimida Dirección General de Aeronáutica Civil, será estructurado con base en los requerimientos internacionales, con personal altamente calificado y preparado en temas de seguridad aérea. Ya que el nuevo Instituto se desvincula de la Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda (Soptravi) y únicamente seguirá directrices de la Presidencia, Defensa y la Dirección de Investigación e Inteligencia del Estado. Lo cual se dio a conocer por el titular de la institución, coronel de aviación José Israel Navarro, quien anunció la aplicación de pruebas de confianza a todo el personal que seguirá laborando al interior del Instituto.

La Aeronáutica Civil actualmente que cuenta con 501 empleados, de los cuales 226 son administrativos y 275 técnicos, que en su mayoría no

cuentan con la suficiente capacitación para afianzar el proceso de seguridad aeroportuaria.

El gobierno anunció a través del secretario del Consejo de Ministros, Ebal Díaz, que el personal sería despedido, pero las autoridades del Instituto dijeron que se aplicarán pruebas y se capacitará al personal que desee continuar en sus puestos. Con lo cual se pretende la implementación del desarrollo de nuevos proyectos que beneficien los procesos de la aeronáutica para el beneficio tanto de empresas como del país.

EL HERALDO que la descentralización representa el primer paso para la categorización de los aeropuertos hondureños y posterior certificación del país, lo cual permitirá desarrollar la aviación civil en Honduras, para la categorización se requiere tener todas las medidas de seguridad aeroportuaria de acuerdo a la normativa de OACI, que es una agencia de la Organización de las Naciones Unidas creada en 1944 por el Convenio sobre Aviación Civil Internacional para estudiar los problemas de la aviación civil internacional y promover los reglamentos y normas únicos en la aeronáutica mundial, que tengamos una estricta vigilancia sobre el operador aéreo, que cumpla en la normativa aérea, no es posible que tengamos una aeronave y se le caiga una llanta, no puede ser [2.10].

Así como en el caso anterior la reingeniería aplicada en la pieza a analizar también producirá una mejora así como abrirá las puertas a incrementar el uso de la reingeniería en un objeto específico en México como es nuestro caso.

Para la realización de la pieza es necesario la utilización de programas como apoyo como lo es el programa CAE (En español; Ingeniería Asistida por Ordenador). Como en el caso del CAD, el CAE permite a los ingenieros simular en el ordenador los modelos que se piensan poner en práctica con el objetivo de apreciar su validez sin incurrir en costes de fabricación [2.11].

El diseño asistido por computadora conocido como CAD nos permite utilizar una gran variedad de herramientas virtuales facilitando así la labor del diseño a ingenieros o arquitectos entre otros. También podemos encontrar algunos casos en los cuales a las siglas CAD se les añade una D final, quedando como CADD (*Computer Asisted Drawing and Design*).

Sintetizando la definición, se entiende por sistema de diseño CAD un software capaz de automatizar todo el proceso de diseño de un modelo determinado. Esta clase de software se puede dividir en dos partes o interfaces. La primera parte está basada en el dibujo en dos dimensiones (2D), y las herramientas utilizadas normalmente son vectoriales para poder crear líneas, arcos, etc. En la segunda parte comúnmente encontraremos modeladores de 3D para trabajar con las superficies o sólidos, así como herramientas de parametrización o conjuntos. Además, una vez obtenido el diseño, el sistema CAD permite asociarle distintos tipos de materiales al mismo [2.12].

La ingeniería asistida por ordenador abarca muchos campos ya que sirve para analizar los diseños previamente realizados como software de CAD o digitalizados mediante procesos de ingeniería inversa. Los procesos CAE permiten extraer información para optimizar el desarrollo y los costes de fabricación reduciendo las pruebas con prototipos para la obtención del producto final. Se valoran los puntos como las características y propiedades, definición de material y optimización geométrica del molde así como la viabilidad y rentabilidad, cantidad de materiales, tiempos y costes de fabricación.

2.1 DESCRIPCION DEL DISEÑO Y PROBLEMAS DE LA PIEZA.

Dentro de los materiales más ampliamente utilizados en piezas aeronáuticas se encuentra el aluminio. Aunque hay diferentes tipos de aluminios como: ALUMINIO 2024 T3 ALCLAD ya que es resistente a la

corrosión formada por superficies de aluminio de alta pureza ligada metalúrgicamente a un núcleo de aleación de aluminio de alta resistencia. Esta aleación de aluminio es usada como protección contra la corrosión en la fabricación de compartimientos para baterías de avión, revestimientos de fuselaje. Es una aleación de aluminio (Al), manganeso (Mn) y magnesio (Mg) tratado a alta temperatura, que tiene en su superficie la resistencia a la corrosión del aluminio. Así como el ALUMINIO 7075-T6 Este aluminio es utilizado en vigas, uniones de estructuras, así como en las estructuras mismas, en la fabricación de fuselajes de ala delta o del área de militar, accesorios de aeronaves, engranajes, ejes, partes de misiles, tornillos sin fin, es perfecto para aéreas en donde es necesaria una alta resistencia, así como en la fabricación de moldes.

El laminado puede ser usado ya sea en frío o en caliente dependiendo para que se vaya a utilizar.

LAMINADO EN FRIO:

Para este aluminio la resistencia a la tracción aumenta a 610 MPa, presenta un alargamiento a la ruptura menor y una reducción de área de un 10% en comparación al laminado normalizado pero para el

LAMINADO EN CALIENTE:

En comparación con un aluminio normalizado disminuyen las siguientes características: la dureza Brinell, la resistencia a la tracción se reduce, la resistencia a la tracción y el alargamiento a la ruptura.

También se emplean materiales como el acero, por ejemplo el *ACERO INOXIDABLE 17-4PH*, el cual combina alta resistencia y dureza posterior al tratamiento térmico de baja temperatura y a corto plazo que reducen al mínimo el comado y desoxidación y una excelente resistencia a la corrosión, posee excelentes características de mecanizado. Debido a la alta resistencia, esta aleación se usa principalmente en el sector

aeroespacial en engranajes, válvulas, alabes de turbinas y ejes. Diversas aleaciones como el *NIMONIC 90*, esta es una aleación compuesta por níquel (Ni), cromo (Cr) y cobalto (Co) reforzada con adiciones de titanio (Ti) y aluminio (Al). La aleación se ha desarrollado para que a través de tratamientos térmicos, como el de envejecido sea más resistente a la fluencia a 920 °C, esta aleación es utilizada en los alabes de turbina, discos, piezas forjadas, secciones de anillos y herramientas para trabajos en caliente. O como la aleación *HASTELLOY B*, que es una aleación resistente al agrietamiento por corrosión con esfuerzo, resistente altas temperaturas, se puede endurecer por precipitación. No es recomendable utilizar este material en presencia de sales férricas o cúpricas.

Un componente de aleación muy usado también es el acero aleado SAE 4130, el cual pertenece a la serie 4000 AISI, es un acero de baja aleación. Contiene molibdeno y cromo lo que le permite ser más resistente. El contenido de carbono es de 0.30% en peso, lo que le permite tener excelentes características de soldabilidad. Esta aleación puede ser endurecida por tratamiento térmico, es una aleación maquinable, los mejores resultados se obtienen en condición de normalizado, la dureza del acero aumenta con los tratamientos térmicos, por lo que su maquinabilidad resulta más difícil después del tratamiento térmico [2.13].

La pieza objeto del presente estudio fue extraída del avión SAAB 340, ver figura 2.1.

El componente conocido como aislador de vibraciones, motivo del presente estudio se muestra en la figura 2.2 donde se muestra la vista del componente. En este componente se realizaron tanto el análisis de esfuerzos simulados, así como análisis químicos y de tensión para identificar las aleaciones con las que fue fabricado cada uno de los componentes, así como identificar el proceso de fabricación implicado en cada caso.

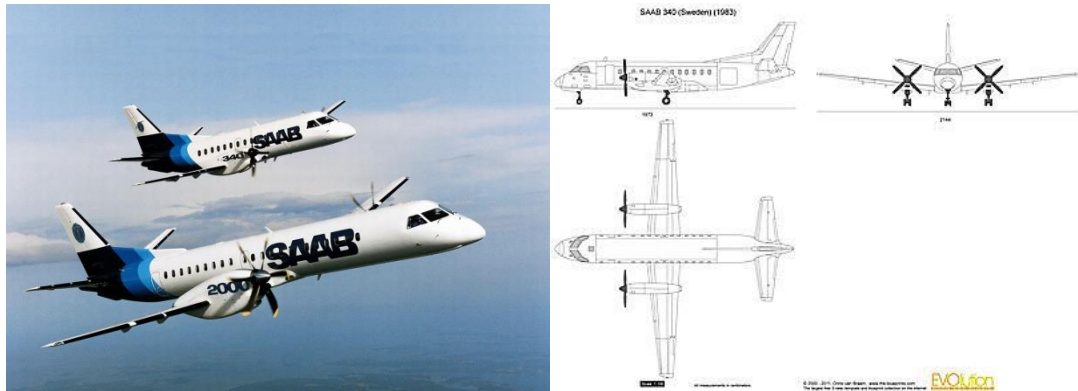


Figura 2.1. Avión Saab 340.



Figura 2.2. Componente objeto de estudio.

El componente bajo estudio corresponde con una pieza retirada de servicio, despues de cumplir con el tiempo preestablecido de trabajo (horas de vuelo). Periodo que una vez cumplido, la pieza es susituida para conservar los niveles de seguridad requeridos en el Saab 340. Despues de realizar una investigación exhaustiva y de realizar entrevistas con especialistas en el área aeronautica, se determinó que la pieza es un aislador de vibraciones (*VIBRATION ISOLATOR*) con un número de pieza de 9303147-008 [2.14] con un costo en el mercado de 3,500.00 €, vendida por la compañía AV SPARES (Ver anexo 1).

El avion Saab 340 usa un motor turbo propulsor General Electric CT7-9B [2.15] el cual se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3. Motor turbo-propulsor General Electric CT7-9B.

El cual genera unas revoluciones de 44700 rpm [2.16], el motor va sostenido principalmente mediante estrobos de metal a las alas del avión y por una flecha de neopreno con baquelita. Esta flecha de neopreno con baquelita va colocada principalmente para medir la vibración de los motores del avión mediante el dispositivo aislador de vibraciones, el avión lleva instalado uno en cada ala. Para este estudio se analiza el posicionado en la ala derecha del avión. La posición del motor derecho se observan en la figura 2.4.

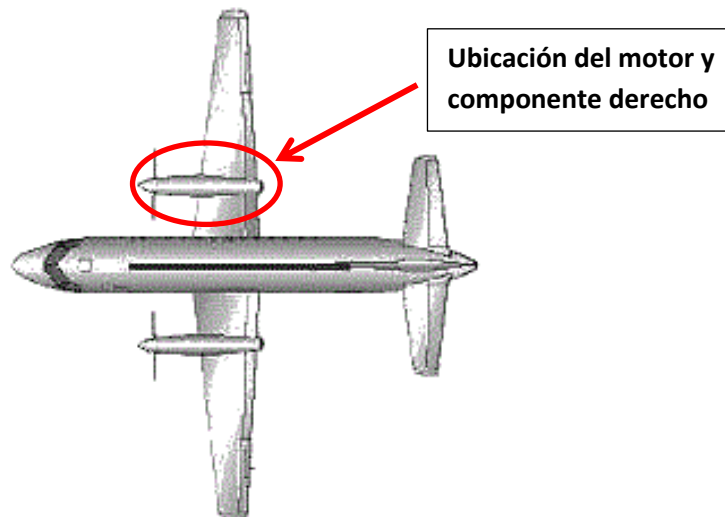


Figura 2.4. Ubicación de motor y componente aislador de vibraciones derecho.

En la figura 2.5 se muestra la imagen desnuda de los motores de vuelo del avión SAAB 340.

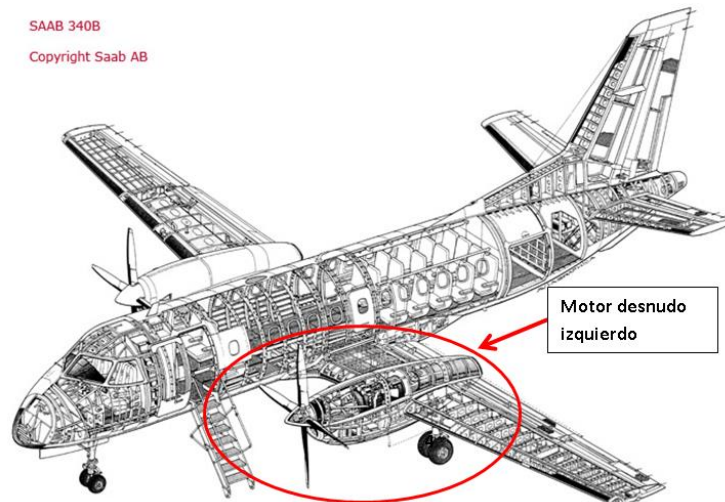


Figura 2.5. Visualización del motor desnudo izquierdo del avión Saab 340.

En la figura 2.6 se aprecian el lugar de la posición exacta del componente aislador de vibraciones, dentro de la carcasa que cubre al motor se encuentran estrobo y estructuras de metal que mantienen el motor unido a la ala del avión, pero también cuenta como se mencionó anteriormente con una flecha de neopreno con baquelita, esta flecha va colocada en la parte superior derecha del motor de la misma ala analizada.

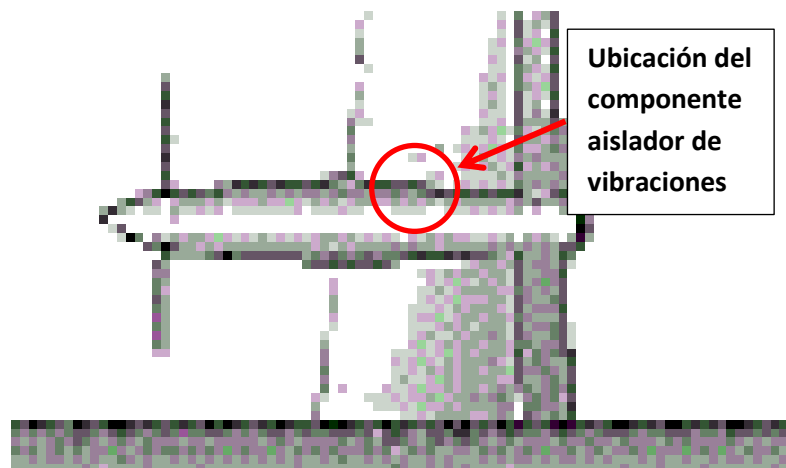


Figura 2.6. Ubicación del componente aislador de vibraciones derecho.

El motor cuenta con estructuras con seccionamientos circulares, como se muestra en la figura 2.7, en esos seccionamientos circulares se coloca el soporte en el cual va colocada la flecha de neopreno con baquelita. En la figura 2.8 se muestra una visualización isométrica concreta del posicionamiento de la pieza aisladora de vibraciones, colocada en conjunto con la flecha de neopreno con baquelita en una visualización clara de todo el sistema.



Figura 2.7. Visualización de seccionamientos circulares.

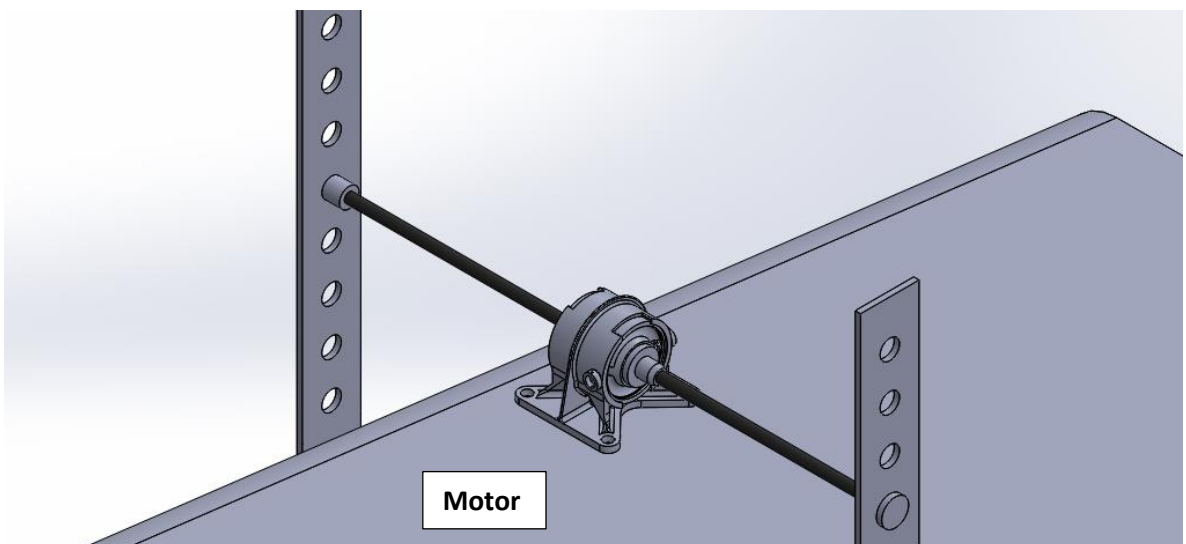


Figura 2.8. Visualización isométrica de todo el sistema aislador de vibraciones.

En la figura 2.9 se muestra una vista superficial y en la figura 2.10 se muestra una vista lateral del sistema.

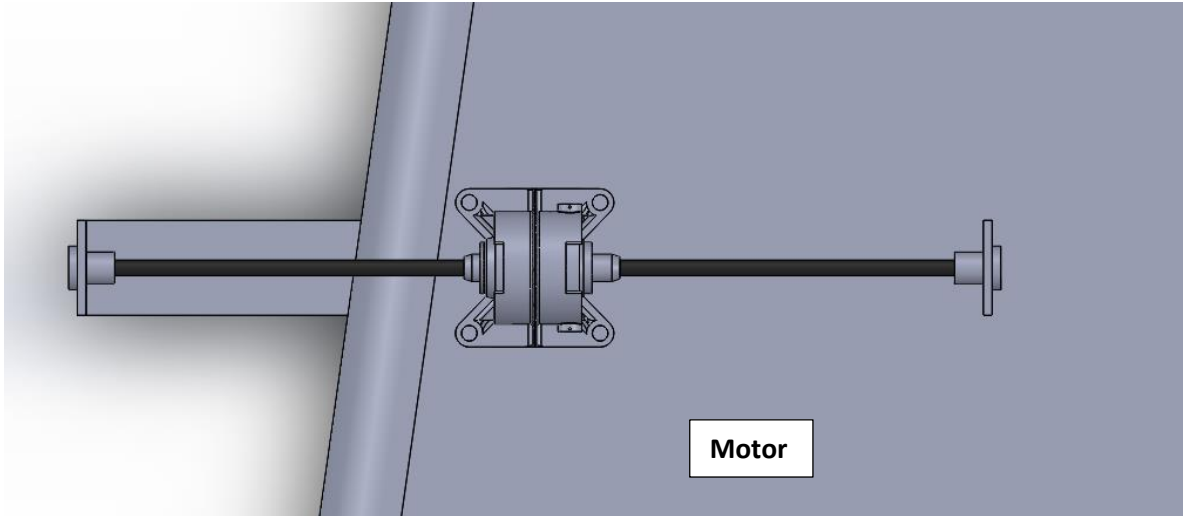


Figura 2.9. Vista superficial del sistema.

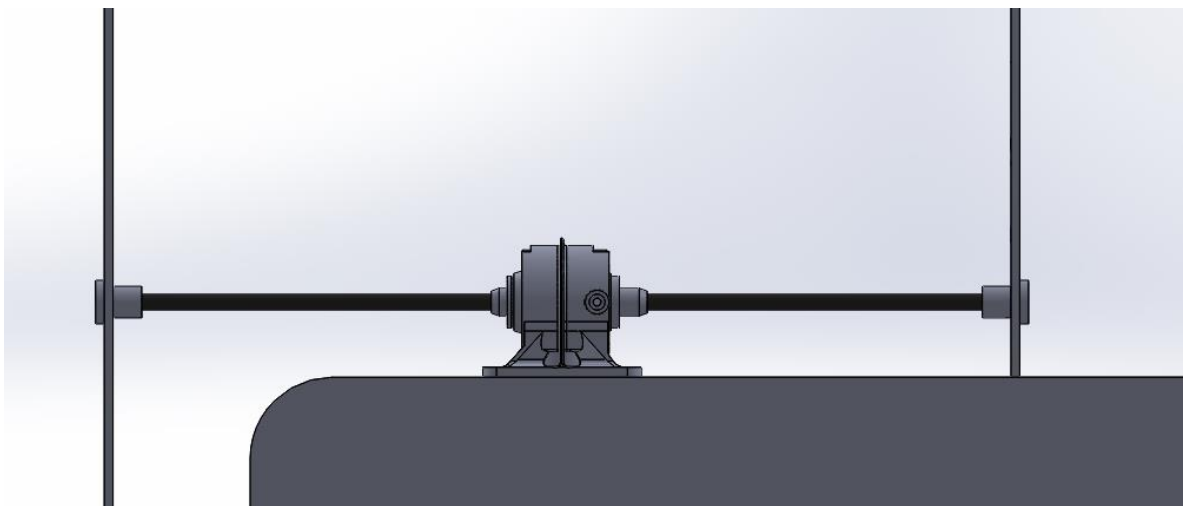


Figura 2.10. Vista lateral del sistema.

El componente aislador de vibraciones lleva consigo dos sensores de vibración, los cuales van colocados a un costado del componente como se muestra en una vista lateral en la figura 2.11.

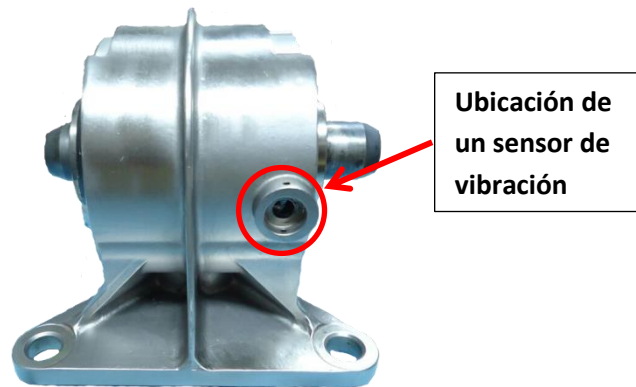


Figura 2.11. Vista lateral del lugar de posicionamiento de un sensor de vibración.

En la figura 2.12 se muestra el lugar de posicionamiento de los sensores de vibración visualizado en una vista superior.

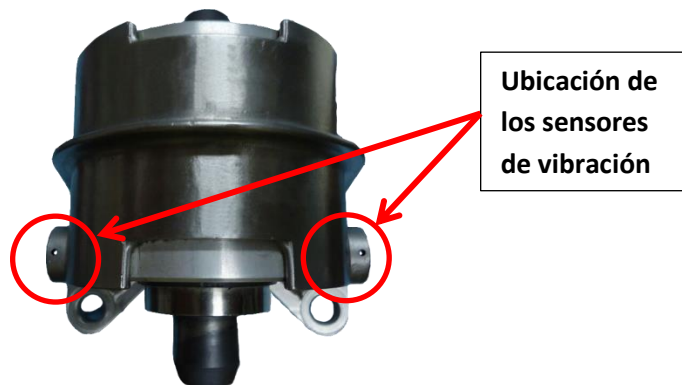


Figura 2.12. Vista superficial del lugar de posicionamiento de los sensores de vibración.

La vibración emitida por el motor tiene un rango permisible, dado a que si ese rango es rebasado o disminuido, el piloto tiene que dar la orden de realizar mantenimiento o un chequeo completo del motor para evitar futuras fallas que conlleven catástrofes y con ello el riesgo de pérdida de vidas humanas.

2.2 PROCESOS DE MECANIZADO DEL ACERO

Para la determinación del tipo de proceso de fabricación de las piezas del componente, se tienen que identificar los diferentes tipos de procesos de mecanizados del acero. La identificación se realiza mediante microscopía óptica y el análisis microestructural de cada uno de los componentes. Mediante esta técnica es posible identificar las características microestructurales de acuerdo a su tipo de mecanización/fabricación y así conocer el proceso de fabricación.

El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.

Acero laminado

Consiste en calentar previamente los lingotes de acero fundido a una temperatura que permita la deformación del lingote por un proceso de estiramiento y desbaste que se produce en una cadena de cilindros a presión llamado tren de laminación, este proceso puede realizarse en frío o caliente

Acero forjado

La forja es el proceso que modifica la forma de los metales por deformación plástica cuando se somete al acero a una presión o a una serie continuada de impactos, realizada típicamente en caliente.

Acero corrugado

El acero corrugado es una clase de acero laminado usado especialmente en construcción, para emplearlo en hormigón armado. Se trata de barras de acero que presentan resaltos o «corrugas» que mejoran la adherencia con el hormigón, mejor conocido como acero de refuerzo o más comúnmente, varillas de acero.

Estampado del acero

Consiste en un proceso de mecanizado sin arranque de viruta donde a la plancha de acero se la somete por medio de prensas adecuadas a procesos de embutición y estampación para la consecución de determinadas piezas metálicas.

Troquelado del acero

La troquelación del acero consiste en un proceso de mecanizado sin arranque de viruta donde se perforan todo tipo de agujeros en la plancha de acero por medio de prensas de impactos donde tienen colocados sus respectivos troqueles y matrices. [2.17].

2.3 PROCESO DE SOLDADURA

La soldadura de los aceros inoxidable se realiza con los mismos procedimientos y técnicas que en los aceros comunes, sin embargo, en general la soldadura del acero inoxidable requiere mayor control de la velocidad de enfriamiento debido a la posibilidad de generar problemas de sensitización de la microestructura (precipitación de carburos de Cr). En la Tabla 3.2 se listan algunos de los procedimientos de soldadura.

Tabla 2.1. Distintos tipos de soldadura para acero inoxidable.

TIPOS DE SOLDADURA
Soldadura por soplete de oxiacetilénico (soldadura autógena)
Soldadura eléctrica por arco
Soldadura por electrodo metálico revestido
Soldadura por arco en atmosfera gaseosa con electrodo fusible
Soldadura por arco en atmosfera gaseosa con electrodo de wolframio
Soldadura por arco sumergido
Soldadura por resistencia

2.3.1 SOLDADURA POR SOPLETE DE OXIACETILENO

Para esta soldadura existen dos tipos distintos de soldadura:

- 1.- Soldadura autógena sin aportación.
- 2.- Soldadura autógena con aportación.

Esta soldadura consiste en la fusión de las zonas a soldar por medio de un soplete alimentado por gas acetileno y oxígeno, en el segundo método solo se agrega un material de aporte del mismo tipo del material base. Este método de soldadura autógena se puede descartar como método usado para el proceso de fabricación de las soldaduras de la pieza 3 debido al tipo de acabado producido, siendo este con valles muy poco pronunciados e irregulares.

2.3.2 SOLDADURA ELÉCTRICA POR ARCO

Este es el procedimiento más empleado, ya que se obtienen soldaduras sanas y resistentes a la corrosión. La soldadura de los aceros inoxidable se hace normalmente con corriente continua conectando el electrodo al polo positivo del generador y las piezas, cuando son pequeñas, al polo negativo. De esta manera conseguimos concentrar el calor más en el electrodo que en las piezas.

Los procedimientos de soldadura por arco más empleados son:

- Con electrodo revestido.
- En atmósfera gaseosa con electrodo fusible.
- En atmósfera gaseosa con electrodo de wolframio.
- Por arco sumergido.
- Por resistencias.

En todos los casos el metal fundido está protegido de la oxidación atmosférica bien por un fundente, la escoria o un gas inerte.

2.3.3 SOLDADURA CON ELECTRODO REVESTIDO

Este tipo de soldadura consiste en fundir un electrodo revestido en una superficie con una intensidad de corriente y voltaje específico. El método de soldadura con electrodo revestido principalmente deja residuos de escoria a lo largo de su trayecto, además de ser poco eficiente, dado a que en procesos de optimización de tiempos en una línea de producción, el poder conseguir un arco eléctrico entre electrodo y material se torna complicado por la formación de escoria en la punta del electrodo lo cual impide el contacto inmediato entre electrodo revestido con material base, por lo cual se considera no usado en el proceso de fabricación

2.3.4 SOLDADURA POR ARCO EN ATMÓSFERA GASEOSA CON ELECTRODO FUSIBLE. *GAS METAL ARC WELDING (GMAW)*

En el proceso GMAW, se establece un arco entre un electrodo de alambre continuo (que se consume siempre) y el metal base. Bajo las condiciones correctas, el alambre se alimenta a una velocidad constante al arco, que coincide con la velocidad a la que el arco la funde. El metal de relleno es el alambre delgado que se alimenta automáticamente en la piscina donde se derrite. Dado que el metal fundido es sensible al oxígeno en el aire, se requiere un buen blindaje con gases libres de oxígeno. Este gas de protección proporciona un entorno inerte y estable para proteger la piscina de soldadura a medida que se solidifica. En consecuencia, GMAW es comúnmente conocida como soldadura MIG (metal inerte gas). Las soldaduras producidas son sólidas, libres de contaminantes y resistentes a la corrosión como el metal base. El material de relleno es usualmente la misma composición (o aleación) que el metal base.

El método de GMAW es extremadamente rápido y económico. Este proceso se utiliza fácilmente para la soldadura en metal de calibre delgado así como en placa pesada. Es más comúnmente realizado en acero (y sus aleaciones), aluminio y magnesio, pero puede ser utilizado con otros metales también. También requiere un nivel más bajo de habilidad del operador que los otros dos métodos de soldadura de arco eléctrico discutidos en estas notas. La alta velocidad de soldadura y la reducción de la soldadura posterior a la soldadura hacen que el GMAW sea el proceso de soldadura de mayor crecimiento, Este método también se conoce como soldadura de metal con atmosfera de gas inerte (MIG, por sus siglas en inglés, *Metal Inert Gas*) o micro-alambre [2.18]. El método de MIG es muy usado dado a su rapidez, economía y su fácil manejo y dado a que no produce escoria y por ello se puede concluir que fue usado en proceso de producción del componente.

2.3.5 SOLDADURA POR ARCO EN ATMÓSFERA GASEOSA CON ELECTRODO TUNGSTENO (*GAS TUNGSTEN ARC WELDING*, GTAW)

En el proceso GTAW, se establece un arco entre un electrodo de tungsteno y el (los) metal (es) base. Bajo las condiciones correctas, el electrodo no se funde, aunque el trabajo lo hace en el punto donde el arco entra en contacto y produce una piscina de soldadura. El metal de relleno es el alambre que se alimenta manualmente en la piscina donde se derrite. Dado que el tungsteno es sensible al oxígeno en el aire, se requiere un buen blindaje con gas libre de oxígeno. El mismo gas inerte proporciona un entorno inerte y estable para proteger la piscina de soldadura a medida que se solidifica. Por lo tanto, GTAW es comúnmente conocido como soldadura TIG (gas inerte de tungsteno).

Debido a que los flujos no se utilizan, como es el caso del método SMAW, las soldaduras producidas son sólidas, libres de contaminantes y escorias, y resistentes a la corrosión como el metal original. Este proceso al igual que el MIG no deja residuos a lo largo de la soldadura, pero no es un proceso rápido, dado a que hay que agregar el fundente conforme se vaya soldando en la superficie y para proceso producido a gran producción resultaría lento y por ello ineficiente, y es por ello que se concluye que no fue un proceso de fabricación del componente de la presente tesis.

2.3.6 SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO

El arco eléctrico es generado entre un electrodo y la pieza de trabajo este está sumergido en una capa de fundente granulado que lo cubre totalmente protegiendo el metal depositado durante la soldadura. De aquí el nombre del proceso. Una ventaja del proceso es que, estando el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas sin chisporroteo o arrastre de aire. Las intensidades elevadas producen una penetración profunda y el proceso es térmicamente eficiente, puesto que la mayor parte del arco está bajo la superficie de la plancha.

El proceso de arco eléctrico sumergido es muy costoso, lento y de difícil manipulación, dado a que para un proceso de soldadura de corto alcance en piezas muy pequeñas, para ser utilizado en la pieza de estudio de la presente tesis el proceso fuese muy caro, lento y de difícil manipulación es por ello que se concluye que este proceso no fue utilizado para su soldadura [2.19].

2.3.7 SOLDADURA POR RESISTENCIA

La soldadura por resistencia es un proceso termoeléctrico en el que se genera calor, mediante el paso de una corriente eléctrica a través de las piezas, en la zona de unión de las partes que se desea unir durante un tiempo controlado con precisión y bajo una presión controlada (también llamada fuerza). El término "soldadura por resistencia" se deriva del hecho de que la resistencia de las piezas y los electrodos se utiliza en combinación o en contra para generar calor en su unión [2.20].

El proceso de soldadura por resistencia no funciona por medio de aporte fundente, dado a que consiste en la unión de dos piezas de metal por medio de calor controlado, el estudio de la soldadura da índices de que el proceso utilizo un tipo de fundente y dado a eso se concluye de que este proceso no fue utilizado en el proceso de fabricación.

2.4 INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE).

En la figura 2.13, 2.14 y 2.15, se muestra tres diferentes vistas del componente objeto de estudio, las cuales se presentan a continuación.

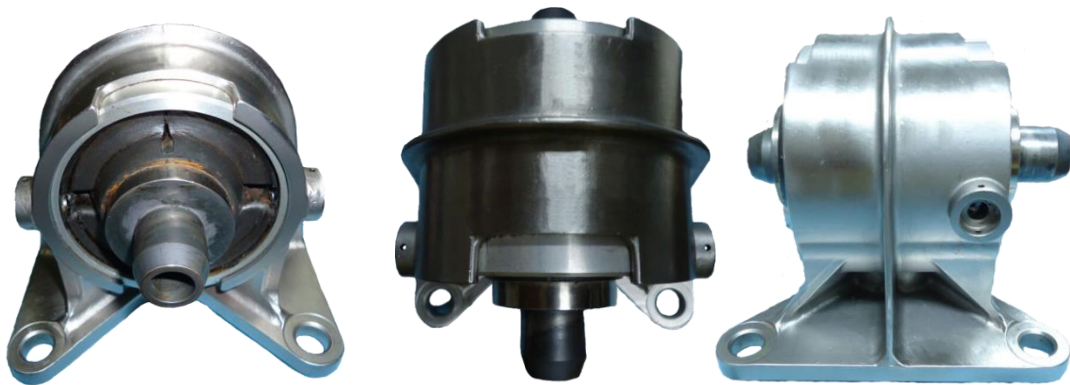


Figura 2.13. Vista frontal. Figura 2.14. Vista superior. Figura 2.15. Vista lateral.

Mediante el programa *SolidWorks* (programa de diseño CAD), se procedió a la construcción del modelo digital del componente a escala real, construyendo las siete piezas por separado para posteriormente realizar un ensamblaje como el que se muestra en la figura 2.16.

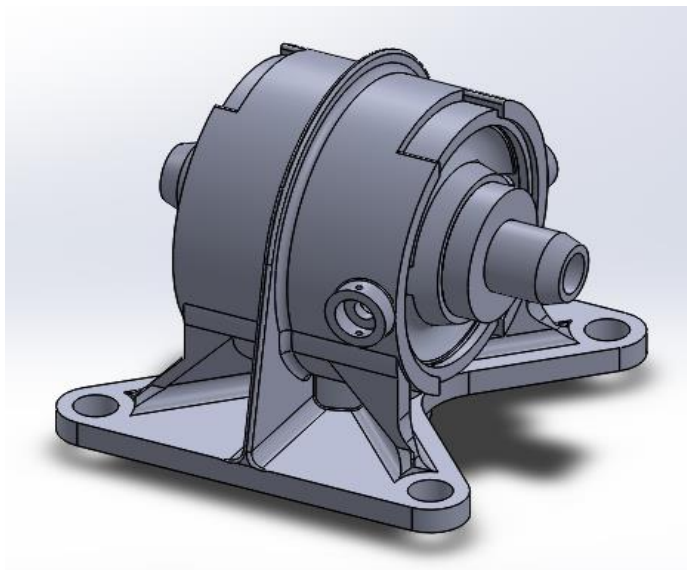


Figura 2.16. Visualización de ensamblaje del componente con todas las piezas.

Se realizó el análisis de la estructura mediante el programa ANSYS *Workbench*. Ansys es un sistema de programas CAE para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos FEA, incluye las fases de preparación de *meshing* ó malleo, ejecución y post proceso, el programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos generados por las condiciones usadas en ingeniería y diseño mecánico. Puede resolver problemas físicos generados por esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas.

ANSYS *Workbench* es una plataforma de software desde donde se crean los proyectos de análisis CAE en diferentes disciplinas, *Workbench* despliega gráficamente el intento de la simulación en ingeniería y se establecen las relaciones entre fenómenos físicos y sus módulos incluyendo multi-física. La plataforma ANSYS *Workbench* incluye software y componentes para diferentes fenómenos físicos [2.21].

CAPITULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

3.1 PROCESO DE CORTE DEL COMPONENTE Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA PRUEBAS POSTERIORES.

Para realizar todos los estudios, tanto estudio químico, EDX, microscopia óptica, microscopia electrónica de barrido, durezas y pruebas mecánicas, se procedió al desmantelamiento del mismo con la obtención de muestras y polvos de cada una de ellas.

En la figura 3.1 se muestra el proceso de corte de los materiales, los cuales se realizaron por corte de segueta y por corte cierra cinta la cual es una máquina de marca: LWSA, con modelo: PF-1390DP. En la figura 3.2, 3.3 y 3.4 se muestran diferentes piezas cortadas y el número de pieza designado arbitrariamente siguiendo un orden para cada una de ellas de acuerdo a como fueron desmantelados.



Figura 3.1. Cierra cinta.



Figura 3.2. Corte de PIEZA 4 y PIEZA 5



Figura 3.3. Corte de PIEZA 3



Figura 3.4. Corte de PIEZA 2

3.2 ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROSCOPIA POR MEB

Para el proceso de recolección de rebabas se utilizó el proceso de corte por arco de segueta, para no tener contaminación en el proceso de recolección del rebabeo, se utilizaron herramientas de corte que no contaminen, las herramientas deben estar libres de pintura, grasa, partículas que pudieran desprenderse en corte. Así se recolectaron muestras y rebabas de todas las piezas del componente, por ejemplo, en la figura 3.5 se muestran 3 muestras de material de la pieza 2 para su posterior preparación, y en la figura 3.6 se muestran rebabas de material recolectado almacenadas en bolsas para su posterior uso.

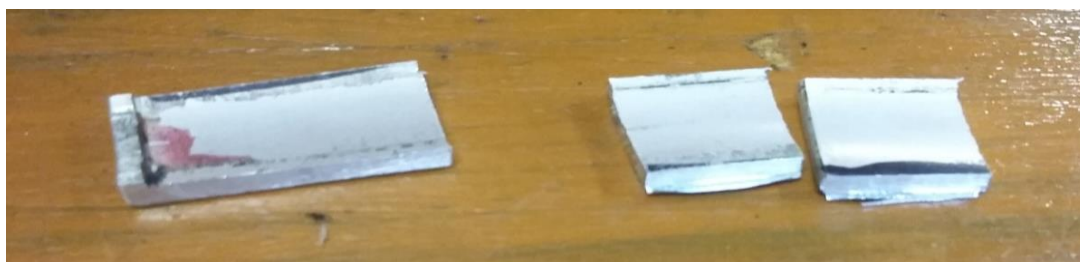


Figura 3.5. Material de PIEZA 2 cortado para su posterior uso.



Figura 3.6. Rebabas de los diferentes materiales almacenados en bolsas para su posterior análisis químico por absorción atómica.

El Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características. Con él se pueden realizar estudios de los aspectos morfológicos de zonas microscópicas de los distintos materiales [3.1].

Se tomó de los tres tipos de vistas analizados por microscopia óptica la muestra superficial por cada componente del aislador de vibraciones, dado a que la vista superficial muestra con mayor claridad la distinta morfología de cada una, y con ello se sometió al análisis MEB, analizando sus elementos constituyentes de cada muestra.

3.3. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO (MEB) CON ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA POR RAYOS X (EDX)

El microscopio electrónico de barrido, conocido por sus siglas en inglés SEM (scanning electron microscope), utiliza un haz de electrones en lugar de luz

para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento, típicamente de W) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra. Diferentes detectores recogen la señal de los electrones generados por la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen (SEI, *secondary electron image*) que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes [3.2].

Las diferentes interacciones y/o señales generadas por el haz de electrones sobre la superficie de una muestra se pueden apreciar en la imagen 3.7. Cada una de las señales emitidas como resultado de la interacción del haz primario de electrones sobre la superficie de cualquier material es empleada para generar una técnica de análisis específica. Las dos técnicas más empleadas son en la generación de imágenes, en dos modalidades. Imagen de electrones secundarios y de electrones retrodispersados. Cada una de estas modalidades tiene su ventaja y su sensor ad hoc para la señal. En el caso de los rayos X emitidos, es posible analizarlos mediante dos técnicas: por energía y por longitud de onda.

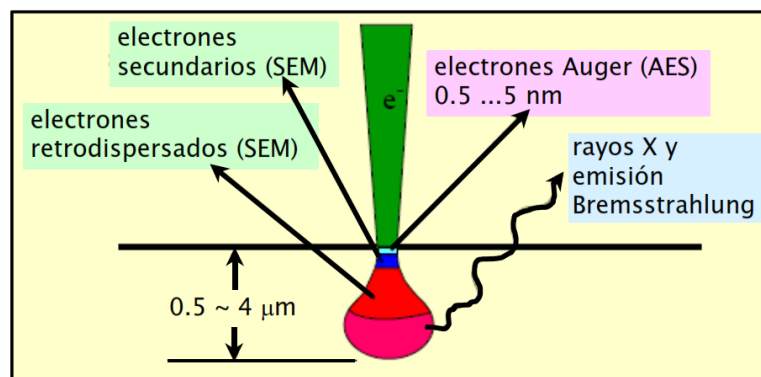


Figura 3.7. Emisión de electrones por parte del microscopio electrónico de barrido.

El análisis de Rayos X de Dispersión de Energía (EDX), denominado EDS o EDAX, es una técnica de rayos X usada para identificar la composición elemental de materiales, basada en el análisis espectral de la distribución de energía de los rayos X emitidos. Las aplicaciones incluyen investigación de materiales y productos de corrosión, solución de problemas, formulación y más.

Los sistemas EDX son accesorios para instrumentos de microscopía electrónica de Barrido (MEB) o Microscopía Electrónica de Transmisión (MET) donde la capacidad de formación de imágenes del microscopio identifica la muestra de interés. Los datos generados por el análisis EDX consisten en espectros que muestran picos correspondientes a los elementos que constituyen la verdadera composición de la muestra que se analiza. También es posible el mapeo elemental de una muestra y el análisis de imágenes [3.3].

Las rebabas de los diferentes materiales del aislador de vibraciones se analizaron por medio de EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) espectroscopia de rayos X de energía dispersa, para determinar los distintos tipos de elementos constituyentes de cada uno de los componentes. En la figura 3.8 se muestra el microscopio electrónico de barrido con marca JEOL con modelo JSM-5900LV el cual se utilizó para obtener dichos resultados.

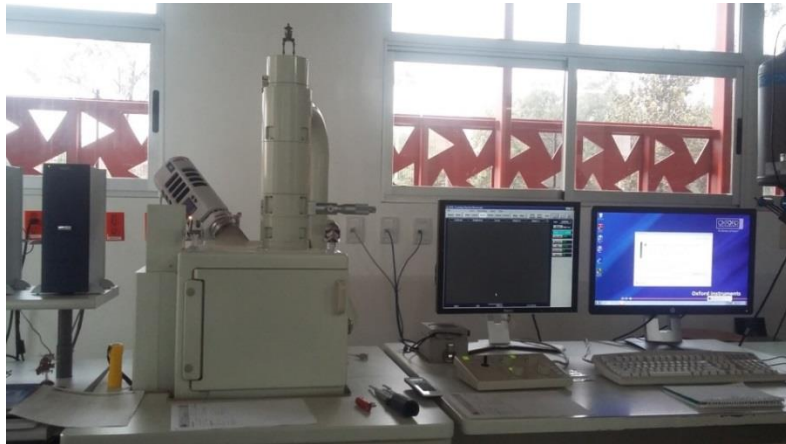


Figura 3.8. Microscopio Electrónico de Barrido, Marca: JEOL, Modelo: JSM-5900LV.

3.4. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

El espectrómetro de absorción atómica es muy útil para determinar con exactitud el contenido específico de cada elemento en una muestra ya sea sólida o líquida

Para su uso se basa en el átomo, el átomo consiste de un núcleo y de un número determinado de electrones que llenan ciertos niveles cuánticos. La configuración electrónica más estable de un átomo corresponde a la de menor contenido energético conocido como “estado fundamental”.

Si un átomo que se encuentra en un estado fundamental absorbe una determinada energía, éste experimenta una transición hacia un estado particular de mayor energía. Como este estado es inestable, el átomo regresa a su configuración inicial, emitiendo una radiación de una determinada frecuencia.

Según la teoría atómica, el átomo puede alcanzar diferentes estados (E_1 , E_2 , E_3 , ...) y de cada uno de ellos emitir una radiación (λ_1 , λ_2 , λ_3 , ...)

característica, obteniéndose así un espectro atómico, caracterizado por presentar un gran número de líneas discretas. En absorción atómica es relevante solamente aquella longitud de onda correspondiente a una transición entre el estado fundamental de un átomo y el primer estado excitado y se conoce como longitud de onda de resonancia.

De la ecuación de Planck, se tiene que un átomo podrá absorber solamente radiación de una longitud de onda (frecuencia) específica. En absorción atómica interesa medir la absorción de esta radiación de resonancia al hacerla pasar a través de una población de átomos libres en estado fundamental. Estos absorberán parte de la radiación en forma proporcional a su concentración atómica.

La relación entre absorción y concentración se encuentra definida en la Ley de Lambert-Beer.

Como la trayectoria de la radiación permanece constante y el coeficiente de absorción es característico para cada elemento, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes [3.4].

El análisis por absorción atómica se realizó en un equipo de absorción atómica marca: PERKIN ELMER, modelo: 3100. En la figura 3.9 se puede apreciar el equipo.



Figura 3.9. Fotografía de equipo de espectroscopia atómica.

3.5 ANÁLISIS MECÁNICO

3.5.1 PRUEBA DE TENSIÓN

La prueba o ensayo de tensión es popular dado que las propiedades obtenidas pueden aplicarse al diseño de distintos componentes. Dicha prueba mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada de manera lenta. Las rapidezces de deformación en una prueba de tensión por lo regular son pequeñas [3.5]. La prueba de tensión se realizó bajo la norma ASTM E8 [3.6], en la cual requiere estipular el espécimen a emplear, en el presente estudio se emplearon las dimensiones indicadas en la figura 3.10, se explica su nomenclatura en la tabla 3.1.

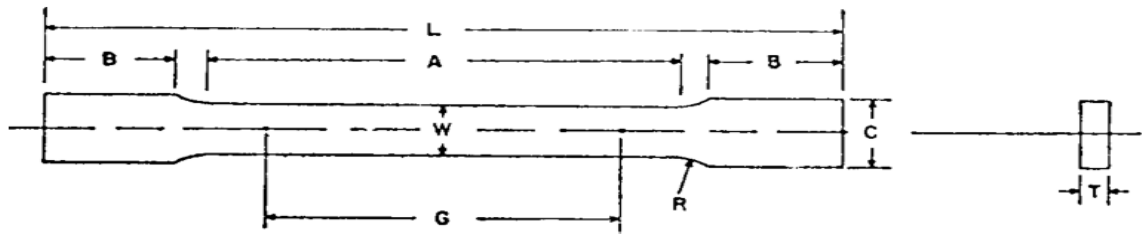


Figura 3.10. Vista de las características de una probeta de tensión según la norma ASTM E8.

Tabla 3.1. Características de los especímenes para pruebas de tensión.

SIGLA	SIGNIFICADO	Muestras "subsize" (mm)
L	Longitud total	100
G	Longitud calibrada	25 ± 0.1
W	Anchura	6 ± 0.1
T	Espesor	Espesor del material
R	Radio de corte	6
A	Longitud de la sección reducida	32
B	Longitud de la sección de agarre	30
C	Ancho de la sección de agarre	10

En la Figura 3.11 se muestra el equipo utilizado para las pruebas de tensión de marca INSTRON modelo 2506.



Figura 3.11. Vista frontal de equipo de tensión

3.5.2 DUREZA ROCKWELL.

La prueba de dureza Rockwell dado es un método práctico y conciso para determinar la dureza de un material para ser penetrado. La prueba de dureza Rockwell emplea diferentes tipos de indentadores con una carga aplicada específica y con ellos en combinación genera diferentes escalas Rockwell. La selección de una escala específica depende de la dureza del material a evaluar [3.7], ver anexo 2.

De las posibles escalas, la que más se utilizó fue la escala “E”, dado a que está diseñada especialmente para fundiciones, aleaciones de aluminio y magnesio y aleaciones antifricción. Dado que las piezas del componente analizado tiene como principales materiales, aleaciones base aluminio, y esta

escala con el peso y el indentador adecuado, proporciona una medida ideal de la dureza Rockwell E.

3.5.3 DUREZA ROCKWELL DE PLÁSTICOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS DE AISLAMIENTO

Para evaluar las propiedades mecánicas del polímero del amortiguador de vibraciones, se aplicó la prueba de dureza Rockwell al material polimérico, la cual fue regida por la norma ASTM D785-08 (2015) [3.8]. En el anexo 3 se muestran las diferentes escalas Rockwell que se pueden utilizar para materiales plásticos:

La norma arriba mencionada designa las escalas empleadas en la medición de la dureza Rockwell de plásticos y materiales eléctricos de aislamiento, estipula especímenes de dimensiones con:

Espesor mínimo: 6 mm (1/4 in)

Superficie: 1 in².

En la Figura 3.12 se muestra el equipo utilizado para las pruebas de dureza Rockwell, marca BUEHLER modelo 1800-5002.



Figura 3.12. Vista frontal de equipo de dureza Rockwell

3.5.4 MICRO-DUREZA VICKERS:

La dureza es una característica de un material, no una propiedad física fundamental. Se define como la resistencia a la indentación, y se determina midiendo la profundidad permanente de la indentación. Más sencillamente, cuando se usa una fuerza fija (carga) y un indentador dado, cuanta más pequeña es la indentación, más duro es el material.

El valor de dureza de la indentación se obtiene midiendo la profundidad o el área de la indentación. [3.9].

La prueba de micro-dureza Vickers se hace bajo la norma ASTM E384 [3.10].

Se obtiene del cociente de la carga aplicada por la superficie de la impronta. Durante las mediciones estandarizadas de dureza Vickers se hace penetrar un indentador de diamante en forma de pirámide de cuatro caras (figura 3.39) con un ángulo determinado en el vértice. La utilización de una pirámide de diamante tiene las siguientes ventajas: 1) las improntas resultan bien perfiladas, cómodas para la medición; 2) la forma de las improntas es geoméricamente semejante (figura 3.13 y 3.14), por lo cual la dureza para un mismo material es constante, independientemente de la magnitud de la carga; 3) la dureza con la pirámide coincide con la dureza Brinell para los materiales de dureza media; 4) este método es aplicable con igual éxito para los materiales blandos y duros, y sobre todo para los ensayos de probetas delgadas y las capas superficiales.

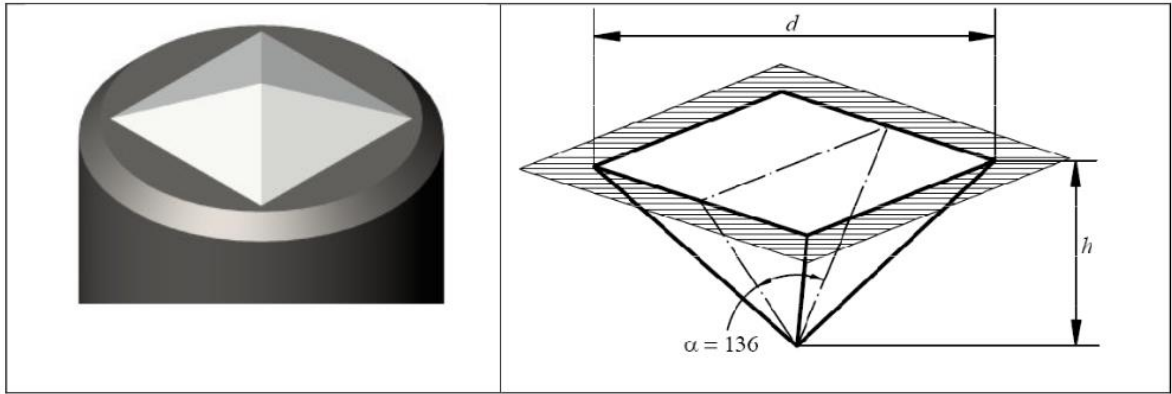


Figura 3.13. Indentador piramidal Vickers.

Figura 3.14. Impronta piramidal de dureza.

Para el cálculo de la Micro-Dureza Vickers (HV) se utiliza la fórmula:

$$HV = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

Donde P es la fuerza aplicada y “d” es la promedio de las diagonales formada [3.11].

En la Figura 3.15 se muestra el equipo utilizado para las pruebas de micro-dureza con marca SHIMADZU modelo HMV-2 ASSY.

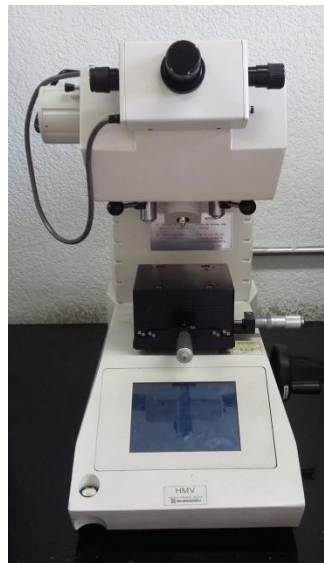


Figura 3.15. Vista frontal de equipo de micro-dureza Vickers

3.6 MICROSCOPIA ÓPTICA

La microscopía es un área de trabajo multidisciplinario y por tanto aplicable a muchos tipos de muestras y procesos. Aunque su desarrollo principal e histórico fue motivado por su aplicación a la biología, hoy día se puede utilizar en una infinidad de áreas, y particularmente para el estudio de materiales y películas delgadas. La información que se obtiene es muy variada. Nos permite, por ejemplo, relacionar la forma de un material u objeto con sus propiedades y estructura interna, así como deducir procesos de formación y crecimiento, o inferir información sobre la homogeneidad de la muestra en estudio.

Se debe considerar que cuando se observa una imagen microscópica de una muestra cómo se ha generado, es decir, el tipo de microscopio del que proviene y por tanto la técnica de observación con la que se formó la imagen. Una imagen muestra cambios locales que vemos representados mediante variaciones en una escala de colores o grises. Esto es lo que llamamos contraste. La información sobre la forma del objeto se transmite a la partícula incidente y debe de ser 'descifrada' por el detector. El contraste en una imagen, es decir, la diferencia de brillo o intensidad entre la señal que obtenemos de un objeto respecto al medio que le rodea, viene dada por el proceso de interacción. Por tanto, para entender una imagen microscópica debemos tener en cuenta que lo que vemos no es el objeto propiamente dicho, sino como responde el objeto a la interacción con la sonda, en este caso la luz visible. Así, para poder comprender lo que estamos viendo debemos comprender cuáles son los procesos que tienen lugar para la formación de la imagen.

Los microscopios de tipo óptico se basan en la ampliación de la imagen de un objeto mediante el uso de lentes convergentes. Este es el tipo de microscopio más antiguo y más utilizado. La sonda en estos microscopios es la radiación en la región de luz visible, con esta se ilumina la muestra que queremos estudiar. Poseen una óptica doble (objetivo y ocular), a diferencia de las lupas, que presentan una sola lente [3.12].

Para el análisis en microscopio óptico se utilizó el microscopio Olympus PMG3, el cual se muestra en la figura 3.16, este se encuentra equipado con una cámara Tucsen IS500 de 5 Mpixeles.



Figura 3.16. Microscopio óptico Olympus PMG3.

Para los posteriores análisis metalográficos, primero se prepararon las muestras, y para ello, para cada pieza constituyente del componente se requieren tres muestras cortadas en tamaño mínimo de 1x1 cm, posterior a eso se encapsularon con resina cuidando el orden de cada una, dado a que cada muestra de cada pieza se analizó transversal (radial), longitudinal y superficialmente como se muestra en la figura 3.17.

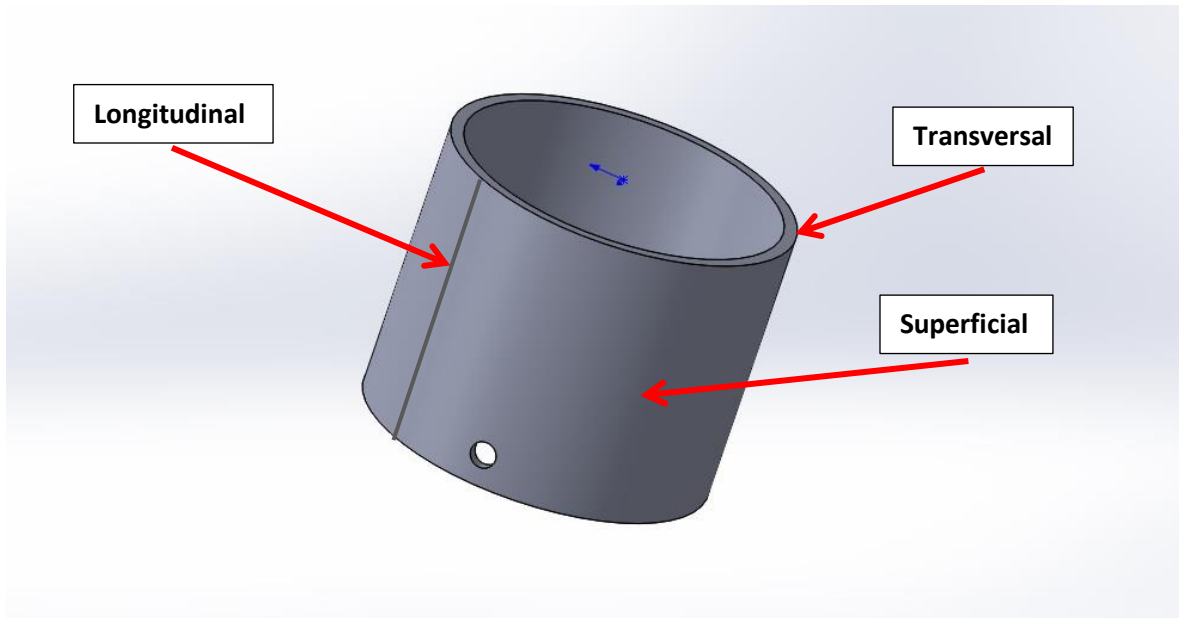


Figura 3.17. Visualización real de las 3 vistas analizadas en el material.

Después del secado de la resina, se procedió al lijado de la superficie de cada una con una lija de tamaño de grano de 120, hasta llegar a una lija de tamaño de grano de 1500. Posterior a este último proceso por medio de una máquina pulidora se procedió a dar el acabado final a las muestras por medio de paño, oxido de aluminio (Al_2O) llamado comúnmente Alúmina a tamaño de grano de 0.3 micras y agua corriente (H_2O). La alúmina en un contenedor se mezcla con el agua formando una pasta, esta es vertida paulatinamente sobre el paño que gira a una velocidad controlada de aproximadamente 1 rev/seg mientras que la muestra con la superficie a pulir se sostiene y se acerca al paño para generar el pulido a espejo. En la figura 3.18 se observan las muestras pulidas de la pieza 4 las cuales se pulieron mediante el proceso anteriormente mencionado.

TRANSVERSAL

LONGITUDINAL

SUPERFICIAL



Figura 3.18. Vista de las tres vistas de análisis por cada pieza.

Para el posterior uso de microscopios en general, las superficies deben estar perfectamente limpias libres de impurezas como polvo, grasa y materiales externos, con ello para poder observar una superficie lo más clara posible. Pero en la observación solo se ven estructuras simples y homogéneas, no se alcanzan a distinguir los distintos cambios de fase de las cuales está constituida la misma, para ello se utiliza un agente revelador que permita visualizar estas superficies distinguiendo heterogeneidades como fases distintas.

De acuerdo a los porcentajes de elementos distintos que está constituida la pieza se procede al uso del agente revelador, de acuerdo a los análisis químicos obtenidos por absorción atómica y por EDX, el reactivo seleccionado fue el conocido como reactivo Keller (2 mL HF(48%). 3 ml HCl (conc), 5 ml HNO₃ (conc), 190 ml H₂O).

Con este reactivo se revelaron para cada muestra una parte de cada superficie, y con ello su posterior observación en los diferentes microscopios utilizados. Se analizan las superficies con y sin ataque, dado a que las superficies sin ataque solo representan morfologías aparentemente homogéneas, pero cuando se someten a un proceso de revelado químico la morfología homogénea tiende a cambiar mostrando múltiples heterogeneidades de las fases constituyentes de la superficie.

Todo este procedimiento se realizó con el objetivo de determinar procesos de fabricación de cada una de las piezas constituyentes del componente. Por medio de rastros de procesos de fabricación en las superficies de sus diferentes vistas.

3.7 PLATAFORMA CAD EN PROGRAMA SOLIDWORKS

El diseño por CAD es un procedimiento que permite construir diseños virtuales de múltiples magnitudes, los cuales pueden ser utilizados posteriormente en diversas aplicaciones.

El programa *SolidWorks* es una plataforma de diseño en la cual se pueden crear distintas piezas con múltiples formas, medidas y tamaños. La figura 3.19 muestra esta plataforma.

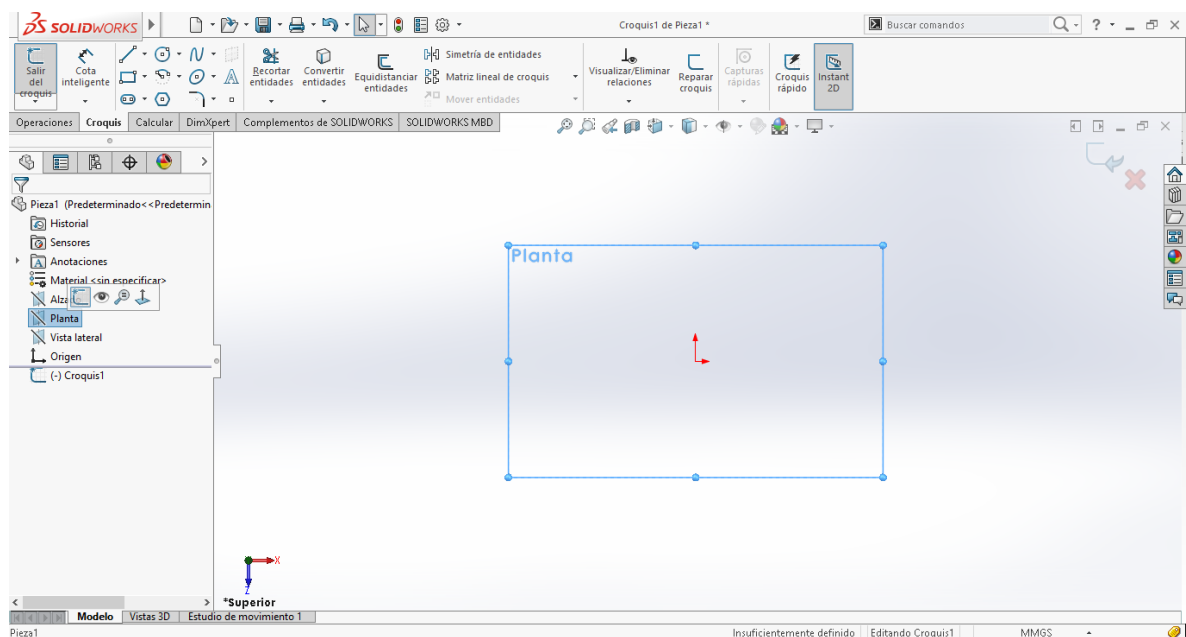


Figura 3.19. Plataforma de diseño SolidWorks.

En la plataforma de diseño SolidWorks, la cual se muestra en la figura 3.19, se construyeron todas las piezas del componente.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSA EDX (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)

En la tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las rebabas constituyentes del componente, las piezas que se describen en los resultados fueron asignados aleatoriamente y usado para su fin en específico.

Tabla 4.1. Resultados de Espectroscopia de rayos x de energía dispersiva EDX.

RESULTADOS DE ESPECTROSCOPIA DE RAYOS X DE ENERGÍA DISPERSIVA EDX					
ELEMENTO	PIEZA 1	PIEZA 2	PIEZA 3	PIEZA 4	PIEZA 5
Mg	1.13	0.96		1.25	
Al	93.67	93.07		92.76	0.2
Mn	0.7	0.72	0.84	0.73	3.22
Cu	4.5	3.85	2.3	3.78	
Fe		0.42	75.09		70.96
Ag		0.98		1.1	
Si			0.8	0.38	0.33
Cr			16.86		19.3
Ni			4.11		5.73
S					0.26
TOTAL	100	100	100	100	100

El análisis de espectroscopia de rayos X de energía dispersiva EDX es un análisis usado para dar resultados aproximados a la realidad, de acuerdo al uso, dado a que es un proceso semi-cuantitativo de acuerdo a los procesos físicos que lleva a cabo.

Este proceso se llevó a cabo debido a la oportunidad de disponibilidad de acceso, dado a que con este análisis nos dimos idea de los diferentes elementos aproximados que está constituido.

4.2 RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA

En la tabla 4.2 se muestran los resultados obtenidos de cada una de las piezas constituyentes del componente.

Tabla 4.2. Resultados de Espectroscopia de absorción atómica

RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA					
ELEMENTO	PIEZA 1 wt%	PIEZA 2 wt%	PIEZA 3 wt%	PIEZA 4 wt%	PIEZA 5 wt%
Mg	1.367	1.406		1.53	
Al	93.112	92.437	0.378	92.096	0.297
Mn	0.68	0.84	0.685	0.66	2.056
Cu	4.08	4.898		5.091	
Fe	0.358	0.218	75.028	0.406	67.948
Ag	0.03	0.013		0.01	
Si	0.373	0.188	1.522	0.207	0.822
Cr			17.37		19.28
Ni			5.017		9.597
TOTAL	100	100	100	100	100

El análisis de Absorción atómica es un análisis certero de los diferentes contenidos de elementos de cada uno de las piezas, dado a que es un proceso cuantitativo, se tiene la confianza de poder asegurar los diferentes contenidos de los elementos para cada uno de las piezas, de acuerdo al proceso físico en el cual maneja el análisis.

Se llevó a cabo este análisis debido a que es un proceso certero y muy confiable.

De acuerdo a los resultados obtenidos de espectroscopia por absorción atómica, las diferentes aleaciones usadas en la construcción de estas piezas constituyentes del componente se buscaron y se encontraron patentadas específicamente en el uso de materiales aeronáuticos, los cuales se enlistan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Nominación de diferentes aceros encontrados en la literatura [4.1],

PIEZA DEL COMPONENTE	NOMINACIÓN DEL MATERIAL
PIEZA 1	2024
PIEZA 2	2024
PIEZA 3	ACERO ESTRUCTURAL
PIEZA 4	2024
PIEZA 5 Y 6	304L

De las aleaciones encontradas, el material que no fue posible determinar de acuerdo a las diferentes contenidos de aleaciones conformadas, fue el material de pieza 3 que podemos decir que es parte de un acero especial patentado no público.

4.3 PRUEBAS MECÁNICAS

4.3.1 RESULTADOS PRUEBA DE TENSIÓN

Se utilizó el de tensión de Marca INSTRON modelo 2506 mostrado anteriormente en la figura 3.11. Se realizaron pruebas de tensión. Se obtuvieron dos probetas para las pruebas de tensión del material base principal (PIEZA 3) y se realizó el pulido a espejo de una de las muestras para el análisis de trazas de deformación superficial, como se puede apreciar en la figura 4.1.



Figura 4.1. Vista superior de dos probetas para tensión.

La prueba se llevó a cabo con parámetros definidos de velocidad de avance de $0.5 \frac{mm}{Min}$ y con una velocidad de deformación de $3.3 \times 10^{-4} \frac{mm}{mm \cdot Seg}$.

Las curvas de esfuerzo-deformación se muestran en la figura 4.2 y en la tabla 4.4 se muestran las propiedades mecánicas de este material.

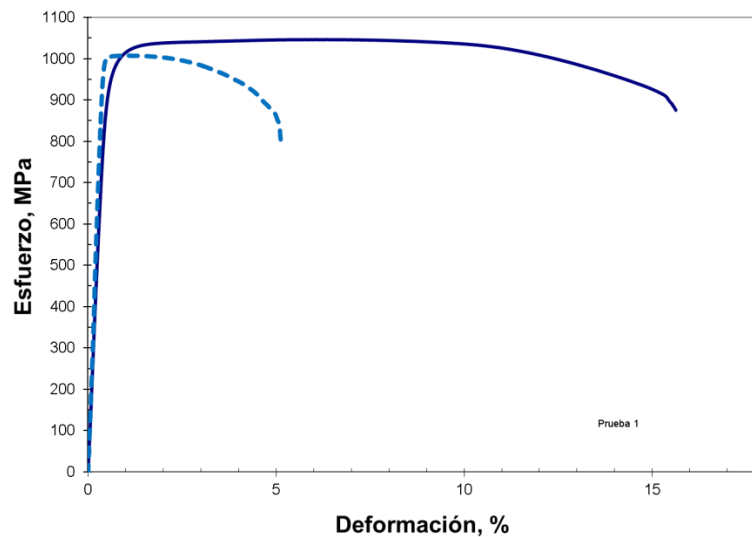


Figura 4.2. Grafica esfuerzo-deformación, resultado de las pruebas de tensión.

Tabla 4.4. Propiedades mecánicas obtenidas de las pruebas de tensión.

Prueba	UTS (MPa)	E (GPa)	σ_y (MPa)	$\sigma_{fractura}$ (MPa)	Deformación (%)	Reducción de área, (%)
LINEA CONTINUA	1046	201	965	884	15.6	39.3
LINEA DISCONTINUA	1007	187	948	806	6.5	41.7

Entre la línea continua y la discontinua, la mayor diferencia corresponde con la deformación máxima del material base. La discrepancia se debe al punto de ruptura de ambas probetas, la línea continua corresponde con la fractura de la probeta dentro de los puntos de apoyo del extensómetro. En el caso de la línea discontinua, la fractura de la probeta se presentó en un punto cercano al punto de apoyo del extensómetro, es por esta razón la gran diferencia en los valores de deformación máxima, pero como se puede observar las diferencias entre una muestra y otra solo es la deformación, pero el esfuerzo ultimo de tensión UTS (*Ultimate Tensile Strength*) es casi el mismo.

4.3.2 RESULTADOS PRUEBA ROCKWELL.

Los análisis Rockwell que se realizaron, se hicieron a base del tipo de aleación constituyente o al menos los elementos identificados en cada una de ellas. Los diferentes resultados se muestran a continuación en la tabla 4.5, las piezas que se describen en los resultados fueron asignados aleatoriamente y usado para su fin en específico.

Tabla 4.5. Resultados de ensayo de dureza Rockwell.

RESULTADOS DE ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL					
NÚMERO DE PIEZA	TIPO DE ENSAYO	DIAMETRO DEL INDENTADOR (in)	TIPO DE INDENTADOR	PESO (Kg)	DUREZA ROCKWELL PROMEDIO
PIEZA 1	HRE	1/8	BOLA	100	85.6 ± 1
PIEZA 2	HRE	1/8	BOLA	100	91.2 ± 5.5
PIEZA 3	HRC		DIAMANTE	150	38.74± 0.3
PIEZA 4	HRE	1/8	BOLA	100	82 ± 4.3
PIEZA 5	HRD		DIAMANTE	100	35.7 ± 1.2
SOLDADURA	HRC		DIAMANTE	150	35.5 ± 0.8

4.3.3 RESULTADOS MICRODUREZA VICKERS

En la tabla 4.6, se muestran los resultados de micro-dureza Vickers de cada una de las piezas constituyentes del elemento en estudio.

Tabla 4.6. Resultados de cada una de las piezas constituyente del elemento de estudio.

RESULTADOS DUREZA VICKERS	
NÚMERO DE PIEZA	RESULTADOS
PIEZA 1	130.25±1.7 HV0.5
PIEZA 2	138±3.6 HV0.5
PIEZA 3	367.6±16.2 HV1
PIEZA 4	147±9 HV1
PIEZA 5	222.5±10.1 HV0.5
PIEZA 6 SOLDADURA	386.6±4.5 HV0.5

4.3.3.1 COMPARATIVO ENTRE DUREZA ROCKWELL Y MICRO-DUREZA VICKERS

En la tabla 4.7 se muestra un comparativo de análisis de dureza tanto Rockwell como Vickers de cada una de las piezas mostradas en las figuras de la 2.18 a la 3.24. Aunque es posible encontrar equivalencias entre las diferentes escalas empleadas, esto no suele recomendarse, pero si se observa un comportamiento congruente entre las durezas de los materiales, es decir el material más duro y el más blando corresponden entre las diferentes escalas.

Tabla 4.7. Comparativo entre dureza Rockwell y Vickers.

NÚMERO DE PIEZA	MICRO-DUREZA VICKERS	TIPO DE DUREZA ROCKWELL	DUREZA ROCKWELL
PIEZA 1	130.25±1.7 HV0.5	HRE	85.6 ± 1
PIEZA 2	138±3.6 HV0.5	HRE	91.2 ± 5.5
PIEZA 3	367.6±16.2 HV1	HRC	38.74± 0.3
PIEZA 4	147±9 HV1	HRE	82 ± 4.3
PIEZA 5	222.5±10.1 HV0.5	HRE	35.7 ± 1.2
SOLDADURA	386.6±4.5 HV0.5	HRC	35.5 ± 0.8

4.3.4 DUREZA ROCKWELL DE PLÁSTICOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS DE AISLAMIENTO.

Las mediciones de dureza se realizaron de acuerdo con la norma ASTM D785. El material preparado para la prueba de dureza se muestra en la figura 4.3, con dimensiones de acuerdo al estándar. Los resultados de esta prueba de dureza Rockwell R se muestran en la tabla 4.8.



Figura 4.3. Muestra preparada para prueba dureza Rockwell.

Tabla 4.8. Resultados de prueba dureza Rockwell de plásticos y materiales eléctricos de aislamiento

RESULTADOS DE ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL DE PLÁSTICOS Y MATERIALES ELÉCTRICOS DE AISLAMIENTO					
NÚMERO DE PIEZA	TIPO DE ENSAYO	DIAMETRO DEL INDENTADOR (in)	TIPO DE INDENTADOR	PESO (Kg)	DUREZA ROCKWELL PROMEDIO
POLIMERO	HRR	1/2	BOLA	60	41.02 ± 2.9

4.3.5 ANÁLISIS DE TRAZAS POR MICROSCOPIO ÓPTICO DE PROBETAS SOMETIDAS A ESFUERZO.

En la Figura 4.4 se muestra la probeta pulida a espejo sometida a esfuerzo.



Figura 4.4. Probeta sometida a pulido espejo.

En la figura 4.5 se observa la micrografía de la muestra pulida a espejo previo a la fase de la deformación, en la modalidad de contraste interferencial Normanski. Se observa una textura en forma de montículos, que corresponden con precipitados.

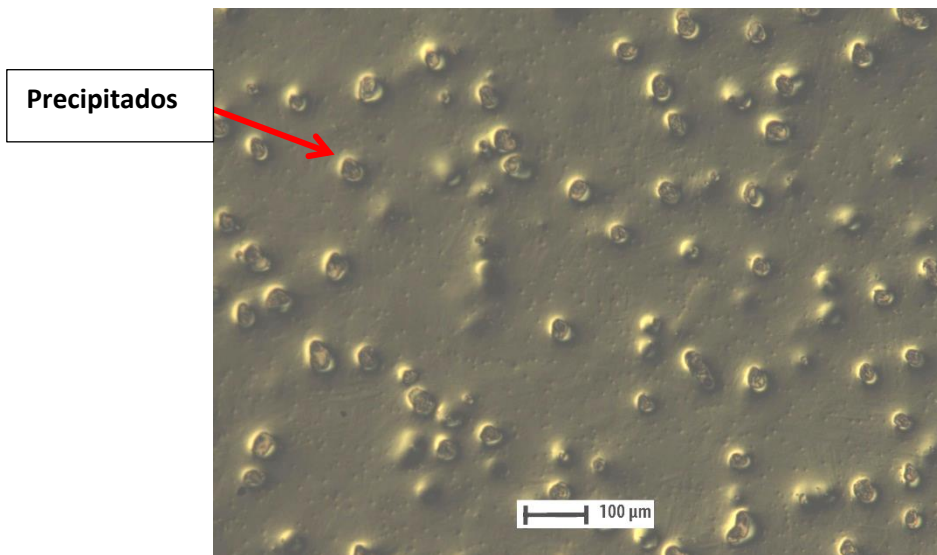


Figura 4.5. Micrografía sin deformación plástica. 80X.

En la figura 4.6 se muestra una imagen posterior a la deformación en la prueba de tensión. Se observa una banda de deformación, región oscura que

corre aproximadamente a 45° desde la esquina inferior izquierda hacia la esquina superior derecha. Esta trayectoria corresponde con la trayectoria preferencial de la superficie de fractura de la probeta en una región cercana a la superficie de fractura.

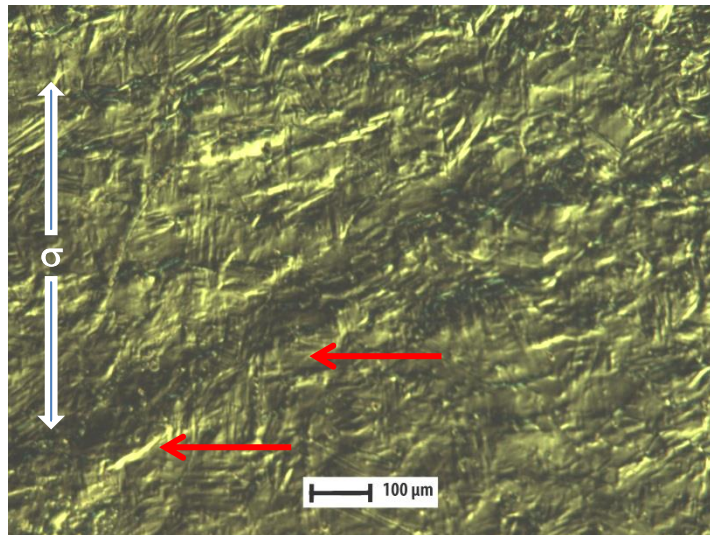


Figura 4.6. Banda de deformación paralela a la fractura. 80X.

En la figura 4.7 se muestra un acercamiento (cota 50 μm), esta imagen corresponde con la región donde inicia donde se observan a mayor detalle los precipitados, se observan dos tipos, precipitación fina (<5 μm) y gruesa (~30 μm).

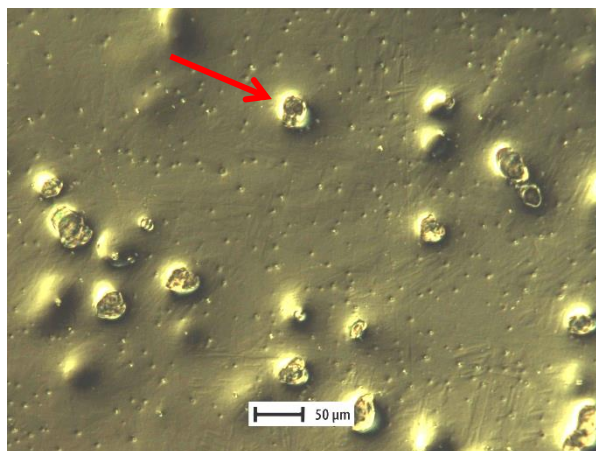


Figura 4.7. Estructura sin deformación. 120X.

En la figura 4.8 se observa la región deformada de la probeta de tensión. Esta imagen corresponde con una región cercana a la región de reducción de área mínima en la probeta, se observa con mayor aumento en comparación con la Figura 4.6.

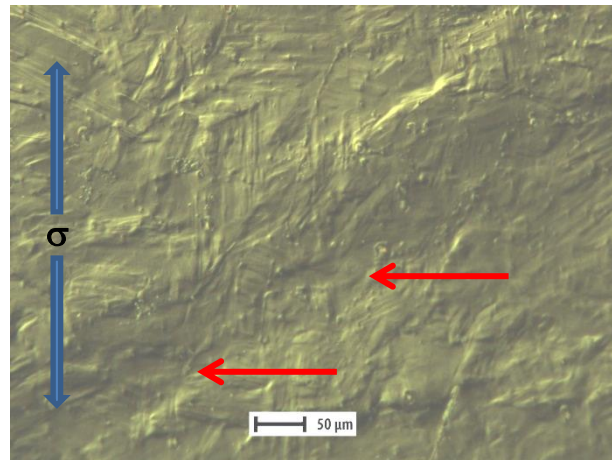


Figura 4.8. Línea que va conforme a la fractura. 120X.

En la figura 4.9 se realiza un acercamiento mayor de la microestructura sin deformación. En esta imagen se puede observar que la distribución de tamaños de la precipitación fina es amplia y se da a lo largo y ancho de la morfología, se encuentran precipitados aproximados de tamaño de 25 a 30 μm .

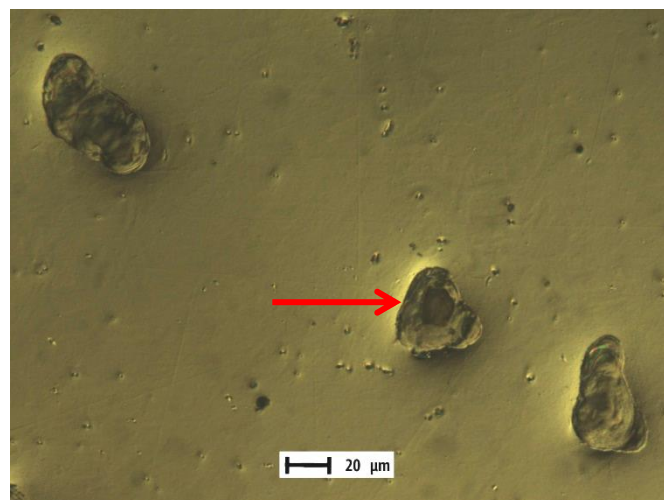


Figura 4.9. Estructura sin deformación. 250X.

Figura 4.10. Se observa la estructura deformada, con bandas de deslizamiento orientadas $\sim 45^\circ$ respecto de la dirección del esfuerzo aplicado.

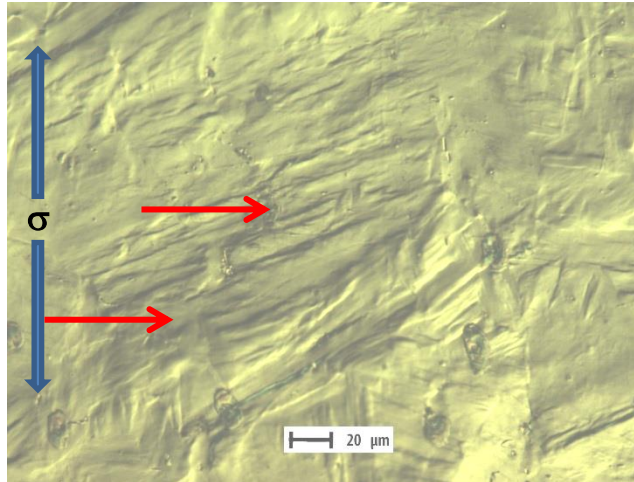


Figura 4.10. Se observa deformación a 45 grados. 250X.

En la figura 4.11, se observa un acercamiento aún más amplio y se observa una cavidad dejada por el desprendimiento de un precipitado de $\sim 20\mu\text{m}$, así como precipitación fina ($<5\mu\text{m}$).

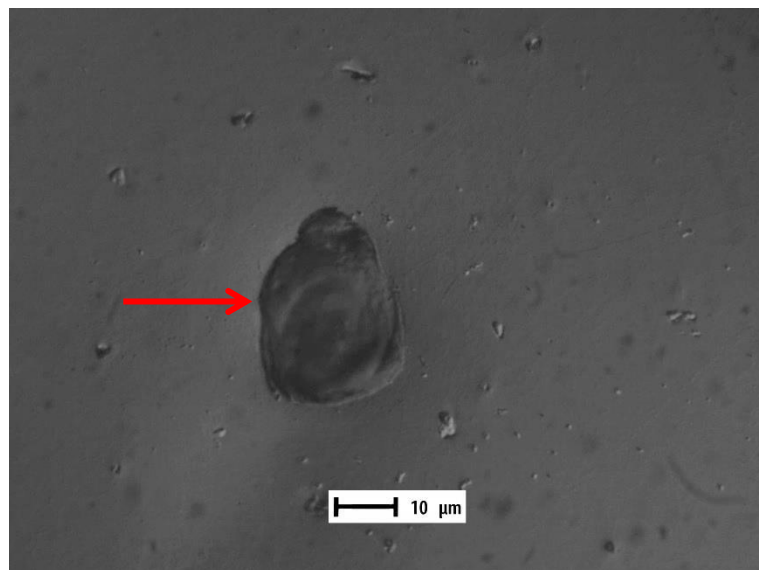


Figura 4.11. Estructura sin deformación. 800X.

En la figura 4.12 se observa la misma inclinación a 45 grados respecto de la dirección del esfuerzo aplicado, donde es evidente la interacción de los precipitados gruesos y finos con las bandas de deformación. Podemos decir que los precipitados son los responsables de la gran resistencia mecánica mostrada por el material, además de mostrar una buena adhesión entre la matriz y los precipitados, pues no se observa decohesión de la interfase.

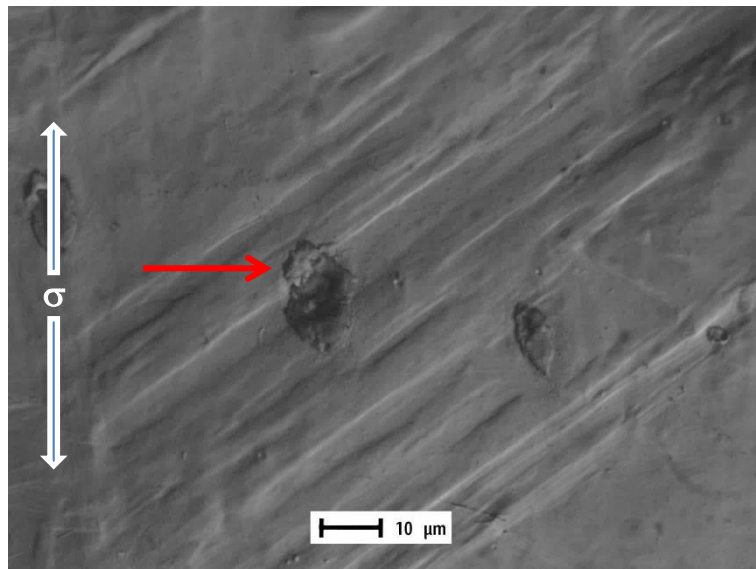


Figura 4.12. Deformación a 45 grados con montículo. 800X.

4.4 MICROSCOPIA ÓPTICA:

4.4.1 ANÁLISIS DE MICROSCOPIA ÓPTICA:

Con la micrografías tomadas a las morfologías de las diferentes vistas de análisis que se realizaron tanto antes del proceso de revelado con el reactivo Keller como después de revelar la microestructura con el ataque químico. La visualización de las diferentes fases de cada material no era tan visible como se esperaba, así que se procedió a la visualización con diferentes filtros y

efectos del microscopio óptico, el filtro verde se decidió utilizar para todas las muestras dado a que mejoran el contraste de la imagen y en especial para las estructuras sin revelado químico, debido a su clara visualización de sus elementos, y para las estructuras reveladas se usó el efecto de contraste interferencial Nomarski dado a que gracias a ese efecto se pudo apreciar con mucha claridad las diferentes fases constituidas de las superficies, y con ello se pudieron obtener micrografías con estructuras claramente visibles, las cuales se pueden apreciar a continuación.

4.4.2 ANALISIS PIEZA 1

Para la pieza 1 se realizó el análisis de las vistas longitudinal, transversal y superficial. En la figura 4.13 se muestra la vista isométrica de la misma pieza.

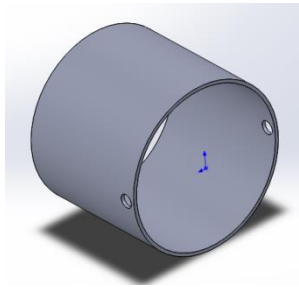


Figura 4.13. Vista isométrica de pieza 1.

4.4.2.1 VISTA LONGITUDINAL

La figura 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17, muestran una vista longitudinal de la pieza 1. La figura 4.14 y 4.161 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.16 y 4.17 muestra un acercamiento mayor a la superficie.

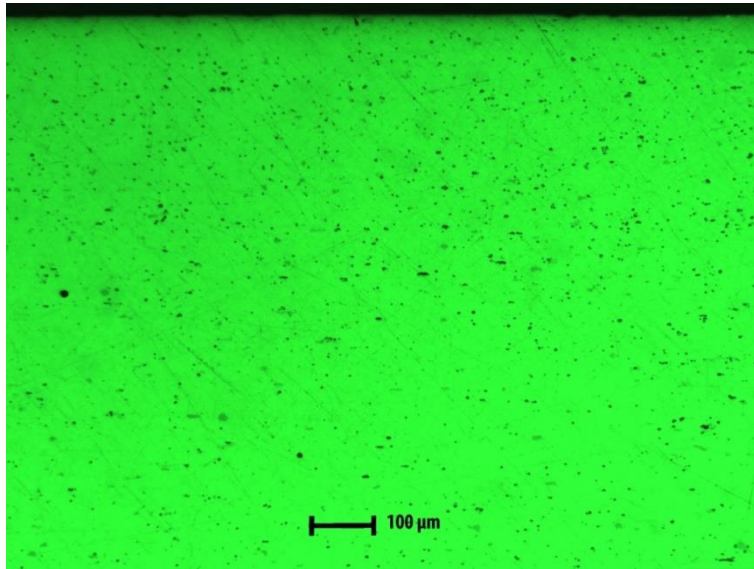


Figura 4.14. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.14 se observa una superficie pulida con fases oscuras y claras con una distribución aceptablemente uniforme.

En la figura 4.15 se observan cambios de las fases anteriores, se observa que las oscuras se incrementan y las claras se aprecian estables químicamente, las cuales se aprecian con un tamaño de grano alargado. Se observa que toda la morfología de manchas oscuras son precipitados.

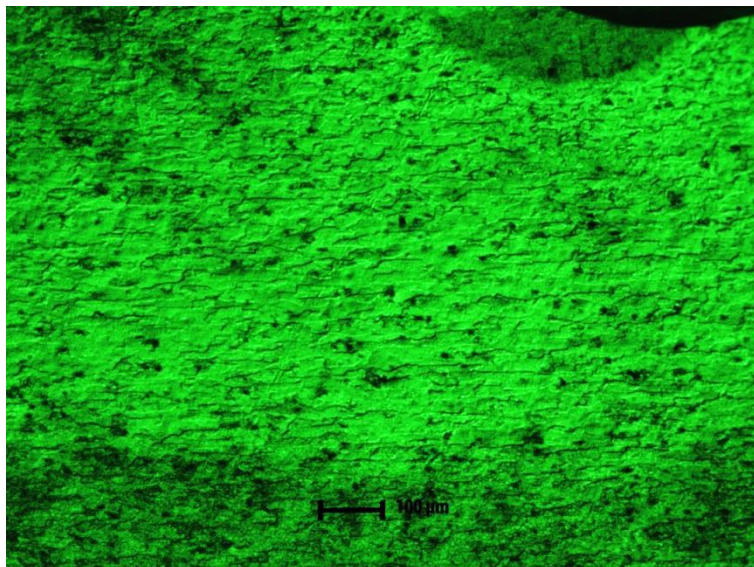


Figura 4.15. Visualización con ataque químico. 80X.

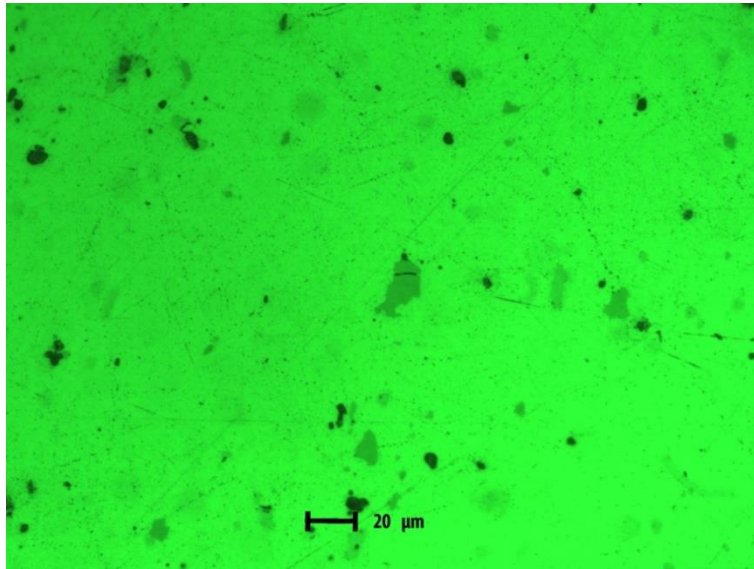


Figura 4.16. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.16 se aprecia un acercamiento mayor a la superficie y se aprecian tres fases: oscuras, opacas y claras.

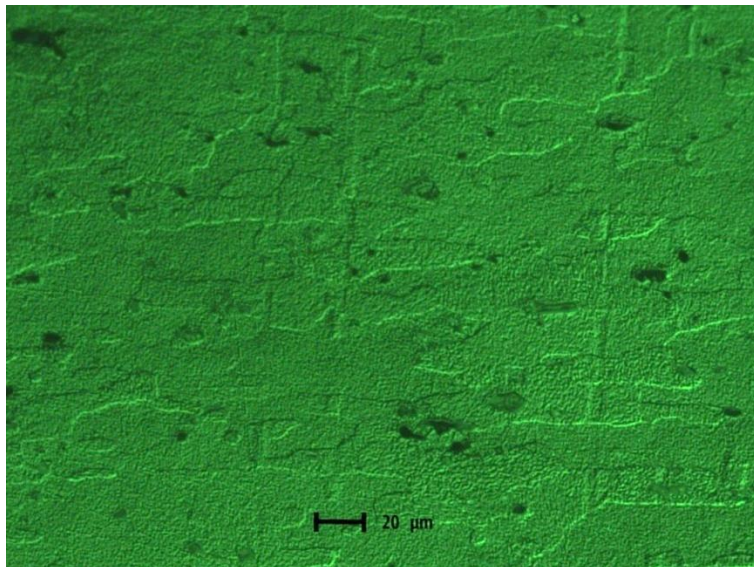


Figura 4.17. Visualización con ataque químico. 250X.

La figura 4.17 muestra el revelado de la superficie con cambios de las fases anteriores, se observa que las oscuras se incrementan y las claras se aprecian estables químicamente, las cuales se aprecian con un tamaño de grano alargado. Se observa que toda la variedad de manchas oscuras son precipitados. Se observa en la figura 4.17 que las manchas oscuras se disolvieron a comparación de la figura 4.16.

4.4.2.2 VISTA TRASVERSAL

La figura 4.18, 4.19, 4.20 y 4.21, muestran una vista transversal de la pieza 1. La figura 4.18 y 4.20 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.20 y 4.21 muestra un acercamiento mayor a la superficie.

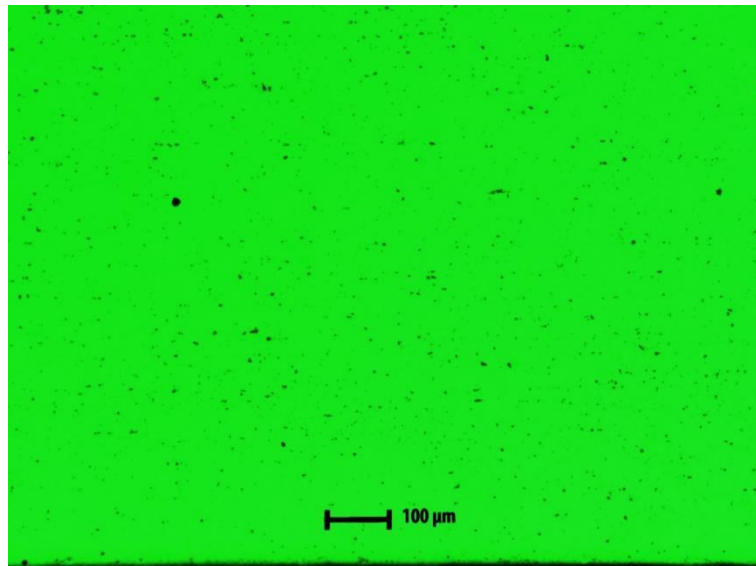


Figura 4.18. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.18 se observa una superficie pulida con segundas fases oscuras y claras.

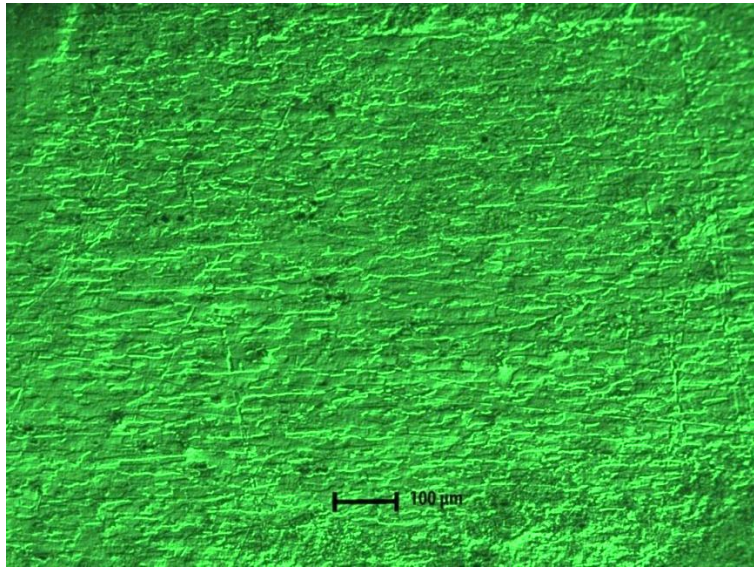


Figura 4.19. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.19 se observa una clara orientación horizontal y se observan cambios de las fases anteriores, se observa que las oscuras se incrementan y las claras se aprecian puntuales, la estructura se aprecian con un tamaño de grano alargado. Se observa a en la figura 4.18 que las manchas oscuras se disolvieron a comparación de la figura 4.19.

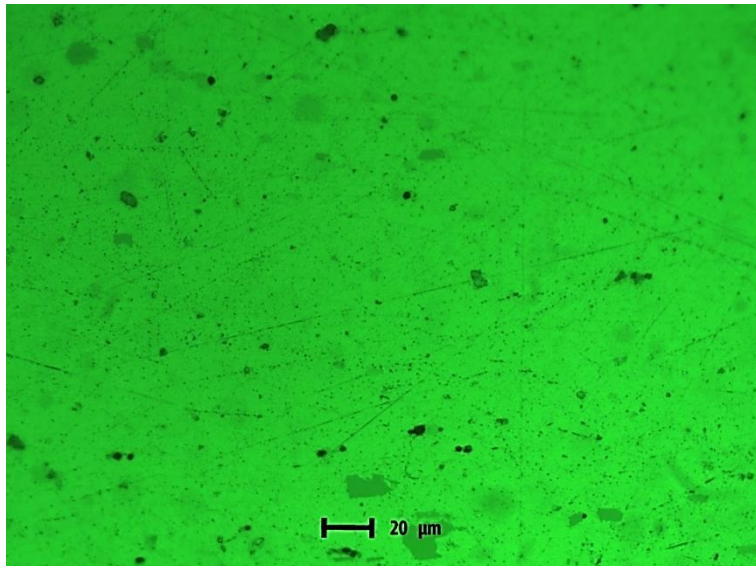


Figura 4.20. Visualización sin ataque químico. 250X.

La figura 4.20 muestra un acercamiento mayor a la figura 4.18 y se observan diferentes fases.

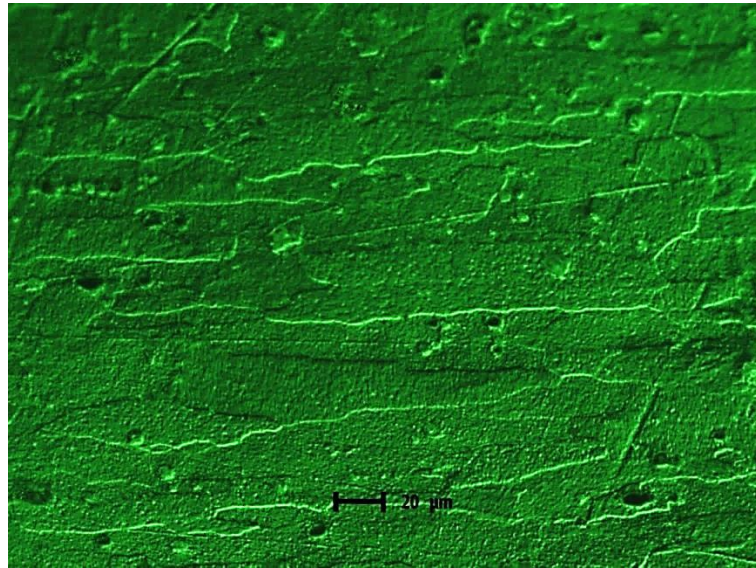


Figura 4.21. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.21 se observa un mayor acercamiento que la figura 4.19. Se aprecia una clara orientación horizontal y se observan cambios de las fases anteriores, se observa que las oscuras son puntuales y las claras se aprecian químicamente estables, la estructura se aprecian con un tamaño de grano alargado. Se observa en la figura 4.20 que las manchas oscuras se disolvieron a comparación de la figura 4.21.

4.4.2.3. VISTA SUPERFICIAL

La figura 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25, muestran una vista superficial de la pieza 1. La figura 4.22 y 4.24 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.24 y 4.25 muestra un acercamiento mayor a la superficie. En la figura 4.22 se observa una superficie pulida con segundas fases oscuras y claras.

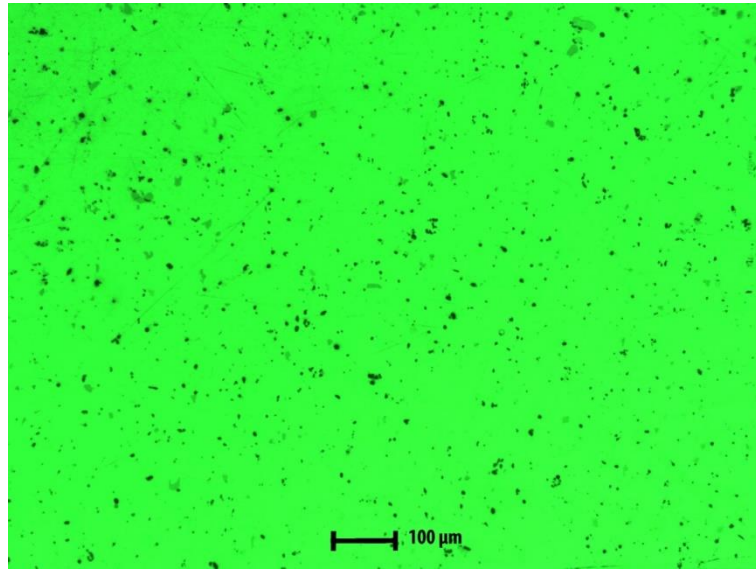


Figura 4.22. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.23 se observan cambios de las fases anteriores, se observa una irregularidad entre fases oscuras y claras, las fases oscuras se aprecian con un tamaño de grano distinto puntual y más disuelto a comparación que la figura 4.22. Se observa una diversa morfología de fases oscuras, opacas y blancas.

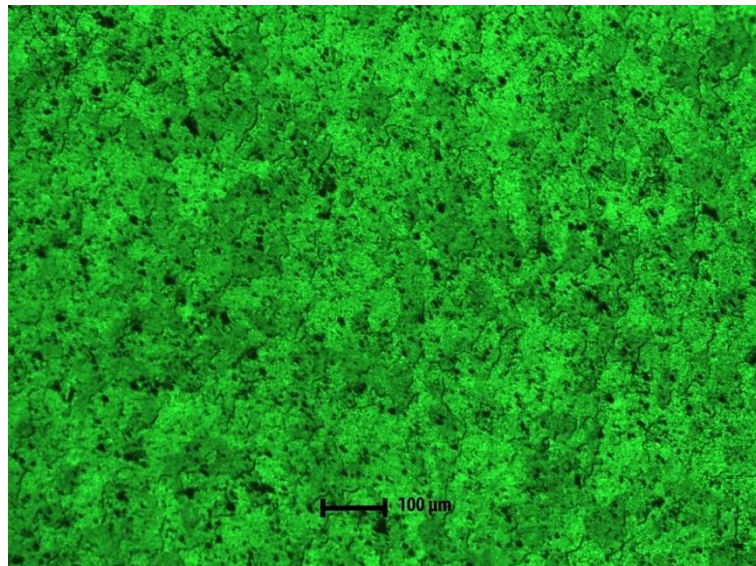


Figura 4.23. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.24 se observa una distinción más concreta de las diferentes fases constituyentes de la muestra.

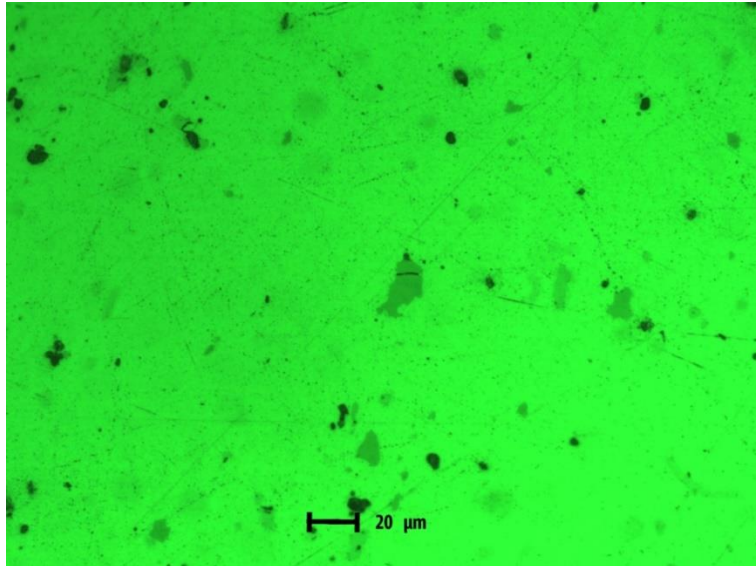


Figura 4.24. Visualización sin ataque químico. 250X.

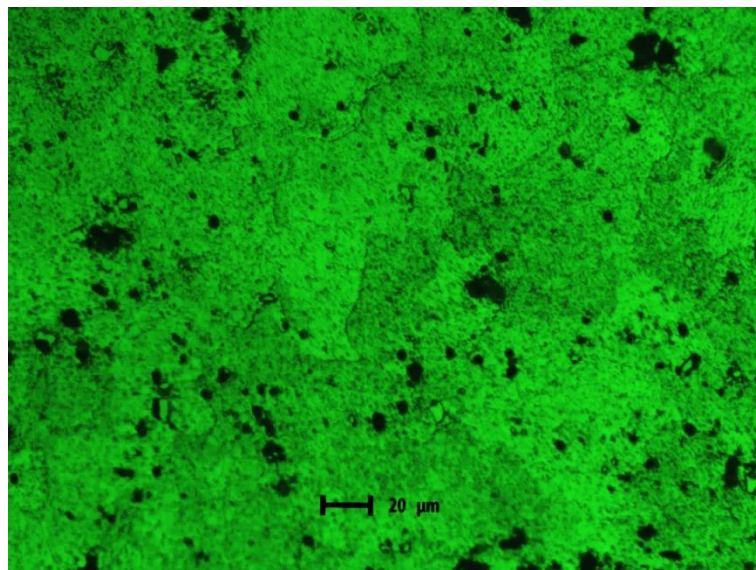


Figura 4.25. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.24 se hace un acercamiento mayor a los cambios de las fases anteriores, se observa una irregularidad entre fases oscuras y claras, las fases oscuras se aprecian con un tamaño de grano distinto puntual y más disuelto a comparación que la figura 4.25. Se observa una morfología de fases oscuras, opacas y blancas.

4.4.2.4. DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 1

En la figura 4.26, se puede apreciar las tres vistas distintas de la pieza 1.

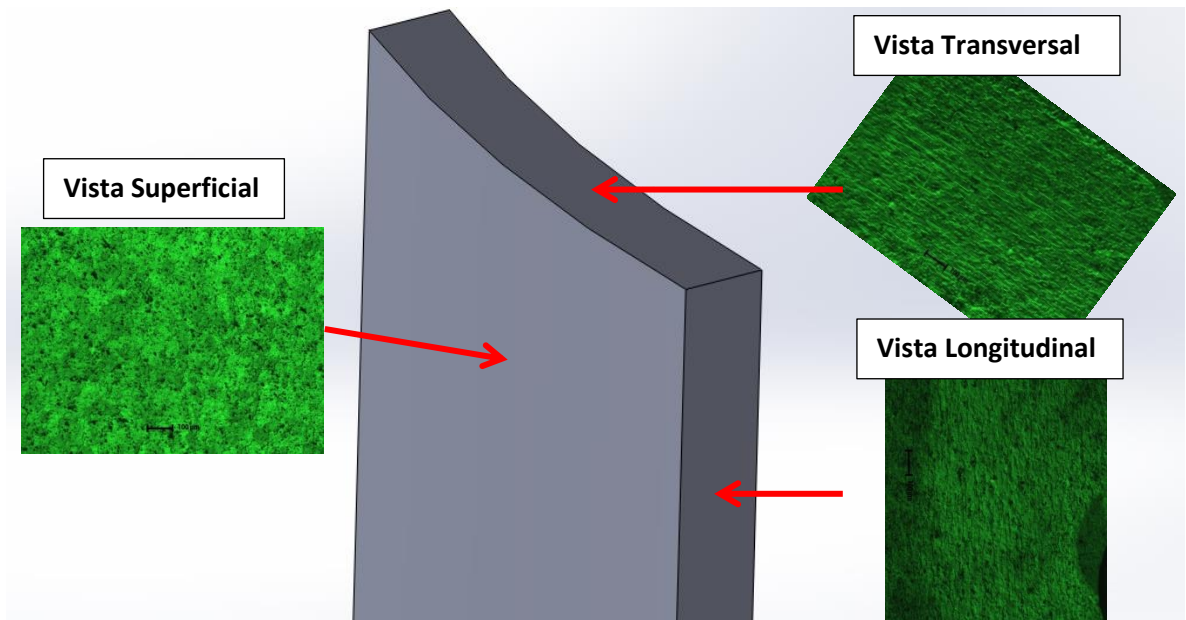


Figura 4.26. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 1.

En la figura 4.26 no se puede apreciar claramente el proceso de maquinado por el cual fue fabricado el componente, pero de lo que se puede apreciar

con la vista transversal y la vista longitudinal que el proceso de fabricación fue extrusión, pero en la vista superficial se aprecia una estructura sin deslizamientos lo que nos dice que el proceso de fabricación pudo también ser estampado.

4.4.3 ANALISIS PIEZA 2

Para la pieza 2 se realizó el análisis de las vistas longitudinal, transversal y superficial. En la figura 4.27 se muestra la vista isométrica de la misma pieza.

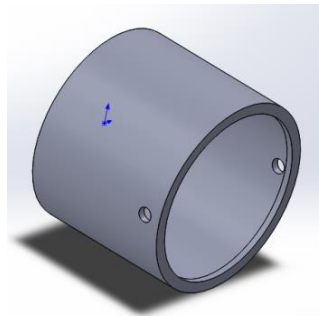


Figura 4.27. Vista isométrica de pieza 2.

4.4.3.1 VISTA LONGITUDINAL

La figura 4.28, 4.29, 4.30 y 4.31, muestran una vista longitudinal de la pieza 2. La figura 4.29 y 4.31 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.30 y 4.31 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

En la figura 4.28 se observa una superficie pulida con dos fases, oscuras y claras. Las fases claras se aprecian con claridad y parecen químicamente estables.

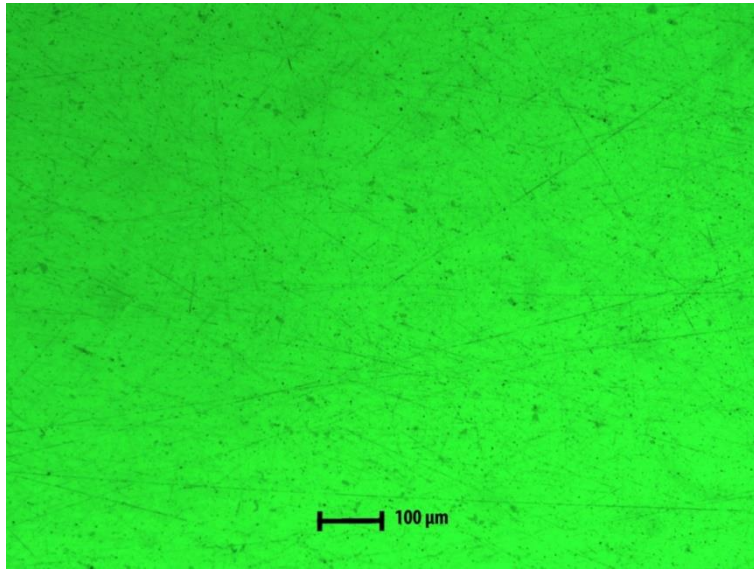


Figura 4.28. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.29 se aprecia una pequeña orientación horizontal y se observan la disolución de la fase blanca, la estructura se aprecia con un tamaño de grano muy pequeño.

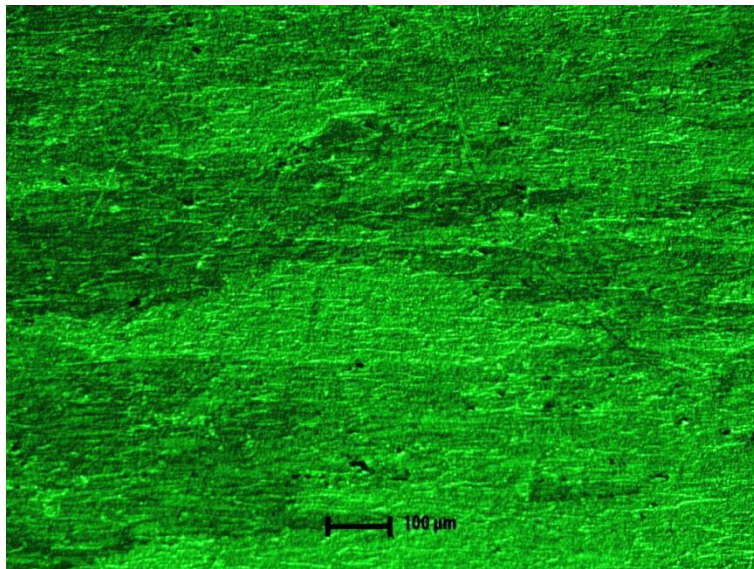


Figura 4.29. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.30 se observa un acercamiento mayor, se aprecia una superficie pulida con tres fases: oscuras, opaca y clara.

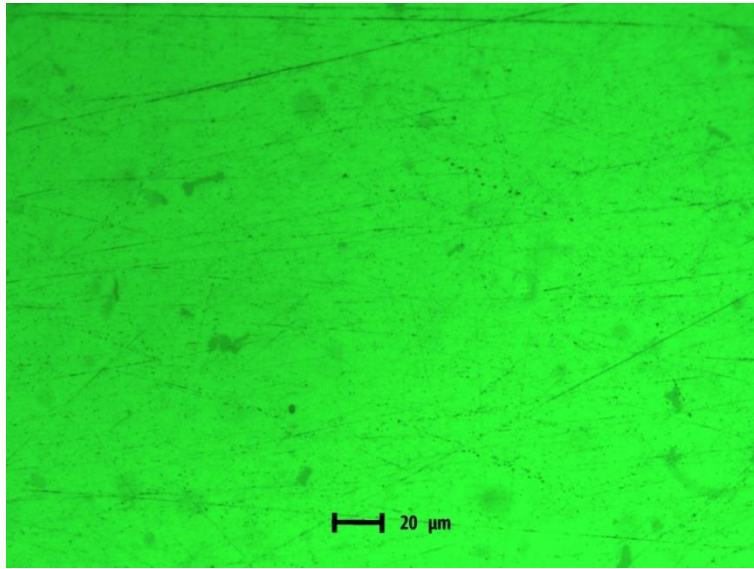


Figura 4.30. Visualización sin ataque químico. 250 X.

En la figura 4.31 se aprecia una minúscula orientación horizontal y se observan la disolución de la fase blanca, la estructura se aprecia con un tamaño de grano muy pequeño e irregular, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

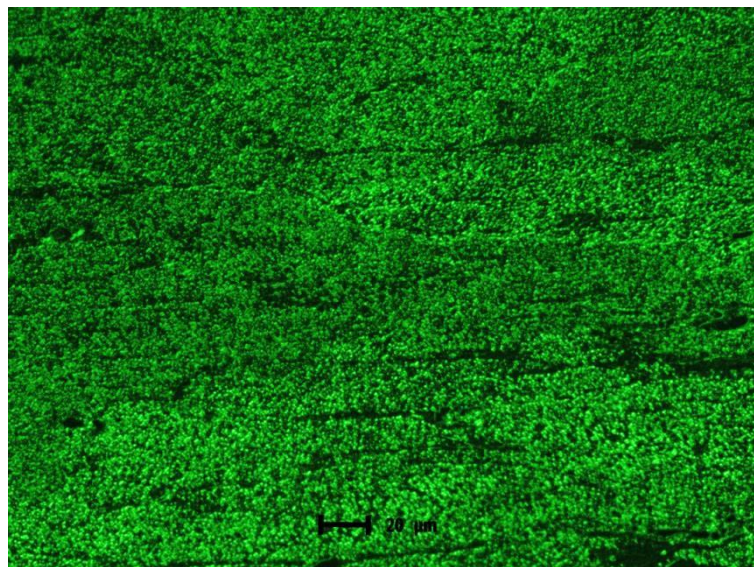


Figura 4.31. Visualización con ataque químico. 250 X.

4.4.3.2 VISTA TRANSVERSAL

La figura 4.32, 4.33, 4.34 y 4.35, muestran una vista transversal de la pieza 2. La figura 4.32 y 4.34 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.34 y 4.35 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

En la figura 4.32 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian en mayor proporción y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

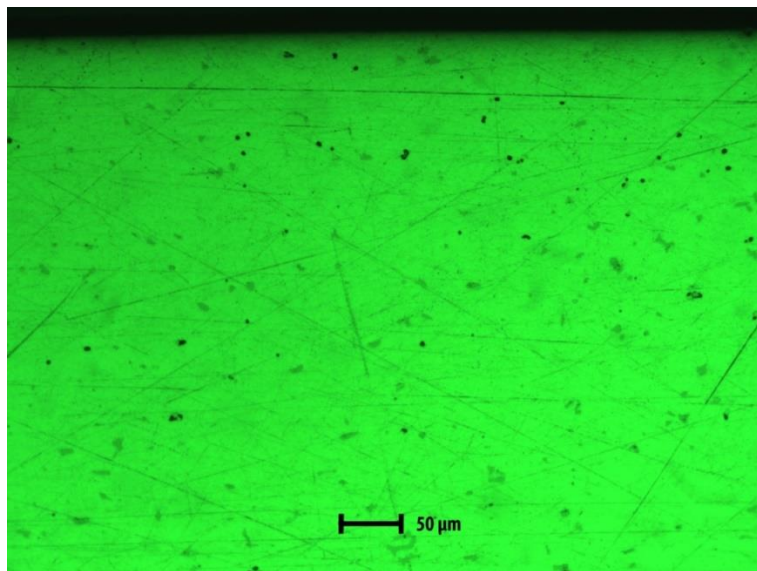


Figura 4.32. Visualización sin ataque químico. 120X.

En la figura 4.33 se observan dos fases y se observan la disolución de la fase blanca, la estructura se aprecia con un tamaño de grano muy pequeño, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

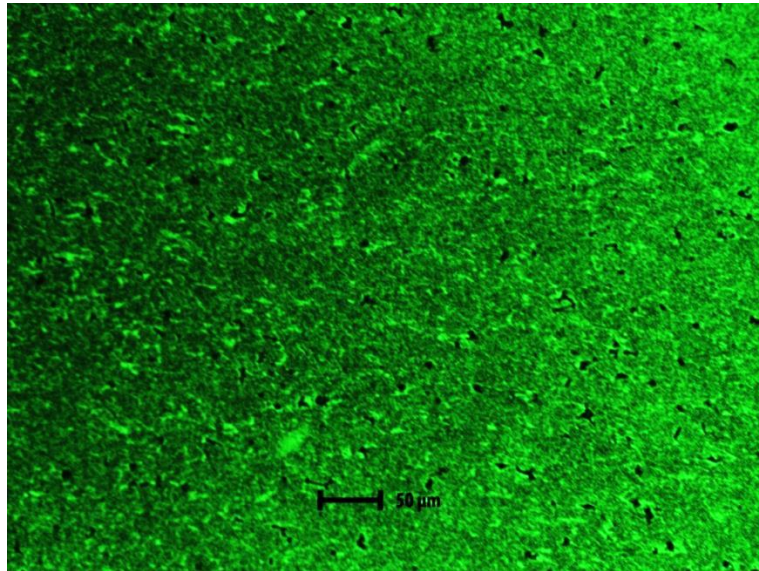


Figura 4.33. Visualización con ataque químico. 120X.

En la figura 4.34 se observa un acercamiento mayor a la superficie, y se aprecia una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian en mayor proporción y las oscuras se aprecian disminuidas en la superficie.

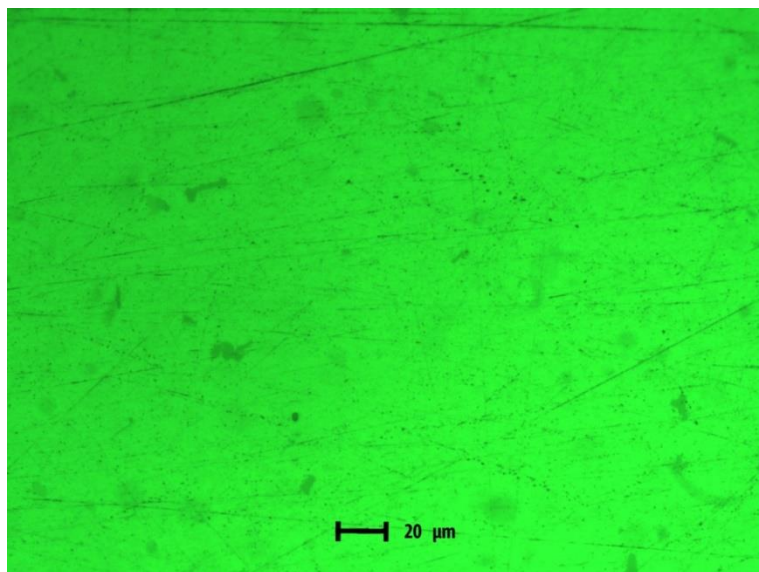


Figura 4.34. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.35 se observa un acercamiento mayor a la figura 4.33 y se aprecian tres fases: blanca, opaca y negra, la estructura se aprecia con fases disueltas, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

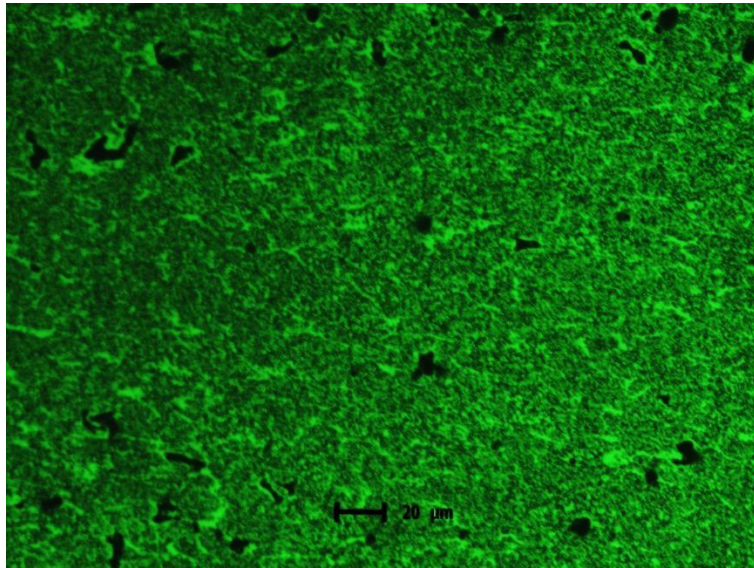


Figura 4.35. Visualización con ataque químico. 250X.

4.4.3.3. VISTA SUPERFICIAL

La figura 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39, muestran una vista superficial de la pieza 2. La figura 4.36 y 4.38 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.38 y 4.39 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

En la figura 4.36 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian en mayor proporción y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

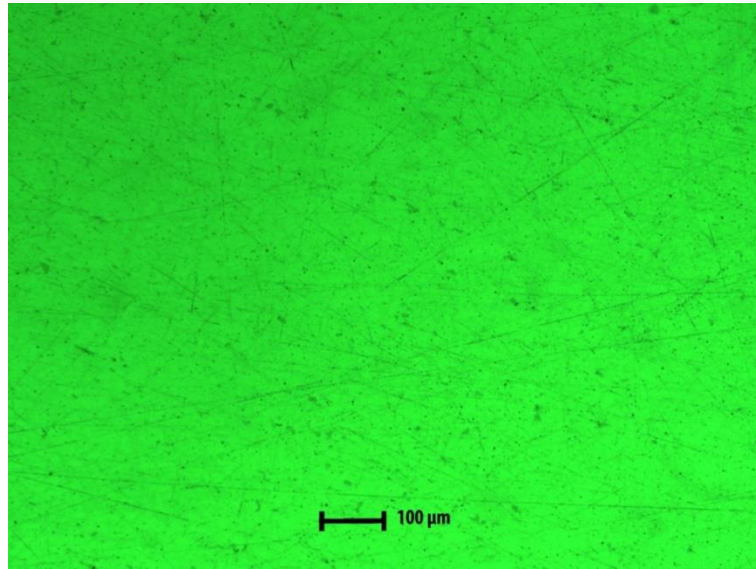


Figura 4.36. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.37 se observan dos fases y se observan la disolución de la fase blanca, la estructura se aprecia con un tamaño de grano muy pequeño, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

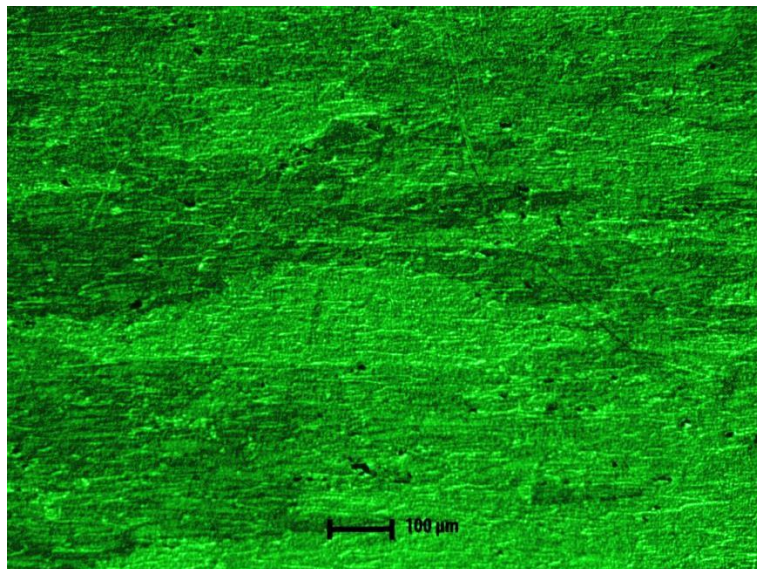


Figura 4.37. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.38 se observa una superficie pulida con tres fases: oscuras, opacas y claras.

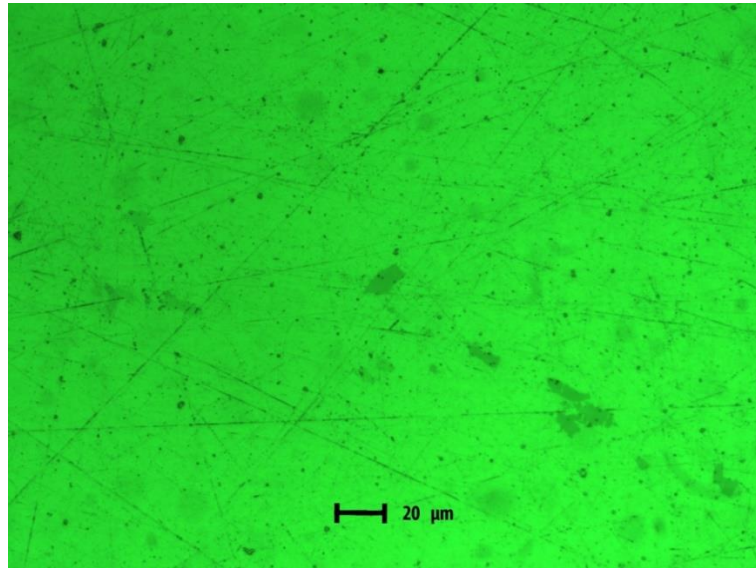


Figura 4.38. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.39 se observan dos fases irregulares, se observan la disolución de la fase blanca y opaca, la estructura se aprecia con un tamaño de grano muy pequeño, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

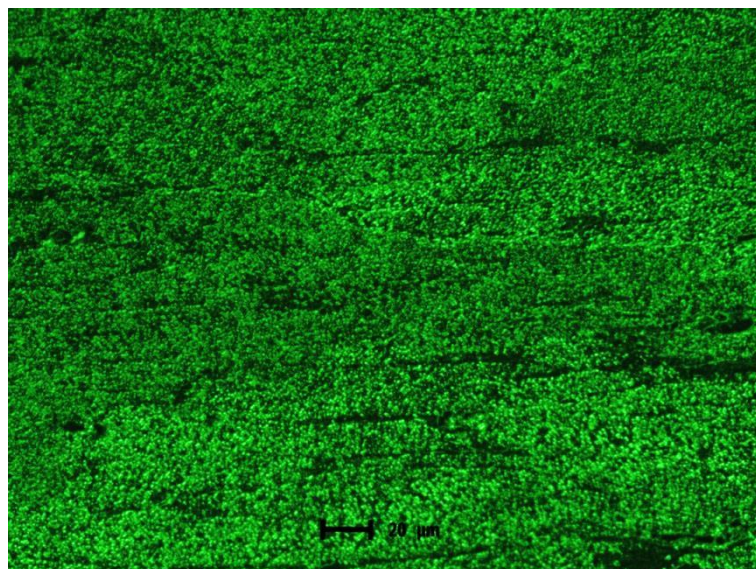


Figura 4.39. Visualización con ataque químico. 250X.

4.4.3.4 DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 2

En la figura 4.40, se puede apreciar las tres vistas distintas de la pieza 2.

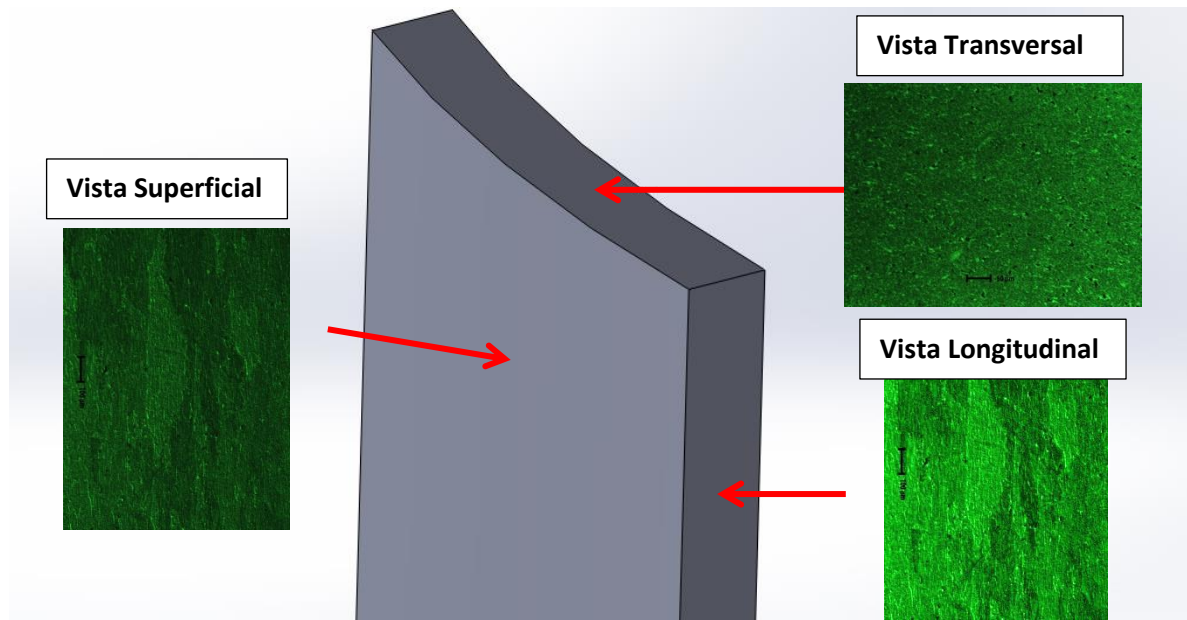


Figura 4.40. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 2.

Dado a la observación de la figura 4.40, se puede concluir que la pieza fue fabricada mediante el proceso de extrusión, debido a que la vista trasversal no posee deslizamientos y la vista superficial y longitudinal posee deslizamientos los cuales son propios de procesos de extrusión.

4.4.4 ANALISIS PIEZA 3

Para la pieza 3 se realizó el análisis de las vistas: longitudinal, transversal y superficial. En la figura 4.41 se muestra la vista isométrica de la misma pieza.

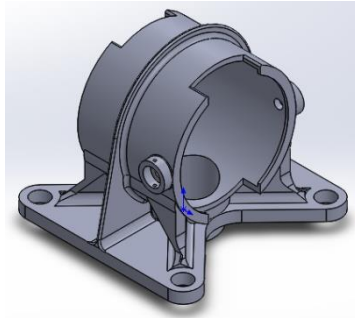


Figura 4.41. Vista isométrica de pieza 3.

4.4.4.1 VISTA LONGITUDINAL

La figura 4.42, 4.43, 4.44 y 4.45, muestran una vista longitudinal de la pieza 3. La figura 4.42 y 4.44 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.44 y 4.45 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

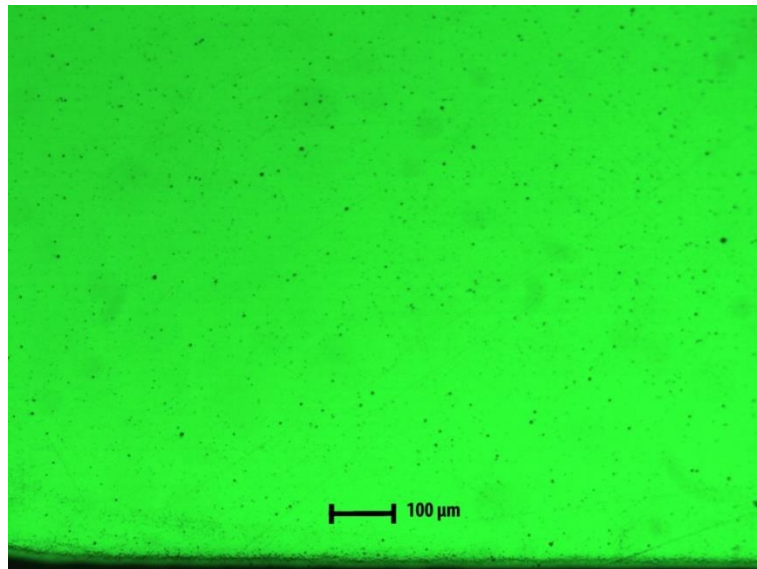


Figura 4.42. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.42 se observa una superficie pulida con dos fases, oscuras y claras. Las fases claras se aprecian con claridad y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

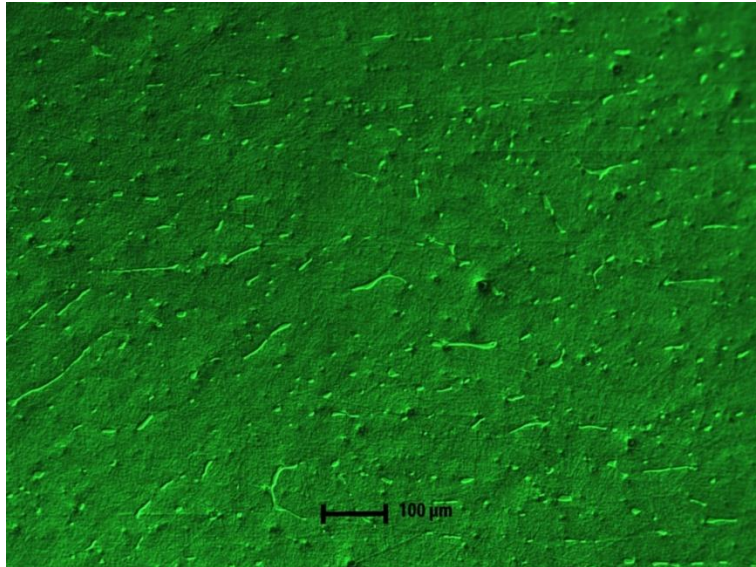


Figura 4.43. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.43 se muestran dos fases químicamente estables: fases claras y otras un poco más opacas. Las fases claras se observan puntuales y alargadas y las opacas se observan recubriendo la mayor parte de la superficie.

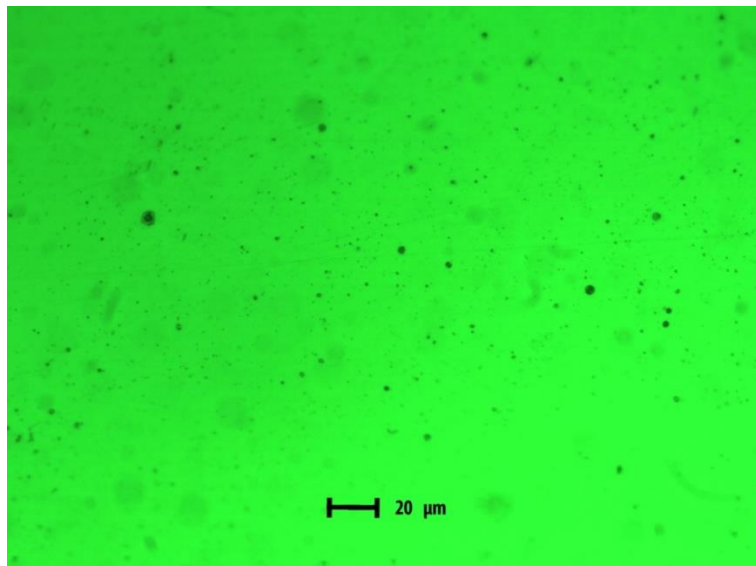


Figura 4.44. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.44 se observa un acercamiento mayor a la superficie, y se aprecia una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian en mayor proporción y se observan químicamente estables y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

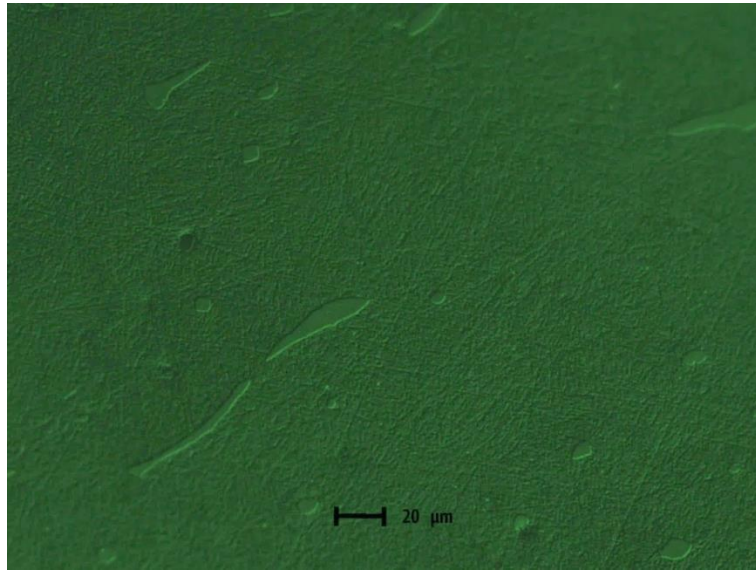


Figura 4.45. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.45 se muestra un aumento mayor a la superficie, se observan dos fases químicamente estables, unas claras y otras un poco más opacas. Las fases claras se observan puntuales, alargadas y químicamente estables y las opacas se observan recubriendo la mayor parte de la superficie.

4.4.4.2 VISTA TRANSVERSAL

La figura 4.46, 4.47, 4.48 y 4.49, muestran una vista transversal de la pieza 3. La figura 4.46 y 4.48 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.48 y 4.49 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

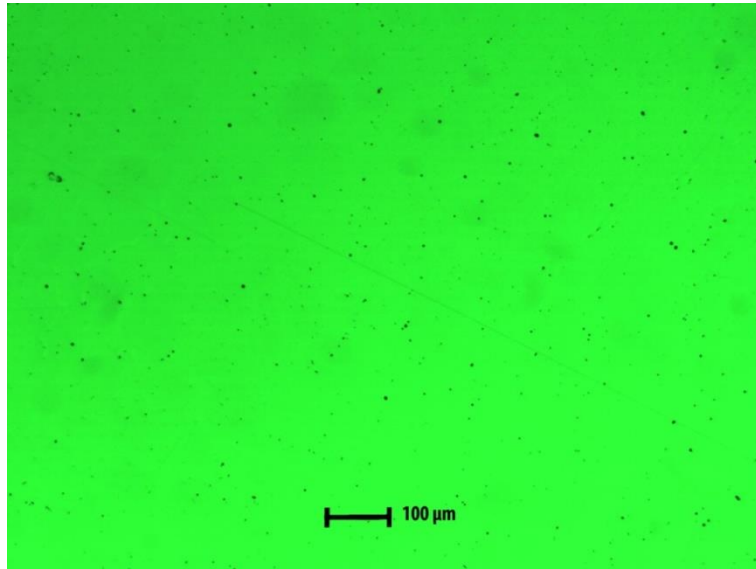


Figura 4.46. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.46 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian con mayor proporción y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

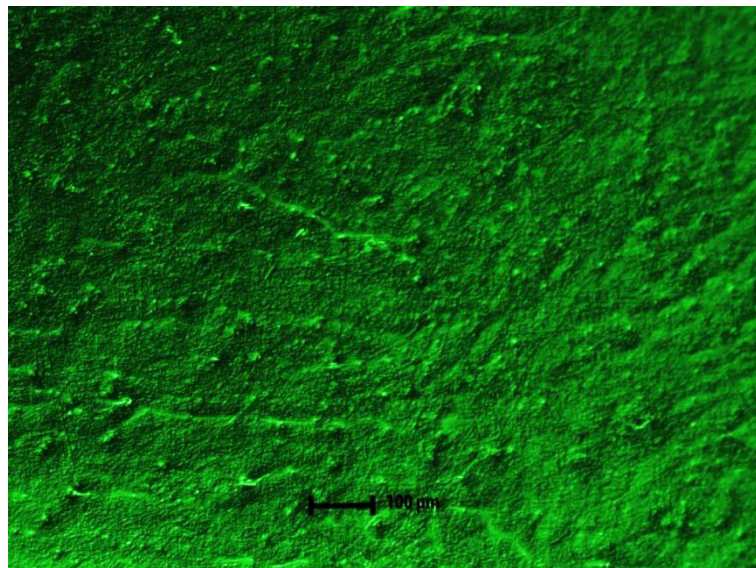


Figura 4.47. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.47 se observan dos fases irregulares: la fase blanca y la fase oscura, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

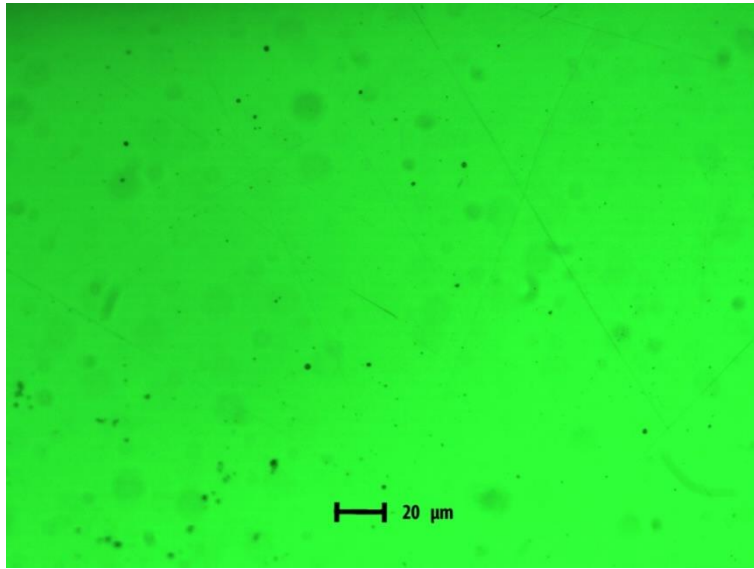


Figura 4.48. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.48 se observa un acercamiento mayor. Se aprecia una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian en mayor proporción y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

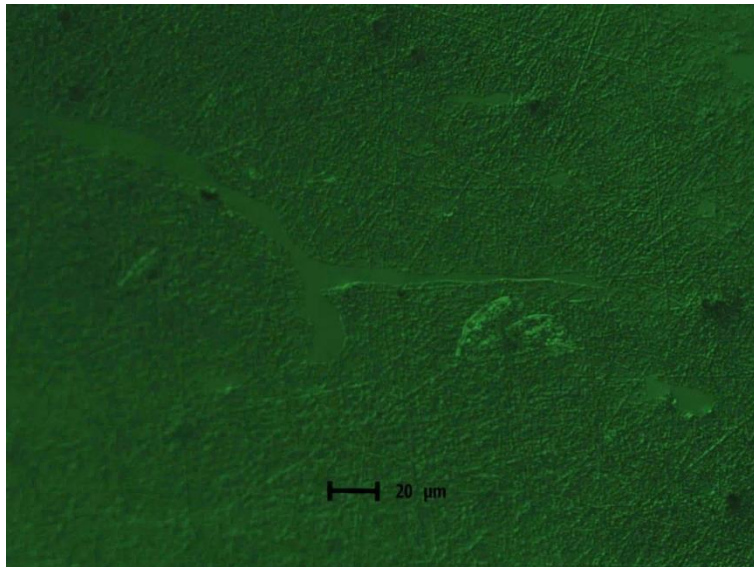


Figura 4.49. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.49 se observan tres fases irregulares: la fase blanca, la fase clara y la fase opaca, se aprecian distintos componentes de la superficie.

4.4.4.3 VISTA SUPERFICIAL

La figura 4.50, 4.51, 4.52 Y 4.53, muestran una vista transversal de la pieza 3. La figura 4.50 y 4.52 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.52 y 4.53 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

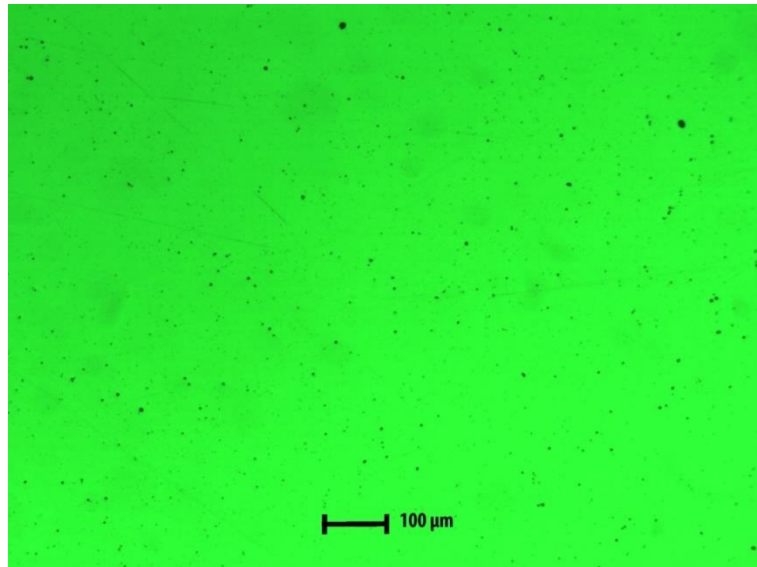


Figura 4.50. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.50 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian en mayor proporción y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

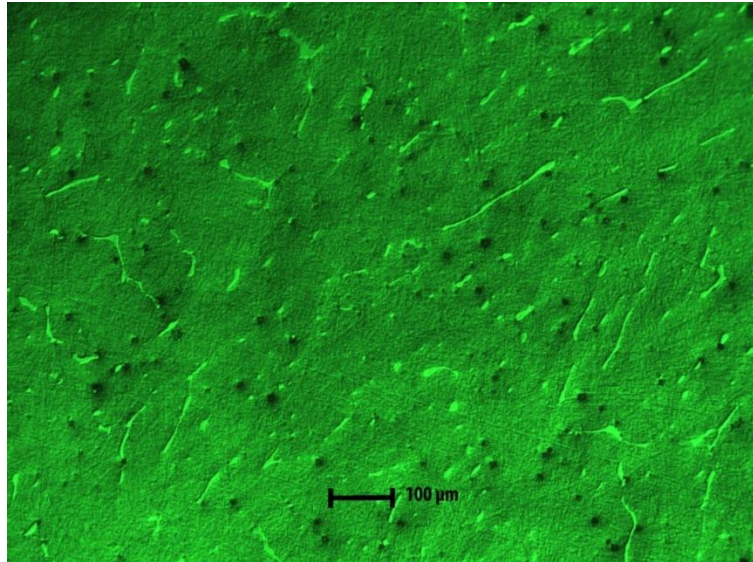


Figura 4.51. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.51 se muestran dos fases químicamente estables, unas claras y otras un poco más opacas. Las fases claras se observan puntuales y alargadas y las opacas se observan recubriendo la mayor parte de la superficie.

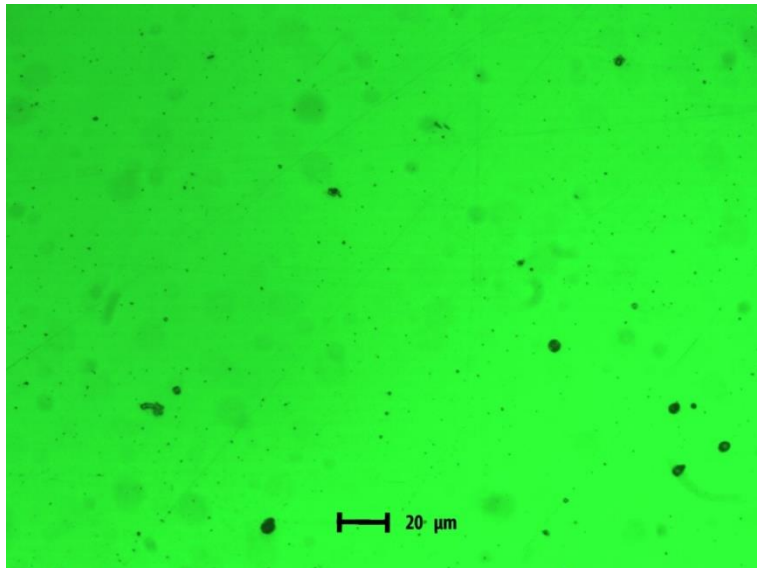


Figura 4.52. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.52 se observa una superficie con un acercamiento mayor, se aprecia con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian con claridad y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.



Figura 4.53. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.53 se muestra un aumento mayor a la superficie, se observan dos fases químicamente estables, unas claras y otras un poco más opacas. Las fases claras se observan puntuales y alargadas, las opacas se observan recubriendo la mayor parte de la superficie.

4.4.4.4. DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 3

En la figura 4.54, se puede apreciar las tres vistas distintas de la pieza 3.

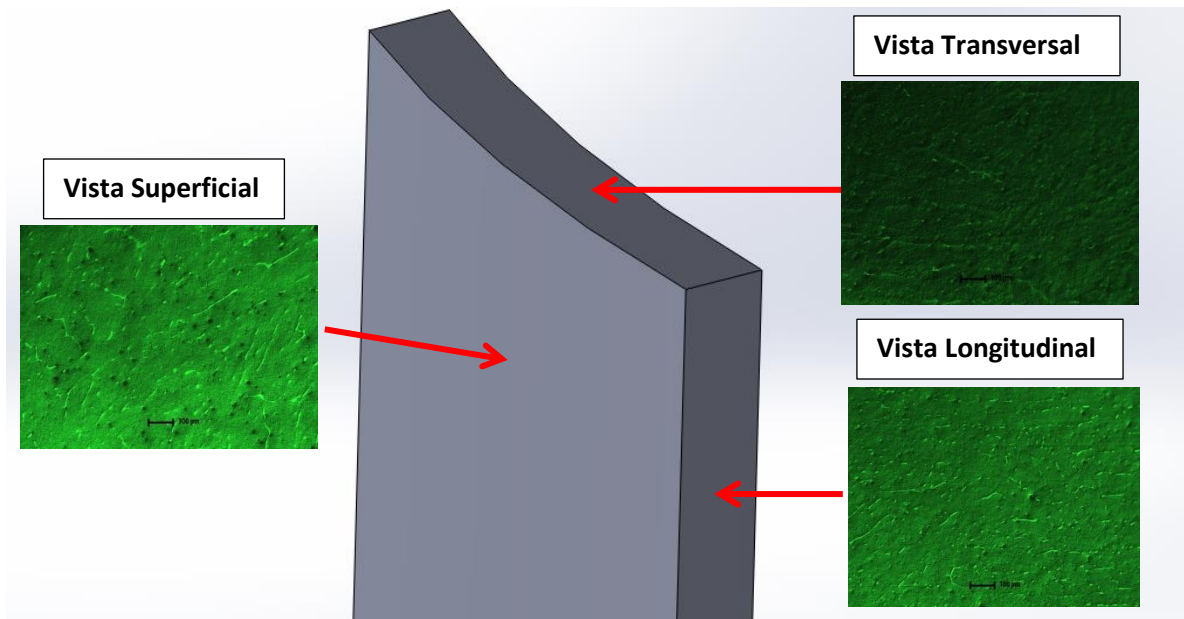


Figura 4.54. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 3.

Dado a que en las tres vistas se observan estructuras reveladas sin algún deslizamiento aparente, solo con pequeñas gotas de cambio de fase que se observan a lo largo de todo el material. Para poder determinar un proceso aparente de fabricación se debe realizar un estudio más a detalle de la pieza, estudios los cuales podrían hacer referencia a procesos de fabricación por metalurgia de polvos.

4.4.5 ANALISIS PIEZA 4

Para la pieza 4 se realizó el análisis de las vistas longitudinal, transversal y superficial. En la figura 4.55 se muestra la vista isométrica de la misma pieza.

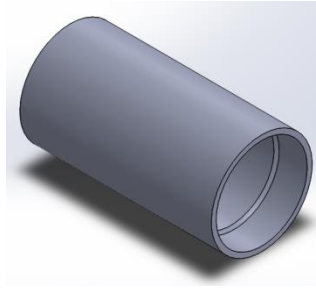


Figura 4.55. Vista isométrica de pieza 4.

4.4.5.1 VISTA LONGITUDINAL

La figura 4.56, 4.57, 4.58 y 4.59, muestran una vista longitudinal de la pieza 4. La figura 4.56 y 4.58 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.58 y 4.59 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

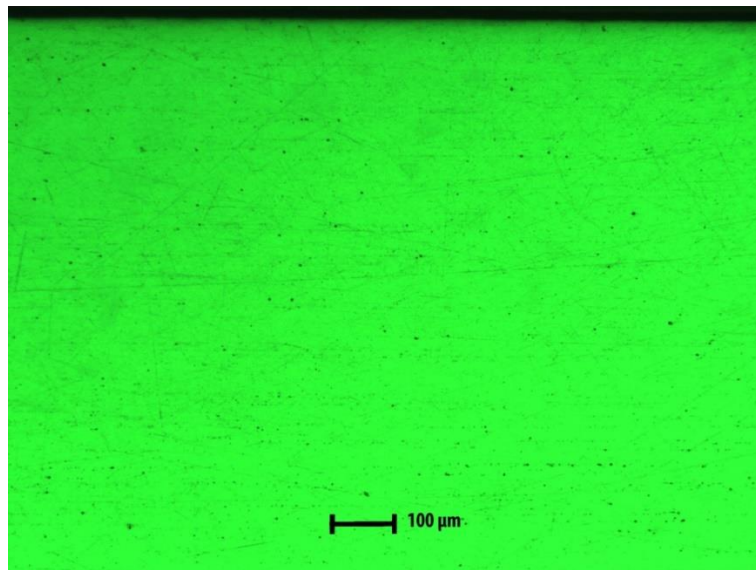


Figura 4.56. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.56 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian a lo largo y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

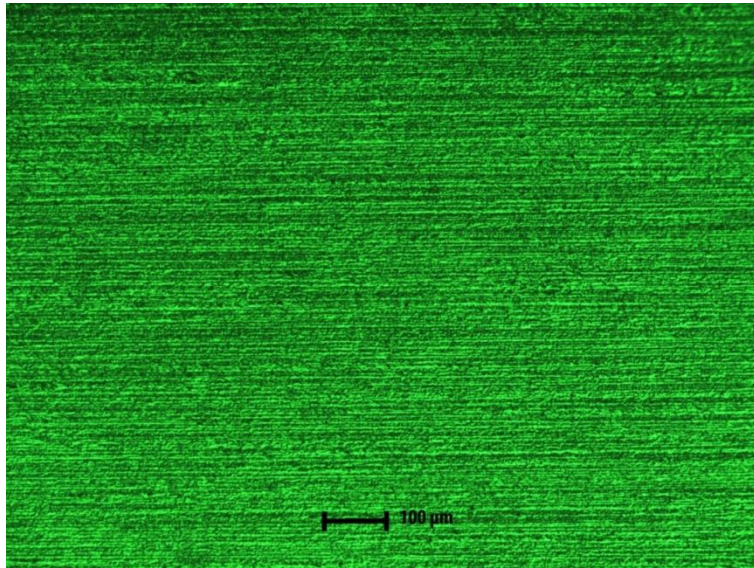


Figura 4.57. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.57 se observa una disolución de la fase blanca, dando como resultado canales horizontales.

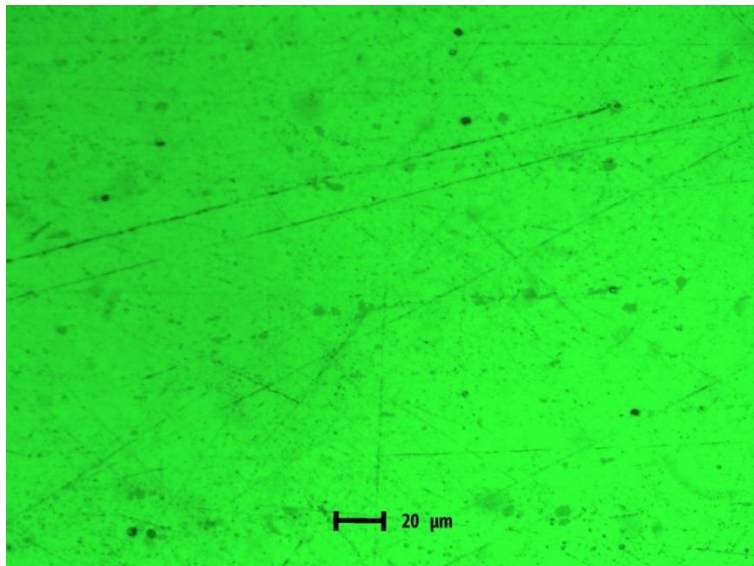


Figura 4.58. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.58 se observa una superficie pulida con un acercamiento mayor y con tres fases: oscuras, opacas y claras. Las fases claras se aprecian a lo largo, las oscuras se aprecian puntuales en la superficie y las opacas se aprecian semi-puntuales en la superficie.

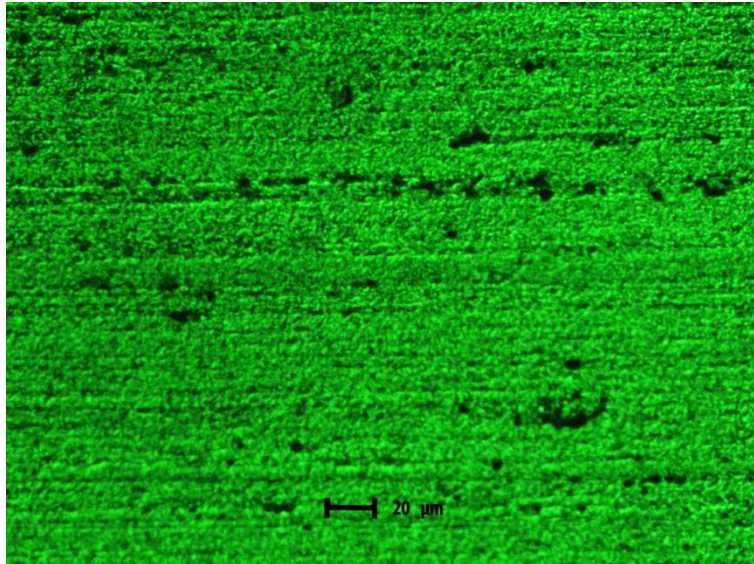


Figura 4.59. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.59 se aprecia una clara orientación horizontal y se observan cambios de las fases anteriores, se observa que las oscuras son puntuales e irregulares, no se observa la fase desvanecida. Se observa en la figura 4.59 que las manchas oscuras se disolvieron a comparación de la figura 4.58.

4.4.5.2 VISTA TRANSVERSAL

La figura 4.60, 4.61, 4.62 y 4.63, muestran una vista longitudinal de la pieza 4. La figura 4.60 y 4.62 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.62 y 4.63 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

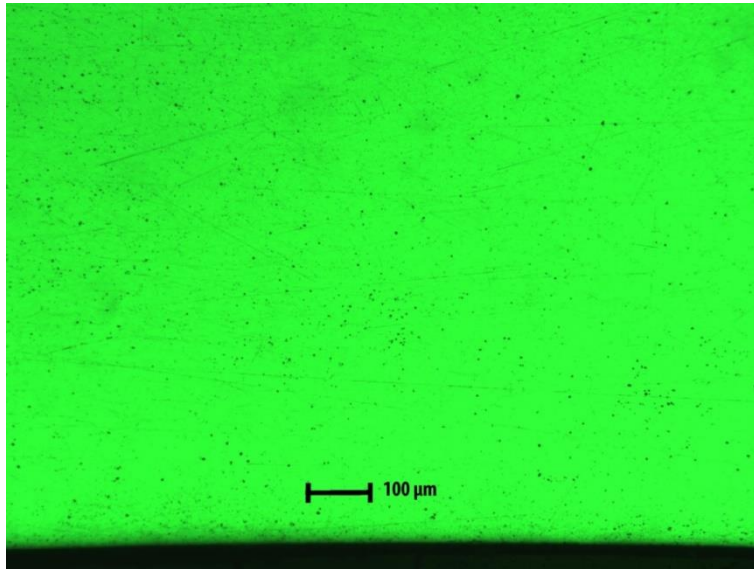


Figura 4.60. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.60 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases claras se aprecian a lo largo y las oscuras se aprecian puntuales en la superficie.

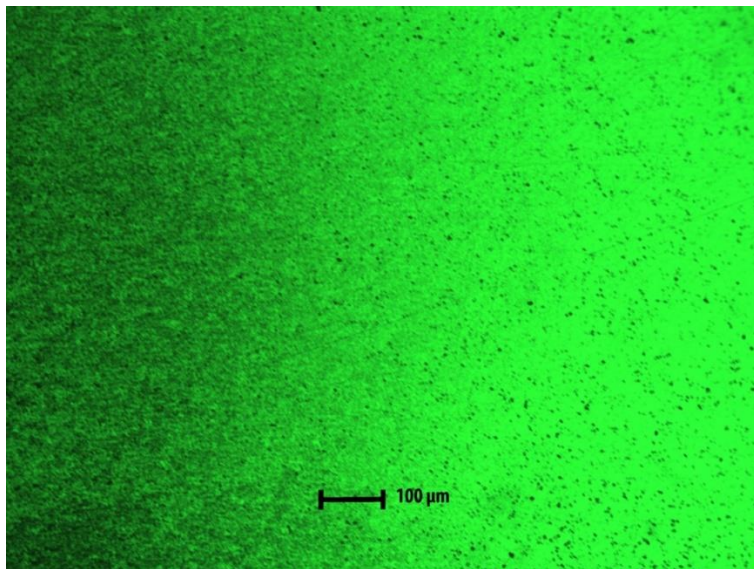


Figura 4.61. Visualización con ataque químico. 80X.

La figura 4.61 se observan dos fases irregulares: la fase blanca y la fase oscura, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador.

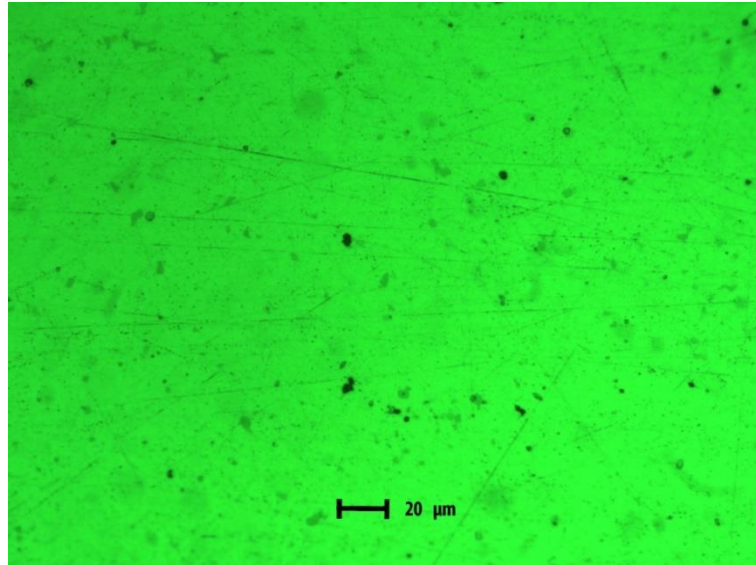


Figura 4.62. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.62 se observa una superficie pulida con un acercamiento mayor con tres fases: oscuras, opacas y claras.

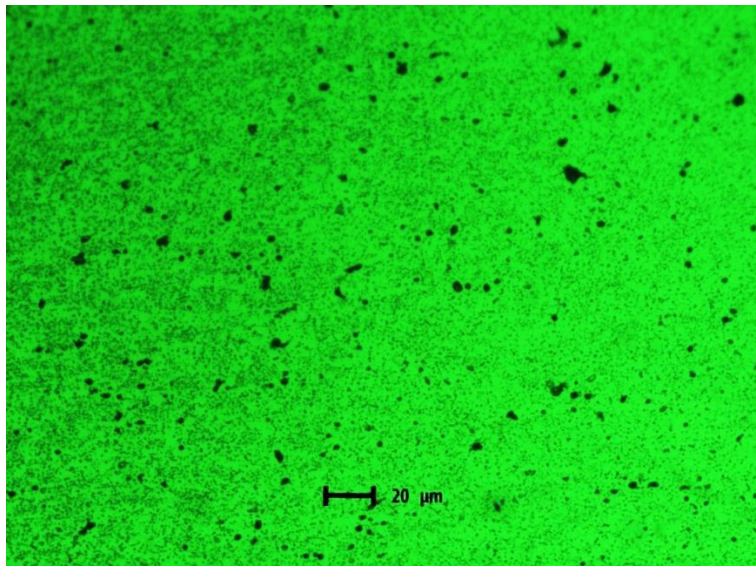


Figura 4.63. Visualización con ataque químico. 250X.

La figura 4.63 se observan tres fases irregulares: fase blanca, fase opaca y fase oscura, se aprecia que casi toda la fase blanca fue diluida con el agente revelador mostrando dos fases más, la fase opaca que se muestra irregular y en la fase oscura se observan disoluciones de las anteriores fases..

4.4.5.3 VISTA SUPERFICIAL

La figura 4.64, 4.65, 4.66 y 4.67, muestran una vista superficial de la pieza 4. La figura 4.64 y 4.66 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.66 y 4.67 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

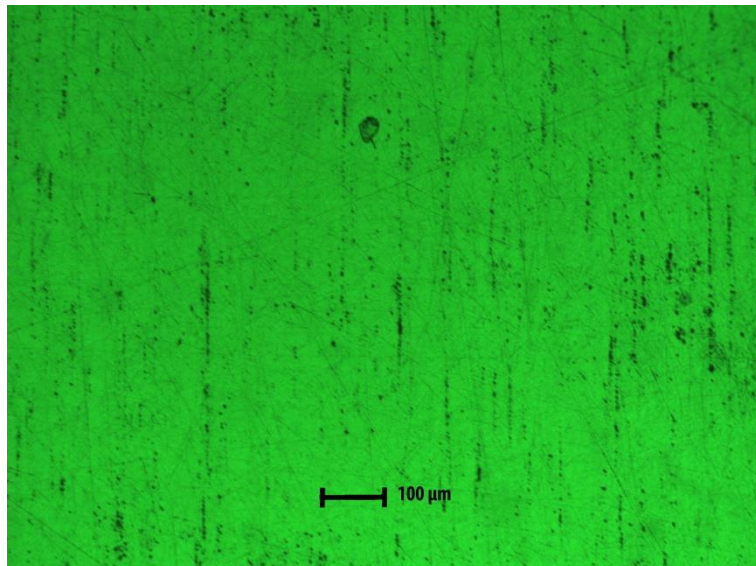


Figura 4.64. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.64 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases oscuras muestran una orientación horizontal y la clara se observa químicamente estable.

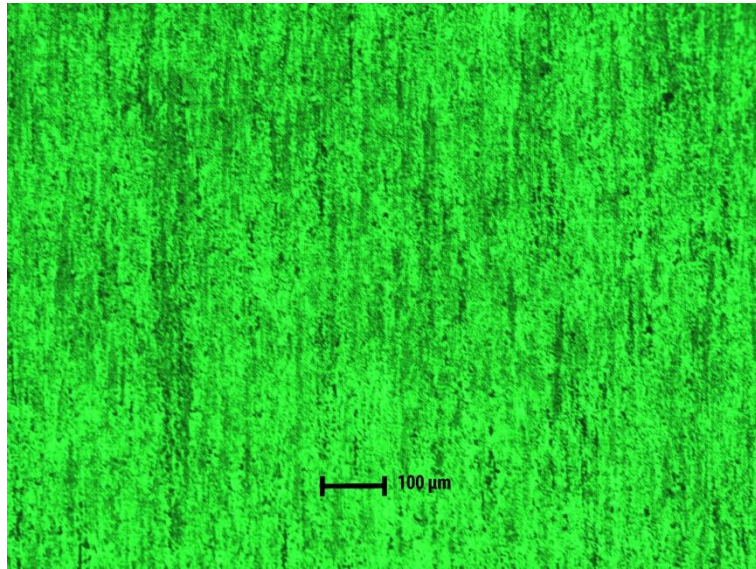


Figura 4.65. Visualización con ataque químico. 80X.

La figura 4.65 muestra tres fases: fase clara, opaca y oscura. La fase clara se aprecia puntual a lo largo de toda la superficie, la fase opaca se aprecia irregular y la fase oscura se aprecia un incremento de tamaño de sus partículas.

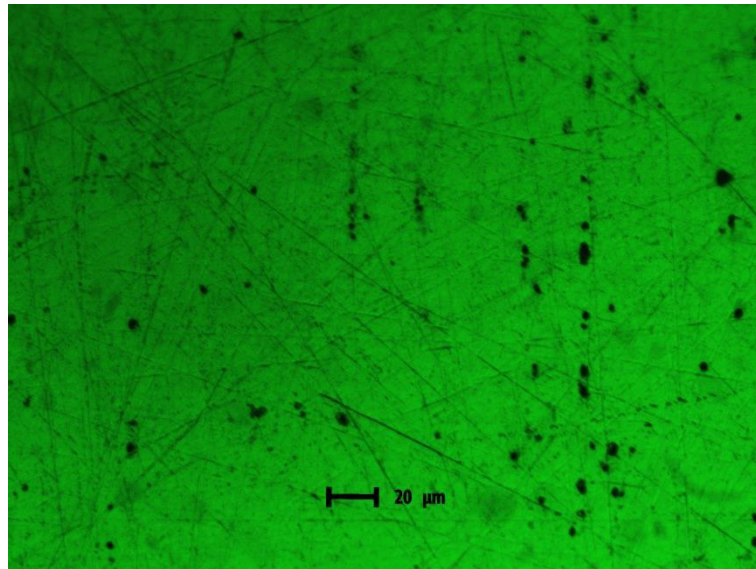


Figura 4.66. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.66 se observa una superficie pulida con un mayor acercamiento con dos fases: oscuras y claras. Las fases oscuras muestran una orientación horizontal y la clara se observa químicamente estable.

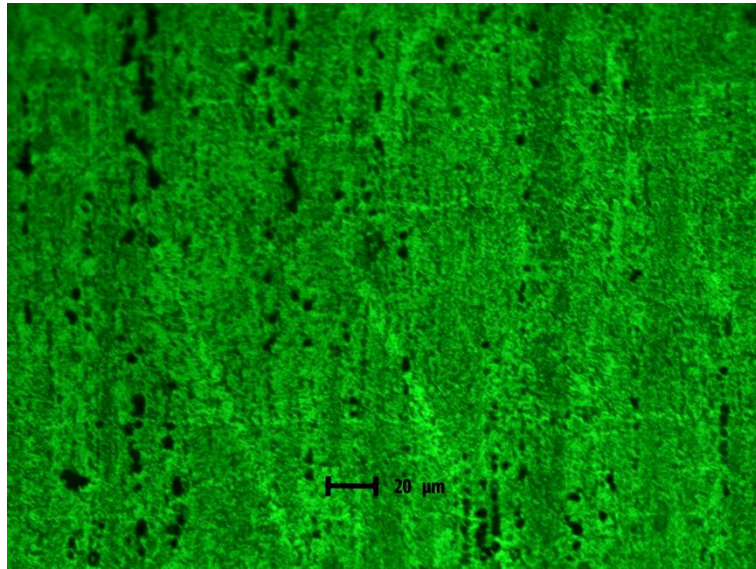


Figura 4.67. Visualización con ataque químico. 250X.

La figura 4.67 muestra tres fases: fase clara, opaca y oscura. La fase clara en esta figura se aprecia irregular a lo largo de toda la superficie, la fase opaca se aprecia irregular y la fase oscura se aprecia un incremento de tamaño de sus partículas.

4.4.5.4 DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 4

En la figura 4.68, se puede apreciar las tres vistas distintas de la pieza 4.

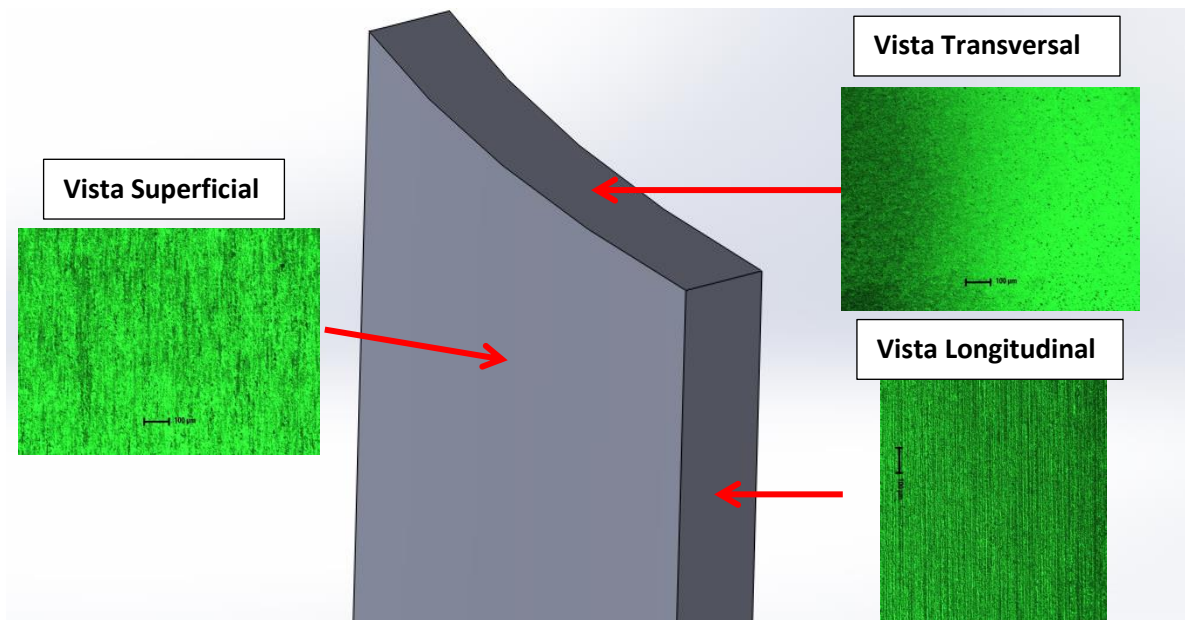


Figura 4.68. Apreciación de las tres vistas de estudio de pieza 4.

Dado a la observación de la figura 4.68, se puede concluir que la pieza fue fabricada mediante el proceso de extrusión, debido a que la vista trasversal no posee deslizamientos y la vista superficial y longitudinal posee deslizamientos los cuales son propios de procesos de extrusión, se concluye que fue fabricada por proceso de extrusión.

4.4.6 ANALISIS PIEZA 5

Para la pieza 5 se realizó el análisis tanto de la vista frontal como la longitudinal para determinar la igualdad entre las superficies con pieza 6. Se procedió al análisis de la vista frontal como la longitudinal y así poder apreciar múltiples rasgos de sus superficies. En la figura 4.69 se muestra una vista isométrica de la pieza. En la figura 4.70 se muestra la vista frontal, y en la figura 4.71 se muestra la vista longitudinal que se analizó

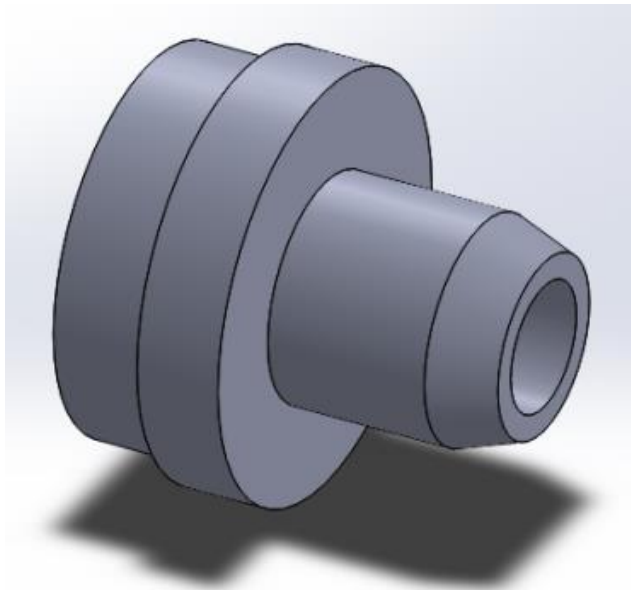


Figura 4.69. Vista isométrica de PIEZA 5

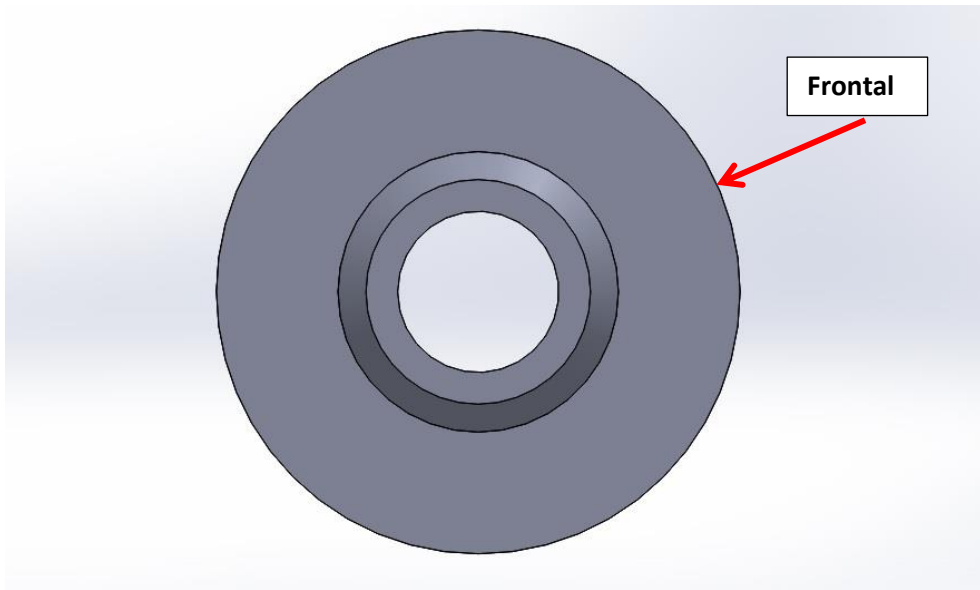


Figura 4.70. Vista frontal y sección analizada.

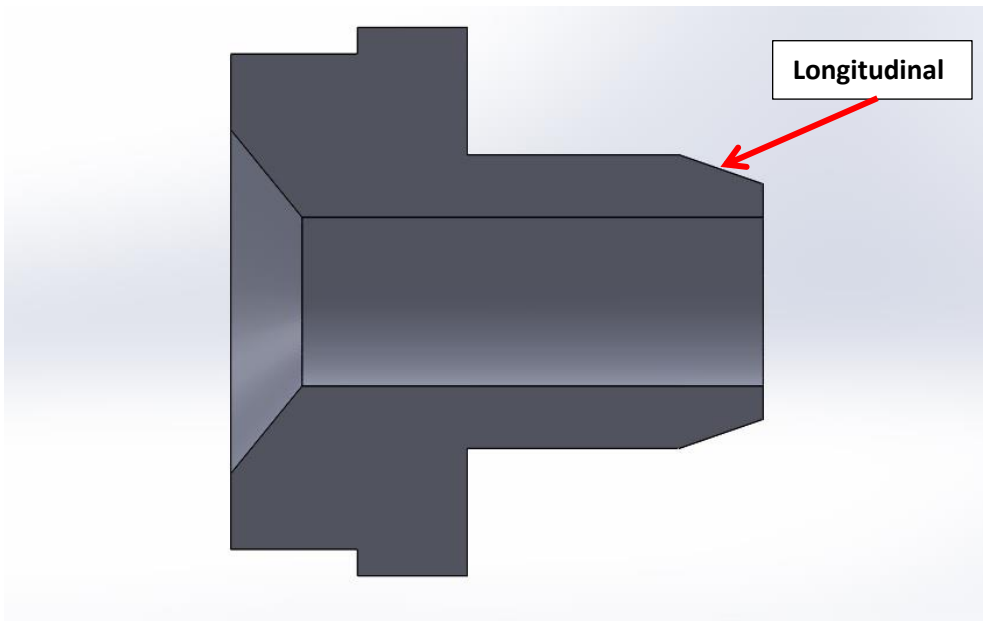


Figura 4.71. Vista logitudinal y sección analizada.

Para esta pieza solo se analizó la vista frontal y longitudinal, dado a que de acuerdo a las dos vistas analizadas se aparenta un proceso de fabricación muy en particular.

4.4.6.1 VISTA FRONTAL

En la figura 4.72 y 4.73 se muestra la vista frontal en un acercamiento considerable

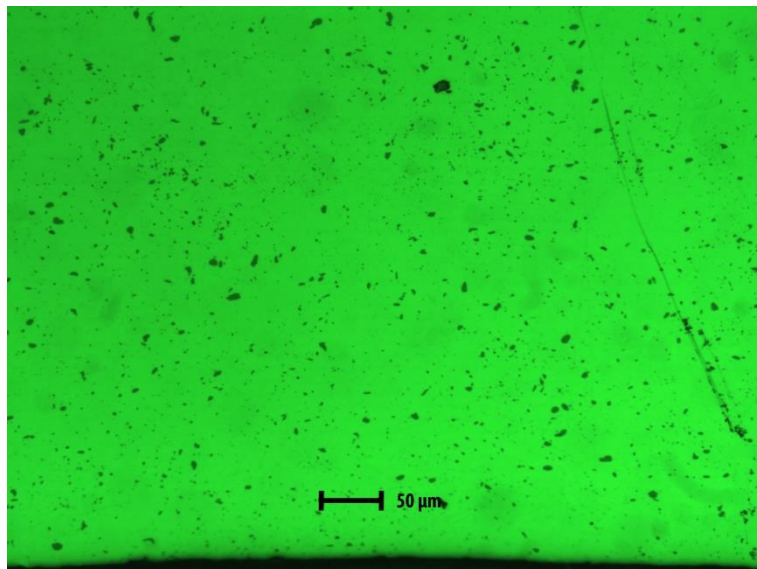


Figura 4.72. Visualización sin ataque químico. 120X.

En la figura 4.72 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases oscuras se muestran puntuales y la clara se observa químicamente estable a rededor de toda la superficie.

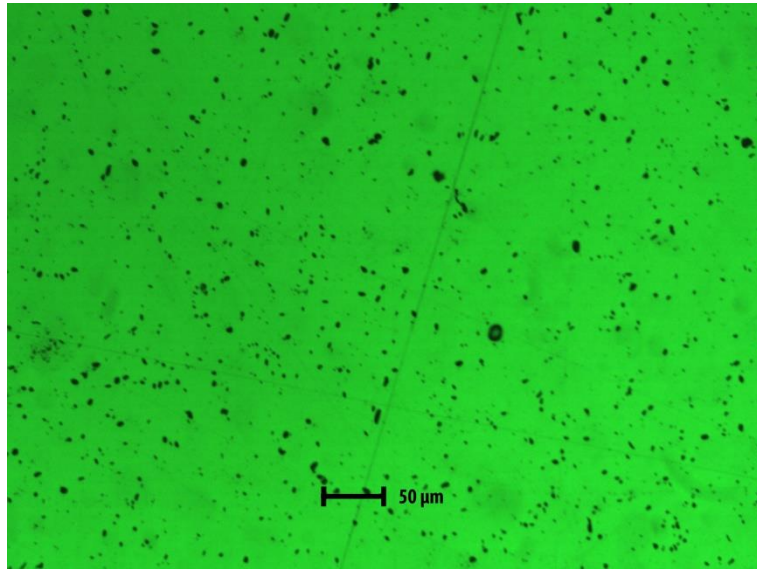


Figura 4.73. Visualización con ataque químico. 120X.

En la figura 4.73 se observa que la fase blanca se diluyó casi imperceptiblemente, y por consiguiente la fase negra aumento solo un poco su tamaño, no se aprecia un cambio considerable entre la figura sin revelar a comparación de la revelada.

4.4.6.2 VISTA LONGITUDINAL

En la figura 4.74 y 4.75 se muestra la vista longitudinal en un acrecamiento considerable.

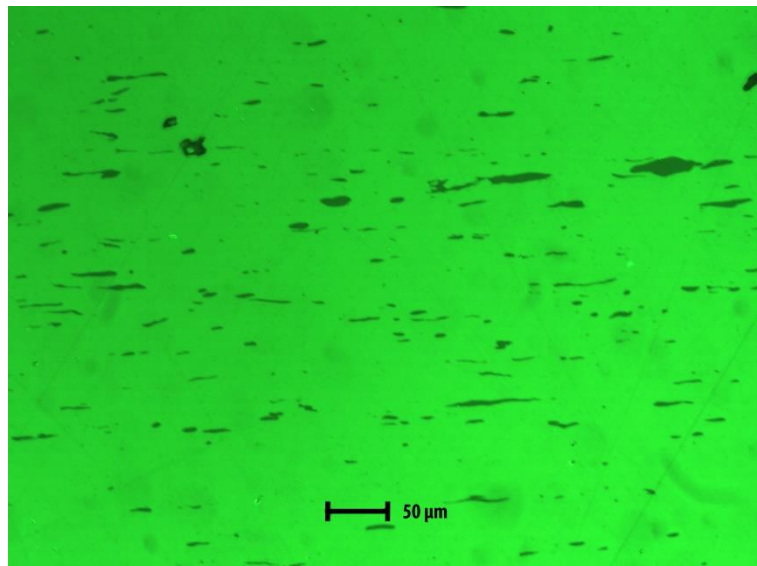


Figura 4.74. Visualización sin ataque químico. 120X.

En la figura 4.74 se observa una superficie pulida con dos fases: oscuras y claras. Las fases oscuras se muestran alargadas y la clara se observa químicamente estable a rededor de toda la superficie.

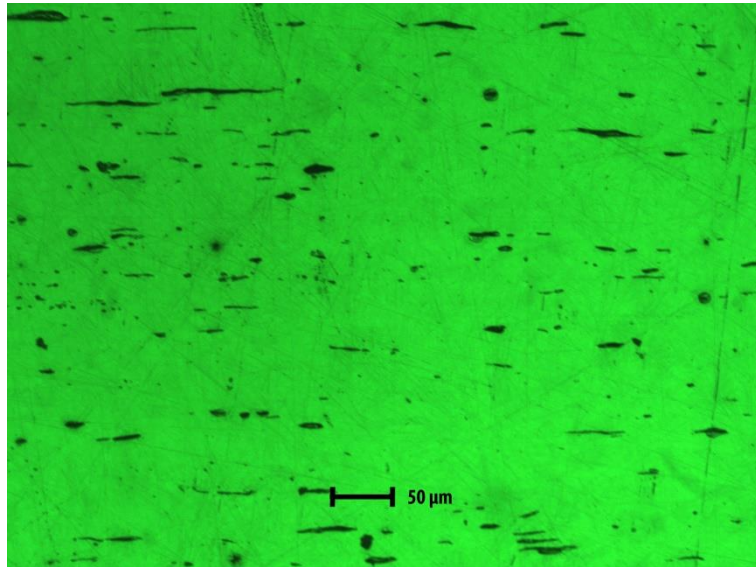


Figura 4.75. Visualización con ataque químico. 120X.

En la figura 4.75 se observa que la fase blanca se diluyó casi imperceptiblemente, y por consiguiente la fase negra aumentó solo un poco su tamaño, no se aprecia un cambio considerable entre la figura sin revelar a comparación de la revelada.

No se incluyeron menores aumentos en las imágenes anteriores debido a que su estructura siempre se mantenía uniforme entre la superficie atacada y no atacada, y por ello solo se incluyeron a un aumento común entre cada una.

4.4.6.3. DISTINCIÓN DE PROCESO DE FABRICACIÓN PARA PIEZA 5

En la figura 4.76, se puede apreciar las dos vistas distintas de la pieza 5.

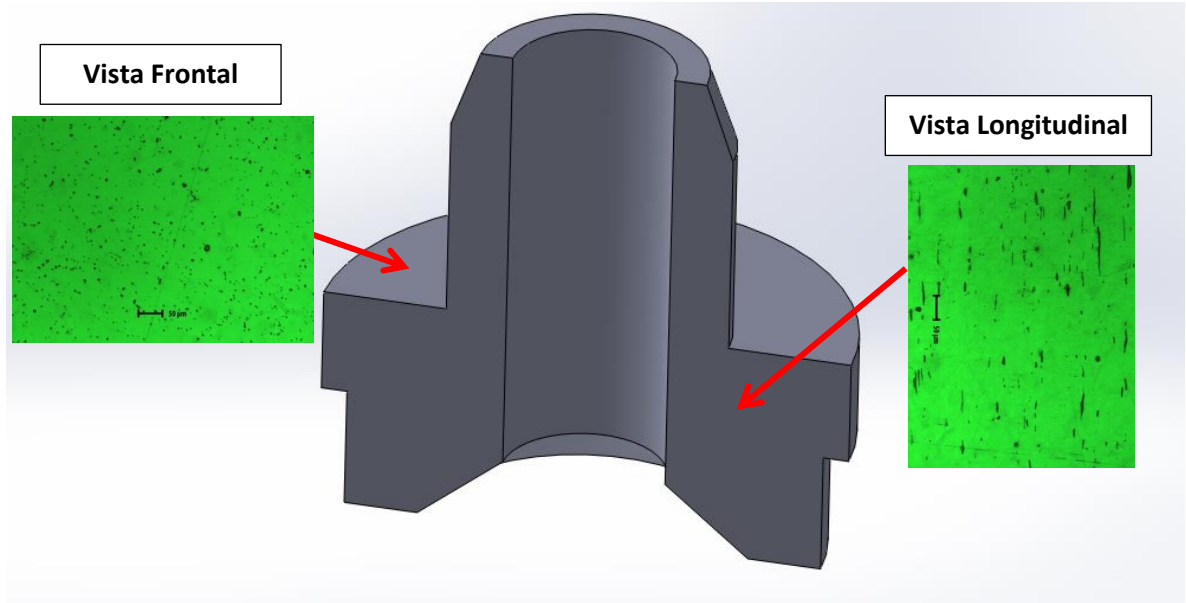


Figura 4.76. Visualización de las dos vistas analizadas de la pieza 5.

Podemos apreciar el proceso de construcción de acuerdo a las dos vistas de las figuras, dado a que en la vista frontal solo se observan puntos definidos, y en la vista longitudinal se observan puntos alargados, se puede concluir que fue construido por forja.

4.4.7 ANÁLISIS SOLDADURA

En la figura 4.77 se muestran las secciones de soldadura analizadas.



Figura 4.77. Secciones de soldadura analizada.

La sección de la figura 4.77 es parte de la denominada pieza 3, la cual se cortó como se muestra en la figura 4.78 y en la figura 4.79 se muestra la vista superficial de la sección analizada.

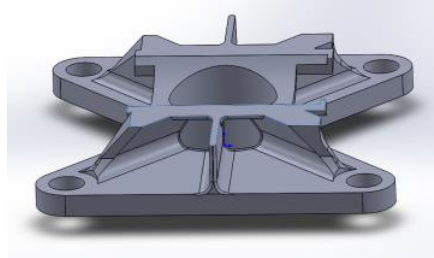


Figura 4.78. Pieza 3 cortada.

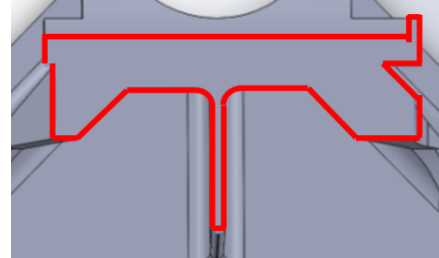


Figura 4.79. Vista superficial de sección analizada.

La figura 4.80, 4.81, 4.82 y 4.83 se muestra el análisis de la soldadura. La figura 4.80 y 4.82 muestran la vista sin la sustancia reveladora Keller solo para efectos de visualización de su estructura sin ataque químico. La figura 4.82 y 4.83 muestran un acercamiento mayor a la superficie.

A micrograph showing a surface with a greenish-yellow color. The surface appears to have two distinct phases: a lighter, more uniform area and a darker, more textured area. A scale bar at the bottom right indicates 100 μm.

Figura 4.80. Visualización sin ataque químico. 80X.

En la figura 4.80 se observa una superficie pulida, con dos fases, se aprecia una fase clara químicamente estable y un cambio de fase oscuro puntual.

124

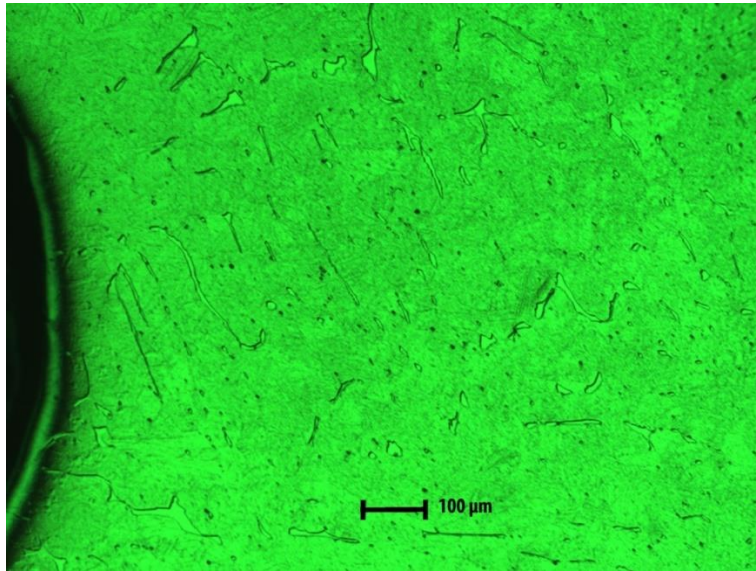


Figura 4.81. Visualización con ataque químico. 80X.

En la figura 4.81 se observan dos fases químicamente estables, unas claras y otras un poco más opacas. Las fases claras se observan puntuales y alargadas y las opacas se observan recubriendo la mayor parte de la superficie.

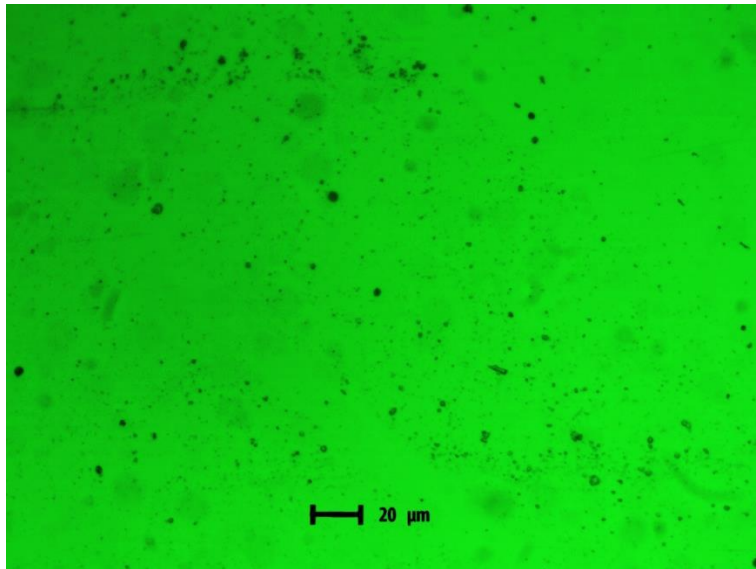


Figura 4.82. Visualización sin ataque químico. 250X.

En la figura 4.82 se observa una superficie pulida con un acercamiento mayor, con dos cambios de fases, se aprecia un cambio de fase claro químicamente estable y un cambio de fase oscuro puntual.

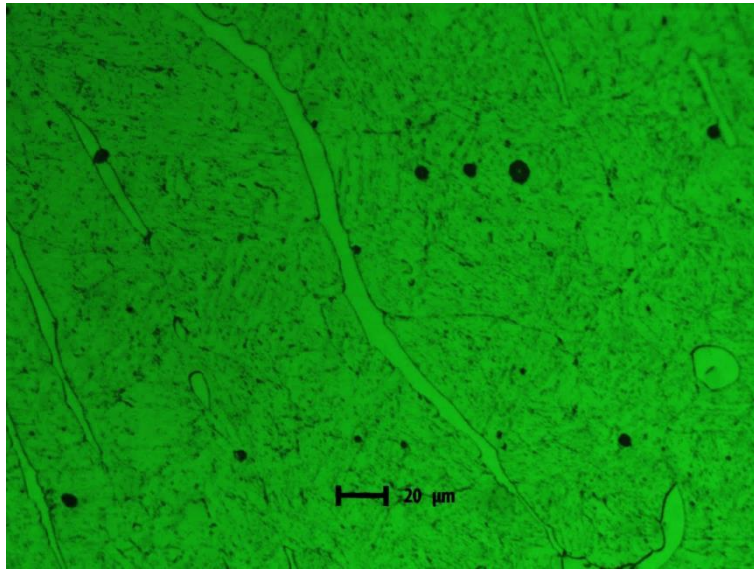


Figura 4.83. Visualización con ataque químico. 250X.

En la figura 4.83 se observan tres fases: unas claras, otras un poco más opacas y unas fases oscuras. Las fases claras se observan puntuales y alargadas, las opacas se observan recubriendo la mayor parte de la superficie y las fases oscuras se observan puntuales.

4.4.8 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA, MEB.

4.4.9. ESTUDIO POR MEB: PIEZA 1

En la figura 4.84 se muestra una imagen realizada por medio de electrones retrodispersados que barren la superficie y se obtienen imágenes. Estas imágenes son de la muestra superficial que fue sometida a microscopia electrónica de barrido (MEB).

Electron Image M1

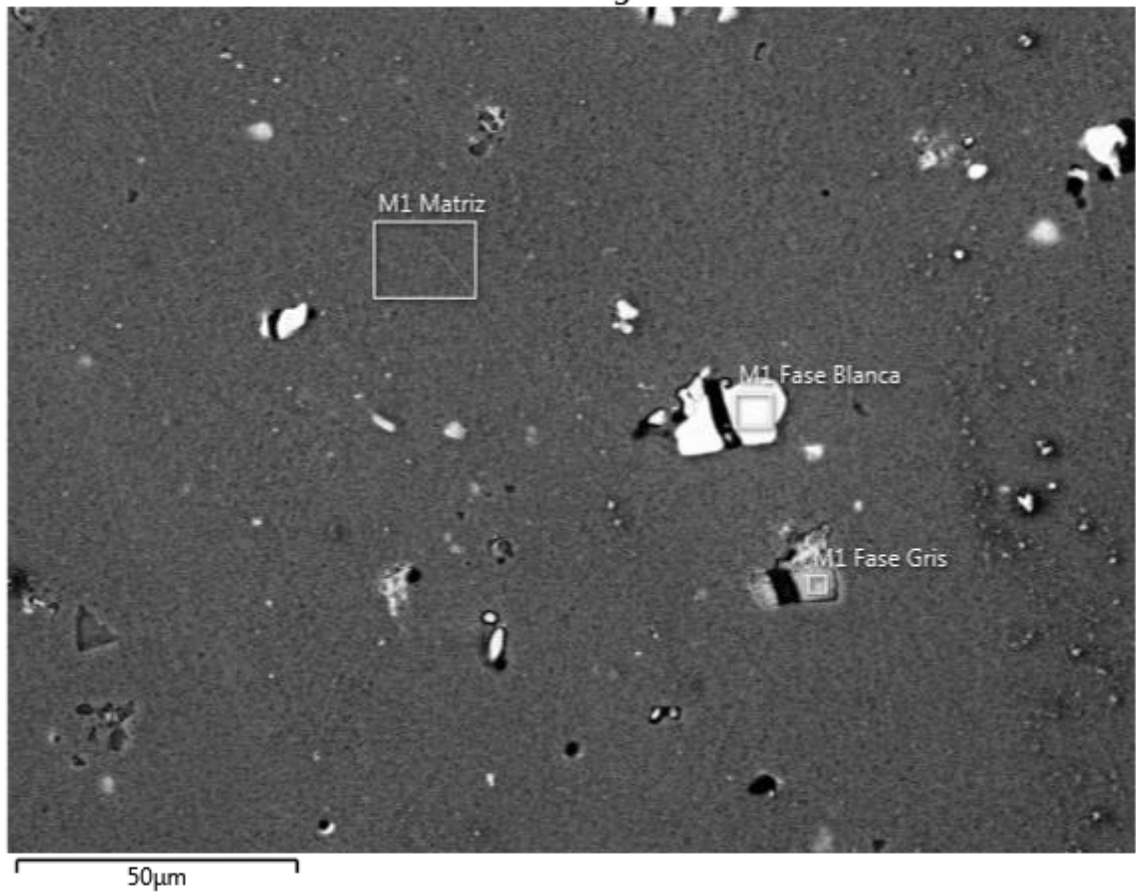


Figura 4.84. Análisis superficial de PIEZA 1

En la figura 4.84 se observan 3 fases diferentes: Fase matriz, fase blanca y fase gris. Estas fases deben de caracterizarse determinando los diferentes elementos que los componen y esto se logra por medio de la medición de los electrones retrodispersados hacia la muestra. En las figuras siguientes se muestra la descripción de los diferentes materiales detectados constituyentes de la pieza 1.

4.4.9.1 ESTUDIO MEB: MATRIZ

De acuerdo a la figura 4.84, se realizó estudio MEB a la fase Matriz de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.85.

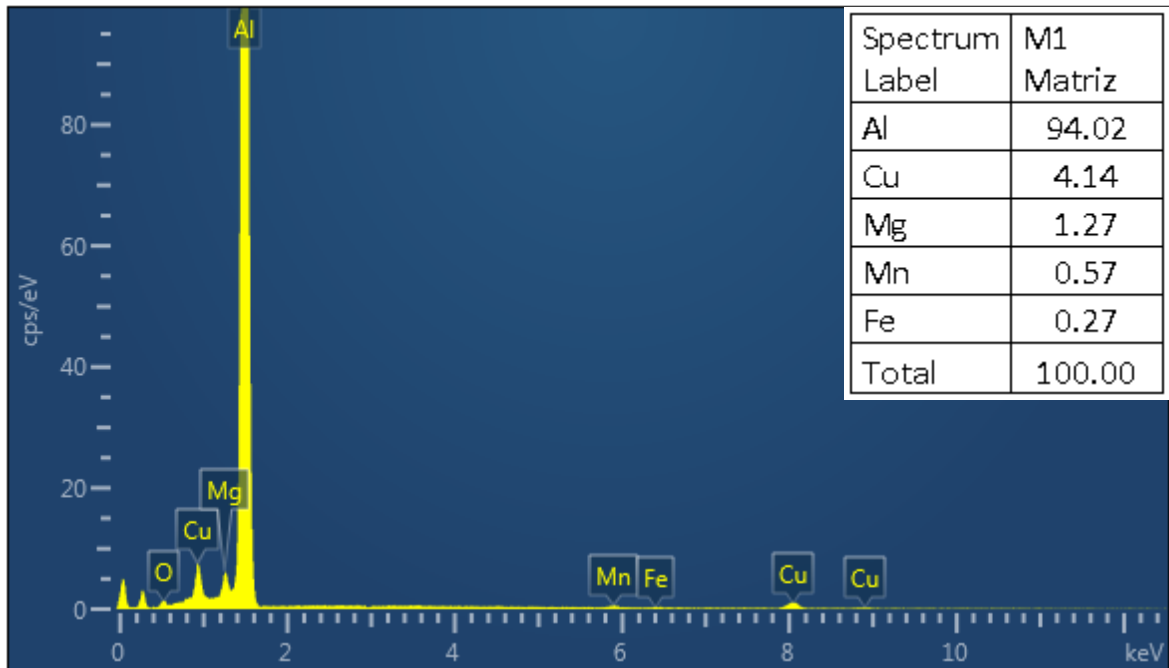


Figura 4.85. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matriz.

En la figura 4.82 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase matriz.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

4.4.9.1.1 DIAGRAMA DE FASE Al-Cu

Para una concentración base aluminio aleada a 4.14 % de cobre se traza una línea en el 4.14 % de cobre, en el diagrama de fase 4.1 Al-Cu del anexo 4.

Se determinó que la aleación se solubiliza a un estado sólido a una temperatura de 520 °C en una fase α (Al) al 100 %. A temperaturas inferiores a los 520°, coexisten dos fases: α y θ , donde α es la fase dominante y θ debe estar formando el compuesto eutéctico.

Mediante la tabla 4.9 se muestran algunas de las características de la fase α (Al).

Tabla 4.9. Características de las fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Cu	Estructura Cristalina	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 5.65	FCC	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.9.1.2 DIAGRAMA DE FASE Al-Mg

Para una concentración base aluminio aleada a 1.27 % de magnesio se traza una línea en el 1.27 % de magnesio, en el diagrama de fase 4.2 Al-Mg del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 655 °C y se puede observar que el magnesio está en fase α (Al) de 100 °C a 640 °C y de 640 °C a 655 °C la solución se encuentra en un estado α (Al) y líquida. En la tabla 4.10 se muestran las características de la fase α (Al).

Tabla 4.10. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mg	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 17.1	cF4	Fm $\bar{3}$ m

Al agregar Mg al Aluminio la aleación adquiere una gran resistencia tras el conformado en frío [4.2].

La adición de Mg en esta aleación puede parecer que no tiene efecto por la cantidad mínima la cual contiene, pero al agregar el Mg y otros elementos aleantes al Al, se puede mejorar notablemente las propiedades mecánicas para el componente.

4.4.9.1.3. DIAGRAMA DE FASE Al-Mn

Para una concentración base aluminio aleada a 0.57 % de manganeso se traza una línea en el 0.57 % de manganeso, mostrada en el diagrama de fase 4.3 Al-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660.452 °C y se puede observar que el magnesio está en fase α (Al) de los 500 °C a los 660.452 °C hasta llegar a ser líquido al 100%.

En la tabla 4.11 se muestran las características de la fase α (Al).

Tabla 4.11. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mn	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 1.25	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.9.1.4 DIAGRAMA DE FASE Al-Fe

Para una concentración base aluminio aleada a 0.27 % de hierro y de 94.02 % de Aluminio, se traza una línea en el 99.73 % de aluminio, en el diagrama de fase 4.4 Al-Fe del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660.452 °C y se puede observar que antes de esa temperatura la aleación se encuentra entre dos fases: fase $FeAl_3$ y fase α (Al), pero como se encuentra muy cerca de la fase α (Al), se concluye que contiene una cantidad mayor de esa misma fase.

4.4.9.2 ESTUDIO MEB FASE BLANCA

De acuerdo a la figura 4.84, se realizó estudio MEB a la fase Blanca de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.86.

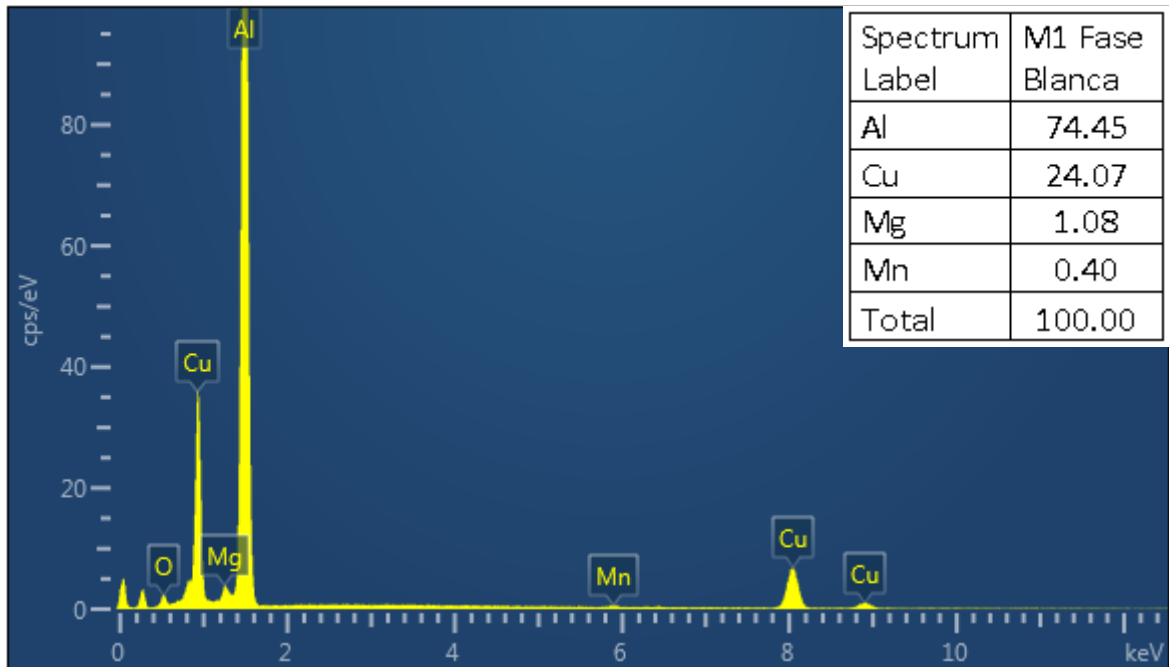


Figura 4.86. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase blanca.

En la figura 4.86 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Blanca.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

4.4.9.2.1 DIAGRAMA DE FASE Al-Cu

De acuerdo al diagrama de fases Al-Cu, mostrado en la Figura 4.1 del Anexo 4 de diagramas de fase. Para una concentración de aluminio de 24.07 % en peso de cobre, se funde la fase α a una temperatura de 610 °C. Entre los 610° y 545 °C están presentes las fases α sólida (Al) y líquido. Entre los 300 a 545 °C, se encuentran presentes dos fases: fase α (Al) y fase θ , de la cual de la fase α (Al) se tiene un 49.84 % y de fase θ se tiene un 39.28 %, estos cálculos se realizan empleando la regla de la palanca.

En la tabla 4.12 se muestran las características de las dos fases.

Tabla 4.12. Características de las fases α (Al) y θ .

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 5.65	cF4	Fm $\bar{3}$ m
θ	52.7 a 53.7	tI12	I4/mcm

4.4.9.2.2 DIAGRAMA DE FASE Al-Mg

Para una concentración base aluminio aleada a 1.08 % de magnesio se traza una línea en el 1.08 % de magnesio, en el diagrama de fase 4.2 Al-Mg del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 655 °C y se observa que de los 100 °C a los 630 °C se mantiene en la fase α (Al), luego de los 630 °C a los 655 °C se mantiene en solución α (Al) y líquida la cual sus características se describen en la tabla 4.13.

Tabla 4.13. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mg	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 17.1	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.9.2.3 DIAGRAMA DE FASE Al-Mn

Para una concentración base aluminio aleada a 0.4 % de manganeso se traza una línea en el 0.4 % de magnesio, en el diagrama de fase 4.3 Al-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660.452 °C y se observa que de los 500 °C a los 510 °C la solución se encuentra mayormente en fase α (Al), luego de los 510 °C a los 660.452 °C se encuentra en un compuesto al 100 % de fase α (Al), en la tabla 4.14 se muestran las características de la fase.

Tabla 4.14. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mn	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 1.25	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.9.3 ESTUDIO MEB FASE GRIS

De acuerdo a la figura 4.84, se realizó estudio MEB a la fase Gris de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.87.

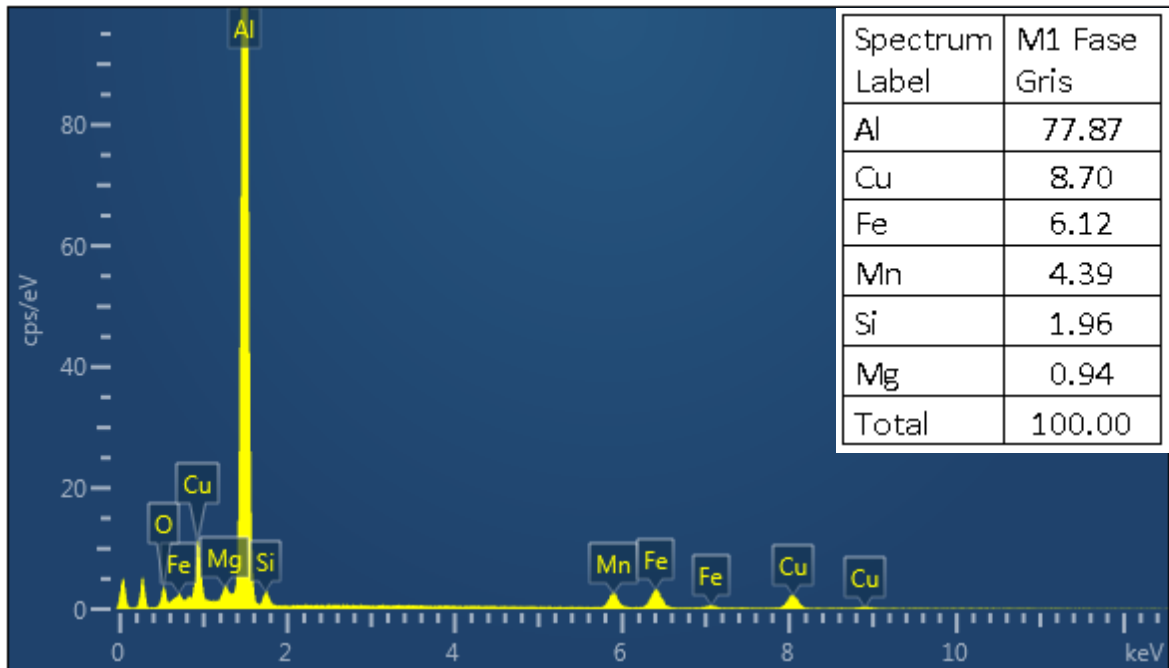


Figura 4.87. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris.

En la figura 4.87 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Gris.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las

distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

4.4.9.3.1 DIAGRAMA DE FASE Al-Cu

Para una concentración base aluminio aleada a 8.70 % de cobre se traza una línea en el 8.70 % de cobre, en el diagrama de fase 4.1 Al-Cu del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 640 °C, de los 300 a los 545 °C, y por “regla de la palanca” se determina que la solución a esa temperatura se encuentra entre dos fases: fase α (Al) y fase θ , de la cual de la fase α (Al) se tiene un 94.13 % y de fase θ se tiene un 5.86 %. Pasando la temperatura de 545 °C a 640 °C la solución se encuentra entre una fase Solida (Al) y líquida.

En la tabla 4.15 se muestran las características de las dos fases.

Tabla 4.15. Características de las fases α (Al) y θ .

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 5.65	cF4	Fm $\bar{3}$ m
θ	52.7 a 53.7	tI12	I4/mcm

4.4.9.3.2 DIAGRAMA DE FASE Al-Fe

Para una concentración base aluminio aleada a 6.12 % de hierro se traza una línea en el 6.12 % de hierro representativo en 93.88 de Al, en el diagrama de fase 4.4 Al-Fe del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 655 °C, y por “regla de la palanca” se determina que la solución a esa temperatura se encuentra entre dos fases:

fase FeAl_3 y fase α (Al), de la cual de la fase FeAl_3 se tiene un 15.69 % y de fase α (Al) se tiene un 84.30 %. Pasada la temperatura de 655 °C la solución se encuentra en una fase entre FeAl_3 y líquida.

En la tabla 4.16 se muestran las características de las dos fases.

Tabla 4.16. Características de las fases α (Al) y FeAl_3 .

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	100	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$
FeAl_3	58.5 a 61.3	mC102	C2/m

4.4.9.3.3 DIAGRAMA DE FASE Al-Mn

Para una concentración base aluminio aleada a 4.39 % de manganeso se traza una línea en el 4.39 % de manganeso, en el diagrama de fase 4.3 Al-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 700 °C, y por “regla de la palanca” se determina que de los 500 a los 660.452 °C la solución se encuentra entre dos fases: fase α (Al) y fase λ Al_4Mn , de la cual de la fase α (Al) se tiene un 90.68 % y de fase λ Al_4Mn se tiene un 9.31 %. De los 658 °C a los 700 °C se encuentra entre una fase λ Al_4Mn y fase líquida.

En la tabla 4.17 se muestran las características de las dos fases.

Tabla 4.17. Características de las fases α (Al) y λ Al_4Mn .

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 1.25	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$
λ Al_4Mn	~29.4 a ~32	d	----

4.4.9.3.4 DIAGRAMA DE FASE Al-Si

Para una concentración base aluminio aleada a 1.96 % de silicio se traza una línea en el 1.96 % de silicio, en el diagrama de fase 4.5 Al-Si del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660 °C y se observa que el compuesto a una temperatura desde 300 °C hasta los 577 °C se encuentra entre dos fases: la fase α (Al) y la fase (Si), por la “regla de la palanca” se determina que de la fase (Al) hay 0.47 % y de la fase (Si) hay 99.52 %. De los 577 °C a los 660 °C la solución se encuentra entre la fase α (Al) y solución sólida. En la tabla 4.18 se muestran las características de las fases.

Tabla 4.18. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Si	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 1.6	cF4	Fm $\bar{3}$ m
(Si)	99.985 a 100	cF8	Fd $\bar{3}$ m

4.4.9.3.5 DIAGRAMA DE FASE Al-Mg

Para una concentración base aluminio aleada a 0.94 % de magnesio se traza una línea en el 0.94 % de magnesio, en el diagrama de fase 4.2 Al-Mg del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660 °C y se observa que de 100 °C a 640 °C que el compuesto se encuentra en la fase α (Al), y de los 640 °C a los 660 °C la solución se encuentra en una fase α (Al) y líquida, en la tabla 4.19 se muestran las características de la fase.

Tabla 4.19. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mg	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 17.1	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.10 ESTUDIO MEB: PIEZA 2

Se analizó una muestra superficial de la pieza 2 para determinar los tipos de materiales constituyentes de los mismos.

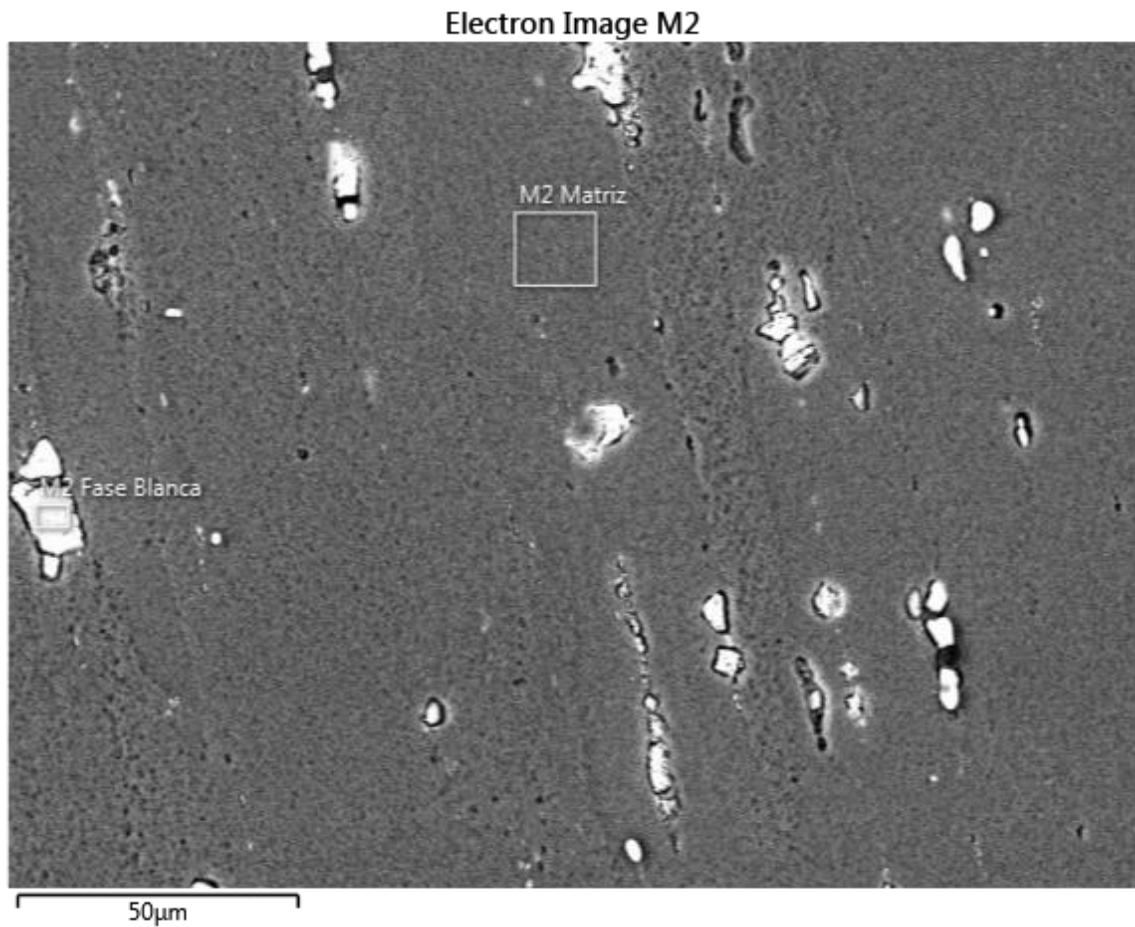


Figura 4.88. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 2.

En la figura 4.88 se observan 2 fases diferentes: Fase matricial y Fase Blanca. En las figuras siguientes se muestra la descripción de los diferentes materiales constituyentes de la pieza 2.

4.4.10.1 ESTUDIO MEB MATRIZ

De acuerdo a la figura 4.88, se realizó estudio SEM a la fase Matriz de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.89.

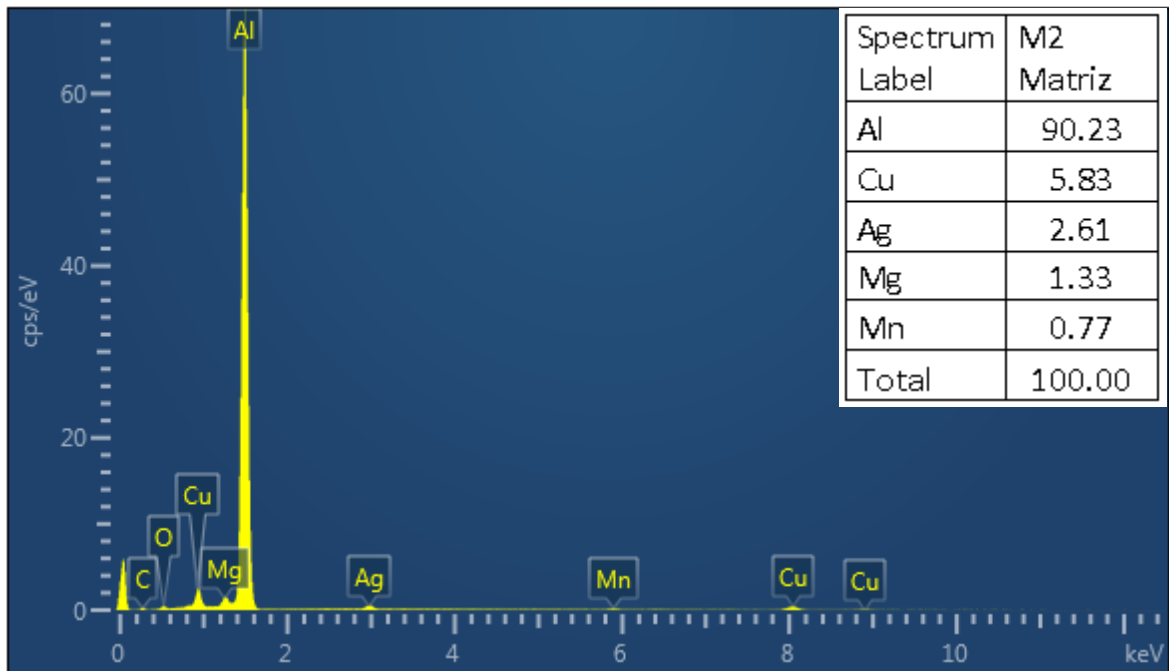


Figura 4.89. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matricial.

En la figura 4.89 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Matriz.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

4.4.10.1.1 DIAGRAMA DE FASE Al-Cu

Para una concentración base aluminio aleada a 5.83 % de cobre se traza una línea en el 5.83 % de cobre, en el diagrama de fase 4.1 Al-Cu del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 650 °C y se observa que de los 300 °C a los 548.2 °C la aleación se encuentra entre dos fases: fase α (Al) y la fase Θ , pero a los 548.2 °C la aleación cambia a fase α (Al) y líquida. Las características de las fases se describen en la tabla 4.20.

Tabla 4.20. Características de las fases α (Al) y Θ .

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 5.65	cF4	Fm $\bar{3}$ m
Θ	52.5 a 53.7	tI12	I4/mcm

4.4.10.1.2 DIAGRAMA DE FASE Al-Ag

Para una concentración base aluminio aleada a 2.61 % de plata se traza una línea en el 2.61 % de plata que es el representativo de 97.39 % de aluminio, en el diagrama de fase 4.6 Al-Ag del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660 °C y se observa que a 210 °C la aleación cambia a fase (Al), luego hasta los 650 °C la aleación se mezcla entre solución sólida (Al) y líquida hasta llegar a los 660 °C donde solubiliza, las características de la fase se describen en la tabla 4.21.

Tabla 4.21. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	100	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.10.1.3. DIAGRAMA DE FASE Al-Mg

Para una concentración base aluminio aleada a 1.33 % de magnesio se traza una línea en el 1.33 % de magnesio, en el diagrama de fase 4.2 Al-Mg del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 665 °C y se observa que de los 100 °C a los 640 °C la aleación se encuentra en fase (Al), luego de los 640 °C a los 665 °C la aleación se mezcla entre fase α (Al) y líquida, las características de la fase se describen en la tabla 4.22.

Tabla 4.22. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 17.1	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.10.1.4 DIAGRAMA DE FASE Al-Mn

Para una concentración base aluminio aleada a 0.77 % de manganeso se traza una línea en el 0.77 % de manganeso, en el diagrama de fase 4.3 Al-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660.452 °C y se observa que de los 500 °C a los 660.452 °C la aleación se mantiene en la fase α (Al), la cual sus características se describen en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 1.25	cF4	Fm $\bar{3}$ m

4.4.10.2 ESTUDIO MEB FASE BLANCA

De acuerdo a la figura 4.88, se realizó estudio MEB a la fase Blanca de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.90.

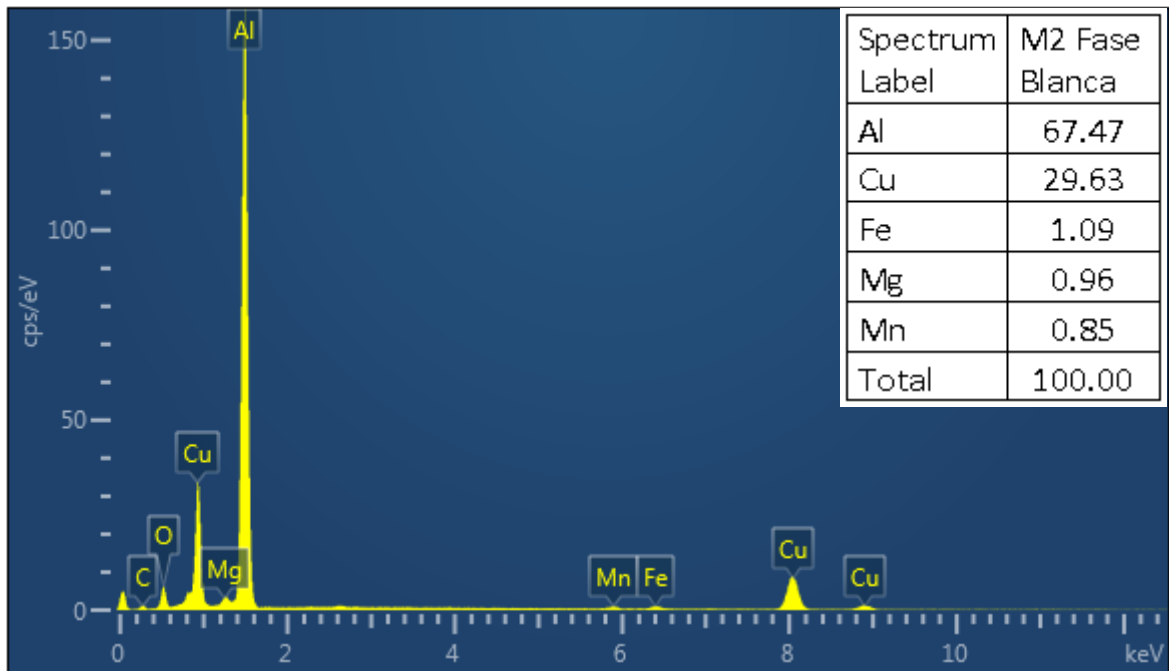


Figura 4.90. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase blanca.

En la figura 4.90 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Blanca.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

4.4.10.2.1 DIAGRAMA DE FASE Al-Cu

Para una concentración base aluminio aleada a 29.63 % de cobre, se traza una línea en el 29.63 % de cobre, en el diagrama de fase 4.1 Al-Cu del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 575 °C, y por “regla de la palanca” se determina que la aleación de los 300 °C a los 548.2 °C se encuentra entre dos fases: fase α (Al) y fase θ , de la cual de la fase α (Al) se tiene un 48.63 % y de fase θ se tiene un 51.36 %. De los 548.2 °C a los 575 °C la aleación se encuentra entre fase α (Al) y líquida.

En la tabla 4.24 se muestran las características de las dos fases.

Tabla 4.24. Características de las fases α (Al) y θ .

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 5.65	cF4	Fm $\bar{3}$ m
θ	52.5 a 53.7	tI112	I4/mcm

4.4.10.2.2 DIAGRAMA DE FASE Al-Fe

Para una concentración base aluminio aleada a 1.09 % de hierro, se traza una línea en el 1.09 % de hierro, en el diagrama de fase 4.4 Al-Fe del anexo 4.

Inicialmente la muestra se encuentra en fase α Fe, se observa que la muestra cambia de propiedades magnéticas a una temperatura de 769 °C la cual es la denominada temperatura de Curier, la fase se transforma a una temperatura de 930 °C a una fase de Γ Fe y a 1320 °C la aleación vuelve a cambiar a la fase α Fe y hasta los 1538 cambia a estado líquido. En la tabla 4.25 se muestran las características de las fases.

Tabla 4.25. Características de fase α Fe.

Fase	Composición, % en peso, Fe	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a ~28	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 0.6	cF4	$Fm\bar{3}m$

4.4.10.2.3 DIAGRAMA DE FASE Al-Mg

Para una concentración base aluminio aleada a 0.96 % de magnesio, se traza una línea en el 0.96 % de magnesio, en el diagrama de fase 4.2 Al-Mg del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 655 °C y se puede observar que de los 100 °C a los 640 °C la aleación se encuentra en fase α (Al) y de los 640 °C a los 655 °C la aleación se encuentra en fase α (Al) y líquida.

En la tabla 4.26 se muestran las características de la fase α (Al).

Tabla 4.26. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mg	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 17.1	cF4	$Fm\bar{3}m$

4.4.10.2.4 DIAGRAMA DE FASE Al-Mn

Para una concentración base aluminio aleada a 0.85 % de manganeso, se traza una línea en el 0.85 % de manganeso, en el diagrama de fase 4.3 Al-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 660.452 °C y se puede observar que de los 500 °C a los 660.452 °C la aleación está en fase α (Al) en solución sólida.

En la tabla 4.27. se muestran las características de la fase α (Al).

Tabla 4.27. Características de fase α (Al).

Fase	Composición, % en peso, Mn	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α (Al)	0 a 1.25	cF4	Fm $\bar{3}m$

4.4.11 ESTUDIO MEB: PIEZA 3

Se analizó una muestra superficial de la pieza 3 para determinar los tipos de materiales constituyentes de los mismos.

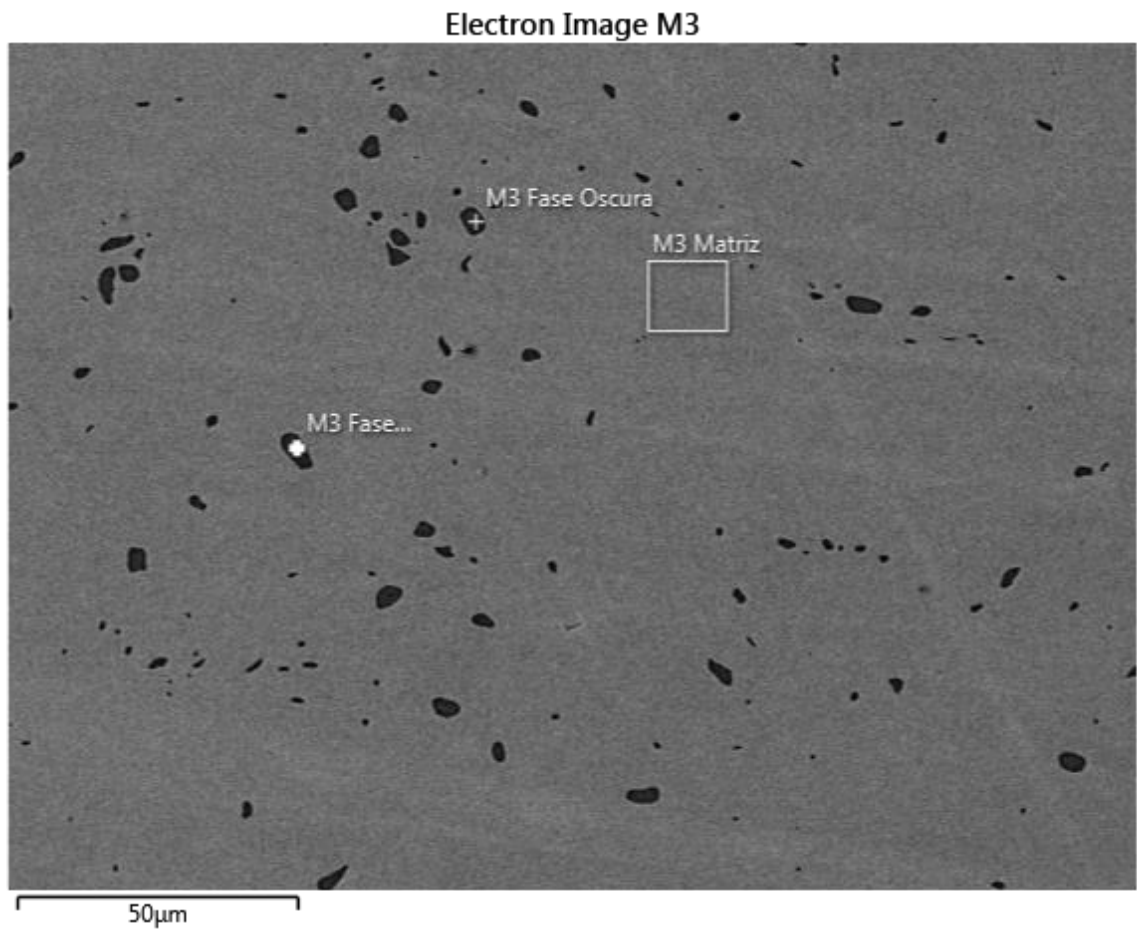


Figura 4.91. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 3.

En la figura 4.91 se observan 3 fases diferentes: Fase matricial, fase oscura 1 y fase oscura 2. En las figuras siguientes se muestra la descripción de los diferentes materiales constituyentes de la pieza 3.

4.4.11.1 ESTUDIO MEB MATRIZ

De acuerdo a la figura 4.91, se realizó estudio MEB a la fase Matriz de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.92.

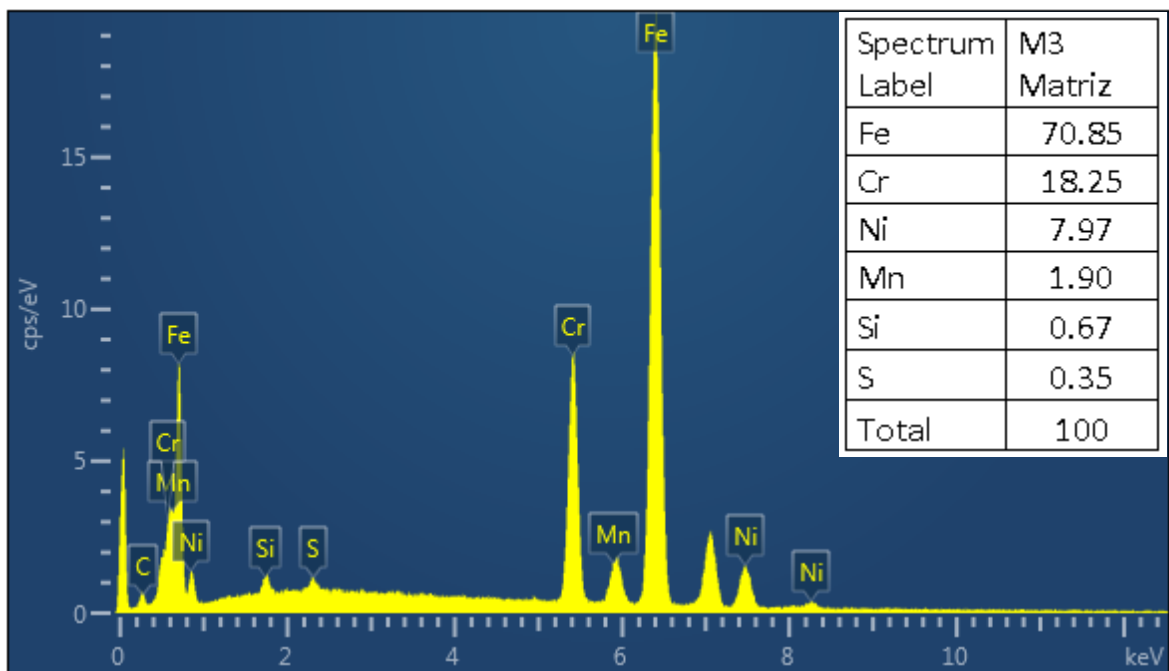


Figura 4.92. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matricial.

En la figura 4.92 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Matriz.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, los cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenitico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y pertenece a la serie 300 y es el denominado 301 [4.3].

4.4.11.2 ESTUDIO MEB FASE OSCURA

De acuerdo a la figura 4.91, se realizó estudio MEB a la fase Oscura de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.93.

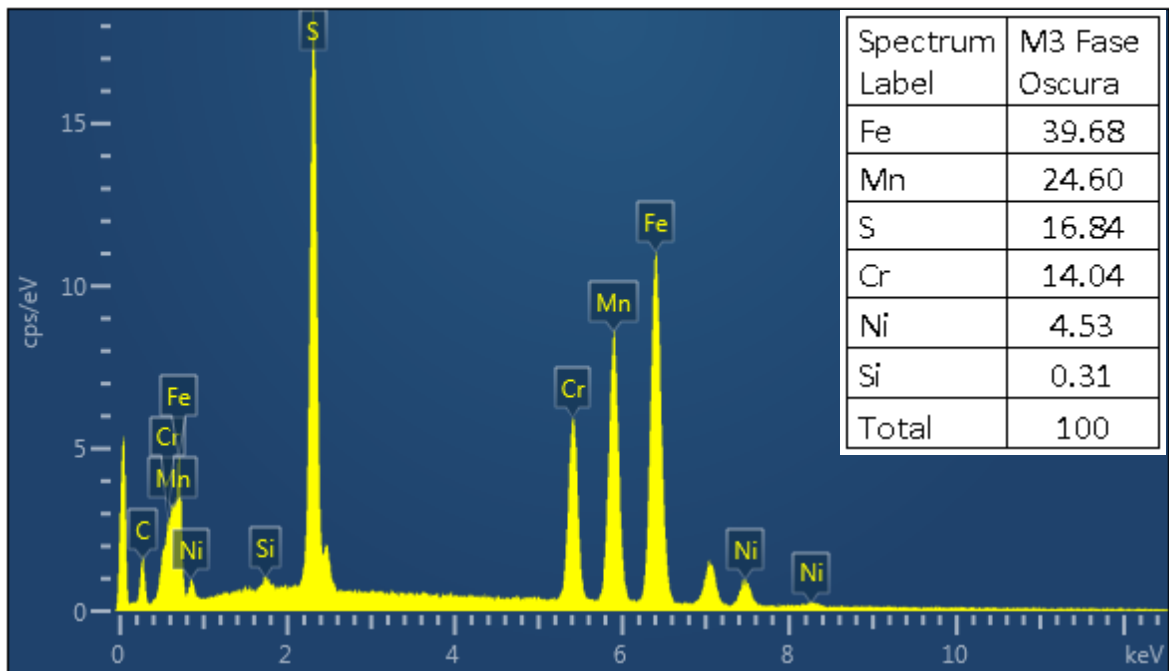


Figura 4.93. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase oscura 1.

En la figura 4.93 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Oscura.

Por la combinación de los elementos Fe, Cr y Ni al parecer se hablar de una aleación de acero inoxidable que podría estar patentada, dado a esa combinación no aparece en la literatura.

4.4.11.2.1 DIAGRAMA DE FASE Fe-Mn

Para una concentración base hierro aleada a 24.6 % de manganeso, se traza una línea en el 24.6 % de manganeso, en el diagrama de fase 4.7 Fe-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1430 °C, y se determina que la aleación a una temperatura de 200 °C a 480 °C se encuentra entre una fase αFe y una $\Gamma\text{Fe-}\Gamma\text{Mn}$, de los 480 °C a los 1410 °C se encuentra en una fase $\Gamma\text{Fe-}\Gamma\text{Mn}$ y de los 1410 °C a los 1430 °C la aleación se encuentra entre la fase $\Gamma\text{Fe-}\Gamma\text{Mn}$ y líquida. En la tabla 4.28 se muestran las características de la fase $\Gamma\text{Fe-}\Gamma\text{Mn}$ y αFe .

Tabla 4.28. Características de la fase $\Gamma\text{Fe-}\Gamma\text{Mn}$ y αFe .

Fase	Composición , % en peso, Mn	Símbolo Pearson	Grupo espacial
$\Gamma\text{Fe-}\Gamma\text{Mn}$	0 a 100	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$
αFe	0 a 3	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$

4.4.11.2.2 DIAGRAMA DE FASE Fe-S

Para una concentración base hierro aleada a 16.84 % de azufre, se traza una línea en el 16.84 % de azufre, en el diagrama de fase 4.8 Fe-S del anexo 4. La aleación se solubiliza a 1380 °C, la solución inicialmente de los 100 °C a los 138 °C se encuentra entre fase αFe y αFeS y por regla de la palanca se determina que existe 54.01 % de fase αFe y 45.98 % de fase αFeS , de los 138 °C a los 315 °C se encuentra entre fase αFe y βFeS y por regla de la

palanca se determina que existe 54.01 % de fase αFe y 45.98 % de fase βFeS , de los 315 °C a los 912 °C se encuentra entre fase αFe y ΓFeS y por regla de la palanca se determina que existe 54.01 % de fase αFe y 45.98 % de fase ΓFeS , de los 912 °C a los 988 °C se encuentra entre fase ΓFe y ΓFeS y por regla de la palanca se determina que existe 54.01 % de fase ΓFe y 45.98 % de fase ΓFeS , de los 988 °C a los 1380 °C se encuentra entre fase ΓFe y líquida.

En la tabla 4.29 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.29. Características de las fases αFe , αFeS , βFeS y ΓFeS .

Fase	Composición, % en peso, S	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe	0 a 0.019	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$
αFeS	36.5 a ~38	-----	-----
βFeS	36.5 a ~38	hP24	$\text{P}\bar{6}2\text{c}$
ΓFeS	36.5 a 41	hP4	$\text{P}6_3/\text{mmc}$
ΓFe	0 a ~0.05	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$

4.4.11.2.3 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr

Para una concentración base hierro aleada a 14.04 % de cromo, se traza una línea en el 14.04 % de cromo, en el diagrama de fase 4.9 Fe-Cr del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1513 °C, de los 300 °C a los 460 °C la aleación se encuentra entre dos fases: fase αFe y ΓFe y fase (Cr) y por “regla de la palanca” se determina que se tiene 8.69 % de αFe y ΓFe y 91.30 % de (Cr), de los 460 °C a los 580 °C la aleación se encuentra en fase αFe y ΓFe , de los 580 °C a los 1513 °C la solución se encuentra en la misma fase αFe y ΓFe hasta llegar a líquida.

En la tabla 4.30 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.30. Características de las fases αFe , Cr.

Fase	Composición, % en peso, Cr	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe , δCr	0 a 100	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$

4.4.11.2.4 DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni

Para una concentración base hierro aleada a 4.53 % de níquel, se traza una línea en el 4.53 % de níquel, en el diagrama de fase 4.10 Fe-Ni del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1532 °C, de los 200 °C a los 240 °C se encuentra entre dos fases: fase αFe y FeNi_3 de la cual posee en mucho mayor cantidad la fase αFe , y de los 240 °C a los 750 °C se encuentra en una fase αFe , de los 750 °C a los 810 °C la solución se encuentra entre la fase αFe y ΓFe , y de los 810 °C a los 1524 °C se encuentra en fase ΓFe y luego de esa temperatura convertirse en una solución líquida al 100 %.

En la tabla 4.31 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.31. Características de la fase αFe , ΓFe y δFe .

Fase	Composición, % en peso, Ni	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe	0 a 5.8	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$
ΓFe	0 a 100	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$
FeNi_3	26	cP4	$\text{Pm}\bar{3}\text{m}$

4.4.11.2.5 DIAGRAMA DE FASE Fe-Si

Para una concentración base hierro aleada a 0.31 % de silicio, se traza una línea en el 0.31 % de silicio, en el diagrama de fase 4.11 Fe-Si del anexo 4.

La aleación se solubiliza a 1536 °C, de los 500 °C a los 913 °C la solución cambia a fase Γ Fe y se mantiene así hasta una temperatura de 1593 °C y vuelve a fase α Fe hasta los 1536 °C en donde se vuelve líquida. En la tabla 4.32 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.32. Características de las fases α Fe y Γ Fe.

Fase	Composición, % en peso, Si	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 1.63	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 10.9	cF4	$Fm\bar{3}m$

4.4.11.3 ESTUDIO MEB FASE OSCURA 2

De acuerdo a la figura 4.91, se realizó estudio MEB a la fase Oscura 2 de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.94

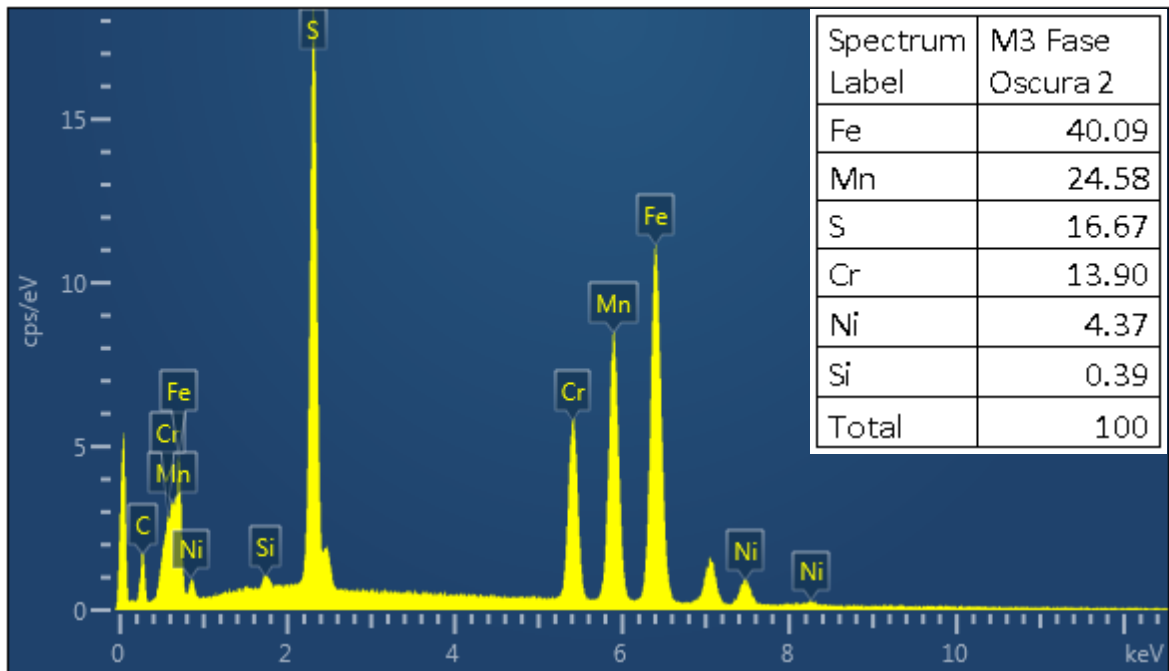


Figura 4.94. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase oscura 2.

En la figura 4.94 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Oscura 2.

Como se observa en la tabla x donde se estudiaban los elementos de la Fase oscura 1, se puede observar que las cantidades de aleación son las mismas así que esta Fase oscura 2 es similar a los estudios de la Fase oscura 1.

4.4.12 ESTUDIO MEB: PIEZA 4

Se analizó una muestra superficial de la pieza 4 para determinar los tipos de materiales constituyentes de los mismos.

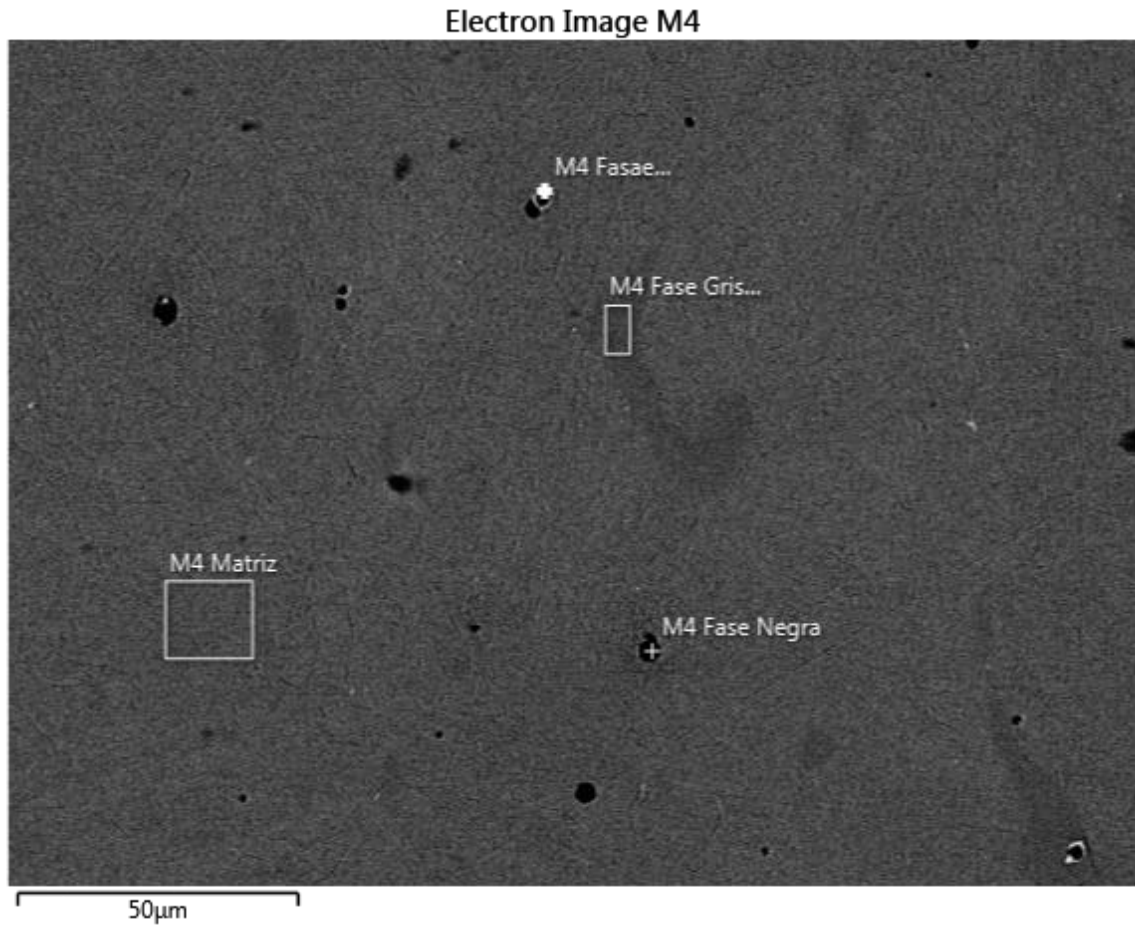


Figura 4.95. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 4.

En la figura 4.95 se observan 4 fases diferentes: Fase matricial, fase gris oscura, fase negra y fase blanca. En las figuras siguientes se muestra la descripción de los diferentes materiales constituyentes de la pieza 3.

4.4.12.1 ESTUDIO MEB MATRIZ

De acuerdo a la figura 4.95, se realizó estudio SEM a la fase Matriz de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.96.

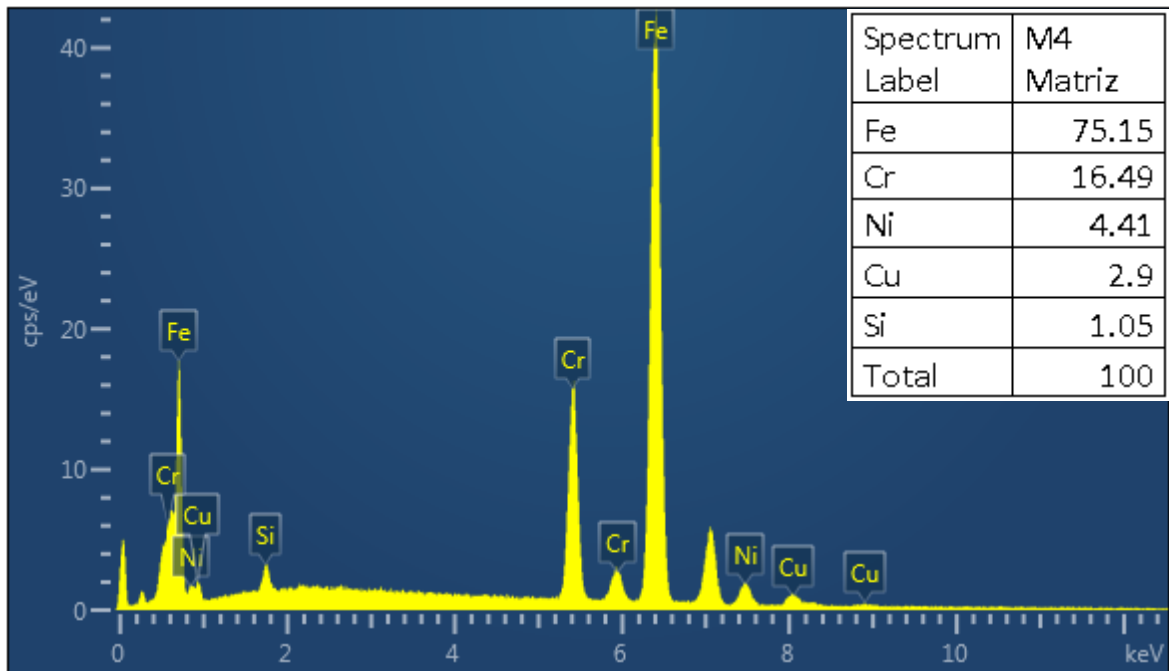


Figura 4.96. Descripción de los diferentes materiales constituyentes matricial.

En la figura 4.93 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Matriz.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, los cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenítico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y es el denominado JSL AUS [4.3].

4.4.12.2 ESTUDIO MEB FASE GRIS OSCURO

De acuerdo a la figura 4.95, se realizó estudio SEM a la fase Gris oscuro de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.97.

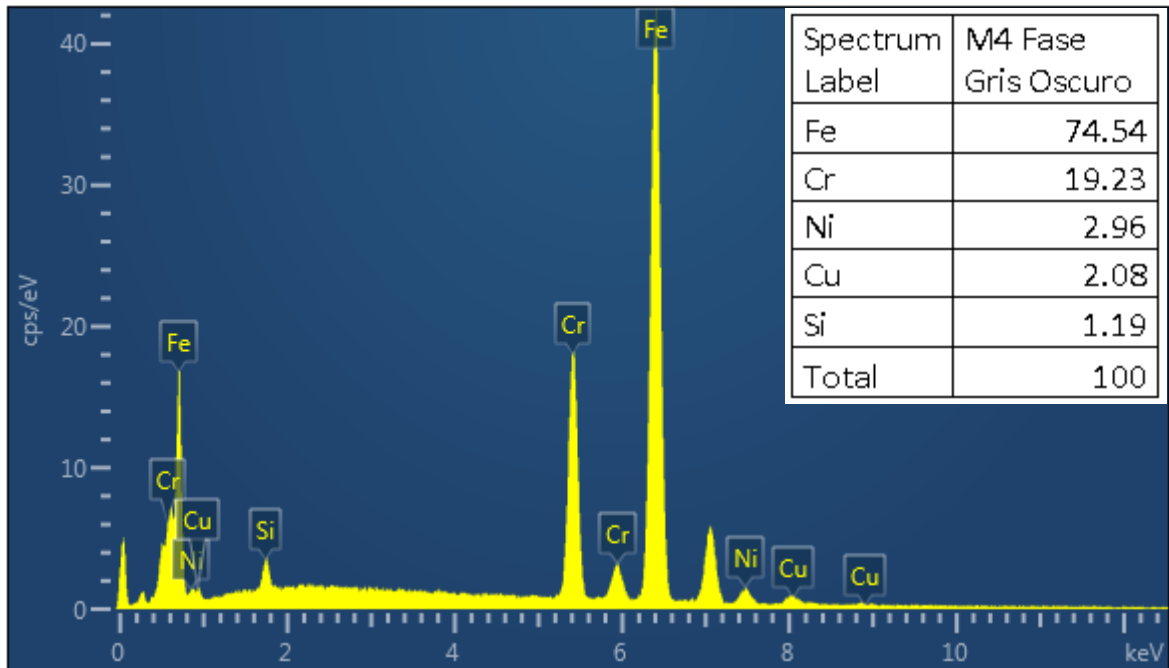


Figura 4.97. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris oscura.

En la figura 4.97 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Gris oscuro.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, lo cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenítico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y los valores representativos de los diferentes elementos aleantes se salen de rango de cualquier acero estandarizado, dado a que se llega a la conclusión que es un acero patentado [4.3].

4.4.12.2.1 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr

Para una concentración base hierro aleada a 19.23 % de cromo, se traza una línea en el 19.23 % de cromo, en el diagrama de fase 4.9 Fe-Cr del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1513 °C, de los 300 °C a los 460 °C la aleación se encuentra entre dos fases: fase α Fe y Γ Fe y fase (Cr) y por “regla de la palanca” se determina que se tiene 89.9 % de α Fe y Γ Fe y 15.09 % de (Cr), de los 460 °C a los 630 °C la aleación se encuentra en fase α Fe y Γ Fe, de los 630 °C a los 1513 °C la solución se encuentra en la misma fase α Fe y Γ Fe hasta llegar a líquida.

En la tabla 4.33 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.33. Características de las fases α Fe, Cr.

Fase	Composición, % en peso, Cr	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe, Cr	0 a 100	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.2.2 DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni

Para una concentración base hierro aleada a 2.96 % de níquel, se traza una línea en el 2.96 % de níquel, en el diagrama de fase 4.10 Fe-Ni del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1535 °C, de los 200 °C a los 805 °C se encuentra en una fase αFe , de los 805 °C a los 880 °C la solución se encuentra entre la fase αFe y ΓFe , y de los 880 °C a los 1460 °C se encuentra en fase ΓFe y de los 1460 °C a los 1535 °C se encuentra en fase δFe hasta convertirse en una solución líquida al 100 %.

En la tabla 4.34 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.34. Características de la fase αFe , ΓFe y δFe .

Fase	Composición, % en peso, Ni	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe	0 a 5.8	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$
ΓFe	0 a 100	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$
δFe	0 a 3.7	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$

4.4.12.2.3 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu

Para una concentración base hierro aleada a 2.08 % de cobre, se traza una línea en el 2.08 % de cobre, en el diagrama de fase 4.12 Fe-Cu del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1530 °C, de los 600 °C a los 750 °C la aleación posee mayor cantidad de fase αFe de los 750 °C a los 1420 °C la aleación se encuentra en la fase ΓFe , y de los 1420 °C a los 1530 °C la aleación se encuentra en fase δFe y cambia a estado líquido.

En la tabla 4.35 se muestran las características de la fase mencionada.

Tabla 4.35. Características de la fase α Fe.

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 2.2	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 13	cF4	$Fm\bar{3}m$
δ Fe	0 a 7.6	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.2.4 DIAGRAMA DE FASE Fe-Si

Para una concentración base hierro aleada a 1.19 % de silicio, se traza una línea en el 1.19 % de silicio, en el diagrama de fase 4.11 Fe-Si del anexo 4. La aleación se solubiliza a 1536 °C, de los 500 °C a los 912 °C la solución se encuentra en una fase α Fe y de los 912 °C a los 1360 °C se encuentra en una fase Γ Fe y de los 1360 °C a 1594 °C vuelve a fase α Fe hasta los 1536 °C la aleación se vuelve líquida. En la tabla 4.36 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.36. Características de las fases α Fe y Γ Fe.

Fase	Composición, % en peso, Si	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 1.63	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 10.9	cF4	$Fm\bar{3}m$

4.4.12.3 ESTUDIO MEB FASE NEGRA

De acuerdo a la figura 4.95, se realizó estudio MEB a la fase Negra de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.98.

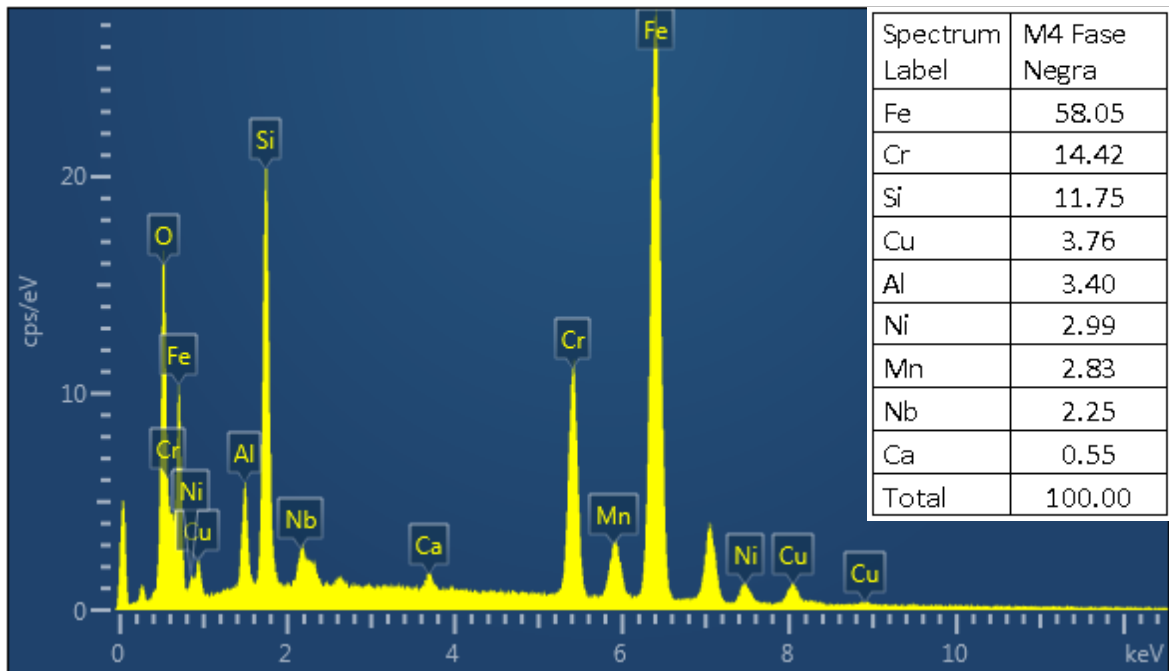


Figura 4.98. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase negra.

En la figura 4.98 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Negra.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

4.4.12.3.1 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr

Para una concentración base hierro aleada a 14.42 % de cromo, se traza una línea en el 14.42 % de cromo, en el diagrama de fase 4.9 Fe-Cr del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1513 °C, de los 300 °C a los 460 °C la aleación se encuentra entre dos fases: fase α Fe y Γ Fe y fase (Cr) y por “regla de la palanca” se determina que se tiene 8.69 % de α Fe y Γ Fe y 91.30 % de (Cr), de los 460 °C a los 582 °C la aleación se encuentra en fase α Fe y Γ Fe, de los 582 °C a los 1513 °C la solución se encuentra en la misma fase α Fe y Γ Fe hasta llegar a líquida.

En la tabla 4.37 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.37. Características de las fases α Fe, Cr.

Fase	Composición, % en peso, Cr	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe, Cr	0 a 100	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.3.2 DIAGRAMA DE FASE Fe-Si

Para una concentración base hierro aleada a 11.75 % de silicio, se traza una línea en el 11.75 % de silicio, en el diagrama de fase 4.11 Fe-Si del anexo 4.

La aleación se solubiliza a 1380 °C, de 500 °C a 1100 °C la aleación se mantiene a una fase de α_1 y de los 1100 °C a los 1220 °C cambia a una fase α_2 y de los 1220 °C a los 1310 °C a un estado entre la fase Γ Fe y líquido. En la tabla 4.38 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.38. Características de las fases α_1 y α_2 .

Fase	Composición, % en peso, Si	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α_1	~ 5 a 18	cF16	Fm $\bar{3}m$
α_2	~ 5 a 12	cP2	Pm $\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 10.9	cF4	Fm $\bar{3}m$

4.4.12.3.3 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu

Para una concentración base hierro aleada a 3.76 % de cobre, se traza una línea en el 3.76 % de cobre, en el diagrama de fase 4.12 Fe-Cu del anexo 4.

La aleación se solubiliza a 1530 °C, De los 800 °C a los 850 °C la solución se encuentra entre dos fases: fase α Fe y (Cu), de la cual por regla de la palanca se determina que de fase α Fe existe 1.82 % y de fase (Cu) existe 98.17 %, de los 850 °C a los 1440 °C se mantiene en fase Γ Fe, de los 1440 °C a los 1520 °C se mantiene en fase δ Fe hasta llegar a tu temperatura de fusión. En la tabla 4.39 se muestran las características de la fase mencionada.

Tabla 4.39. Características de la fase Γ Fe.

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
Γ Fe	0 a 13	cF4	Fm $\bar{3}m$
α Fe	0 a 2.2	cI2	Im $\bar{3}m$
δ Fe	0 a 7.6	cI2	Im $\bar{3}m$
(Cu)	95.9 a 100	cF4	Fm $\bar{3}m$

4.4.12.3.4 DIAGRAMA DE FASE Fe-Al

Para una concentración base hierro aleada a 3.40 % de aluminio, se traza una línea en el 3.40 % de aluminio, en el diagrama de fase 4.4 Al-Fe del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1635 °C, de los 400 °C a los 1535 °C se mantiene en fase α Fe. En la tabla 4.40 se muestran las características de la fase mencionada.

Tabla 4.40. Características de la fase α Fe.

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a ~ 28	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.3.5 DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni

Para una concentración base hierro aleada a 2.99 % de níquel, se traza una línea en el 2.99 % de níquel, en el diagrama de fase 4.10 Fe-Ni del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1535 °C, de los 200 °C a los 805 °C se encuentra en una fase α Fe, de los 805 °C a los 880 °C la solución se encuentra entre la fase α Fe y Γ Fe, y de los 880 °C a los 1460 °C se encuentra en fase Γ Fe y de los 1460 °C a los 1535 °C se encuentra en fase δ Fe hasta convertirse en una solución líquida al 100 %.

En la tabla 4.41 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.41. Características de la fase α Fe, Γ Fe y δ Fe.

Fase	Composición, % en peso, Ni	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 5.8	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 100	cF4	$Fm\bar{3}m$
δ Fe	0 a 3.7	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.3.6 DIAGRAMA DE FASE Fe-Mn

Para una concentración base hierro aleada a 2.83 % de manganeso, se traza una línea en el 2.83 % de manganeso, en el diagrama de fase 4.7 Fe-Mn del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1535 °C, de los 200 °C a los 660 °C se encuentra en la fase α Fe, luego de los 660 °C a los 860 °C la solución se encuentra en fase α Fe y Γ Fe, y de los 860 °C a los 1415 °C se encuentra en fase Γ Fe y de los 1415 °C a los 1535 °C en una fase δ Fe hasta llegar a una fase líquida. En la tabla 4.42 se muestran las características de las fases.

Tabla 4.42. Características de la fase α Fe.

Fase	Composición, % en peso, Mn	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 3	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 100	cF4	$Fm\bar{3}m$
δ Fe	0 a 10	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.3.7 DIAGRAMA DE FASE Fe-Nb

Para una concentración base hierro aleada a 2.25 % de niobio, se traza una línea en el 2.25 % de niobio, en el diagrama de fase 4.13 Fe-Nb del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1530 °C, de los 600 °C a los 961 °C adquiere la fase de α Fe, de los 961 °C a los 1320 °C adquiere la fase Γ Fe, de los 1320 °C a los 1530 °C se mantiene en fase δ Fe. En la tabla 4.43 se muestran las características de las fases.

Tabla 4.43. Características de las fases.

Fase	Composición, % en peso, Nb	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 3	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 1.5	cF4	$Fm\bar{3}m$
δ Fe	0 a 5.2	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.4 ESTUDIO MEB FASE BLANCA

De acuerdo a la figura 4.95, se realizó estudio MEB a la fase Blanca de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.99.

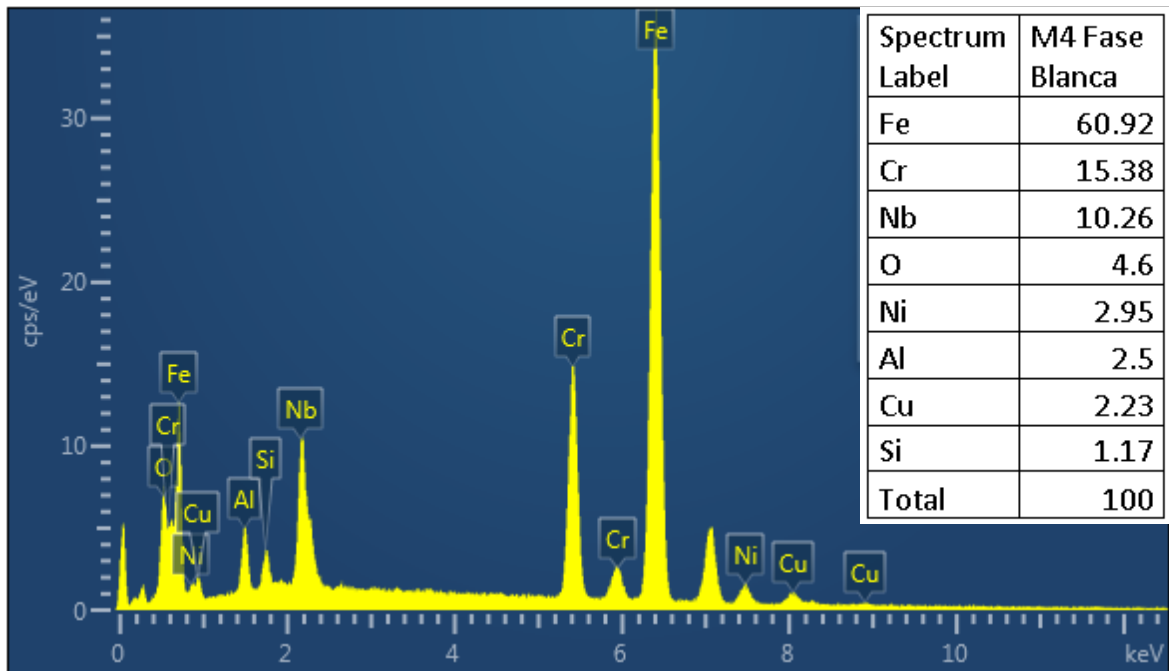


Figura 4.99. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase blanca.

En la figura 4.99 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase Blanca.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, los cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenítico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y los valores representativo de los diferentes elementos aleantes se salen de rango de cualquier acero estandarizado, dado a que se llega a la conclusión que es un acero patentado [4.3].

4.4.12.4.1 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr

Para una concentración base hierro aleada a 15.38 % de cromo, se traza una línea en el 15.38 % de cromo, en el diagrama de fase 4.9 Fe-Cr del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1513 °C, de los 300 °C a los 460 °C la aleación se encuentra entre dos fases: fase α Fe y Γ Fe y fase (Cr) y por “regla de la palanca” se determina que se tiene 10.34 % de α Fe y Γ Fe y 89.65 % de (Cr), de los 460 °C a los 590 °C la aleación se encuentra en fase α Fe y Γ Fe, de los 590 °C a los 1513 °C la solución se encuentra en la misma fase α Fe y Γ Fe hasta llegar a líquida.

En la tabla 4.44 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.44. Características de las fases α Fe, Cr.

Fase	Composición, % en peso, Cr	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe, Cr	0 a 100	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.4.2 DIAGRAMA DE FASE Fe-Nb

Para una concentración base hierro aleada a 10.26 % de niobio, se traza una línea en el 10.26 % de niobio, en el diagrama de fase 4.13 Fe-Nb del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1530 °C, de los 600 °C a los 961 °C la solución se encuentra entre dos fases: fase de α Fe y ϵ , y por “regla de la palanca” se tiene que a esa temperatura se tiene 74.37 % de fase α Fe y 25.63 % de ϵ , de

los 961 °C a los 1210 °C adquiere dos fases: la fase Γ Fe y ϵ de la cual se tiene 76 % de Γ Fe y 24 % de ϵ , de los 1210 °C a los 1373 °C se tiene dos fases: la fase δ Fe y ϵ , de la cual de la fase δ Fe se tiene 74.14 % y de la fase ϵ se tiene 21.85 %, de los 1573 °C a los 1530 °C se tiene una mezcla entre la fase δ Fe y líquida. En la tabla 4.45 se muestran las características de las fases.

Tabla 4.45. Características de las fases.

Fase	Composición, % en peso, Nb	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 1.2	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 1.5	cF4	$Fm\bar{3}m$
δ Fe	0 a 5.2	cI2	$Im\bar{3}m$
ϵ	38 a 51	hP12	$P6_3/mmc$

4.4.12.4.3 DIAGRAMA DE FASE Fe-O.

Se aprecia oxígeno en la muestra, una de las causas es debido a la oxidación que se dio en la muestra en el proceso de análisis, otra causa es en el proceso de fabricación, dado a que los óxidos se disuelven en el material y para desoxidar la pieza se le agregan elementos con un nivel muy negativo de energía libre. Por medio del diagrama de Ellingham se determina la energía libre de formación de óxidos en función de su temperatura [4.4]. La figura 4.100 muestra el diagrama de Ellingham.

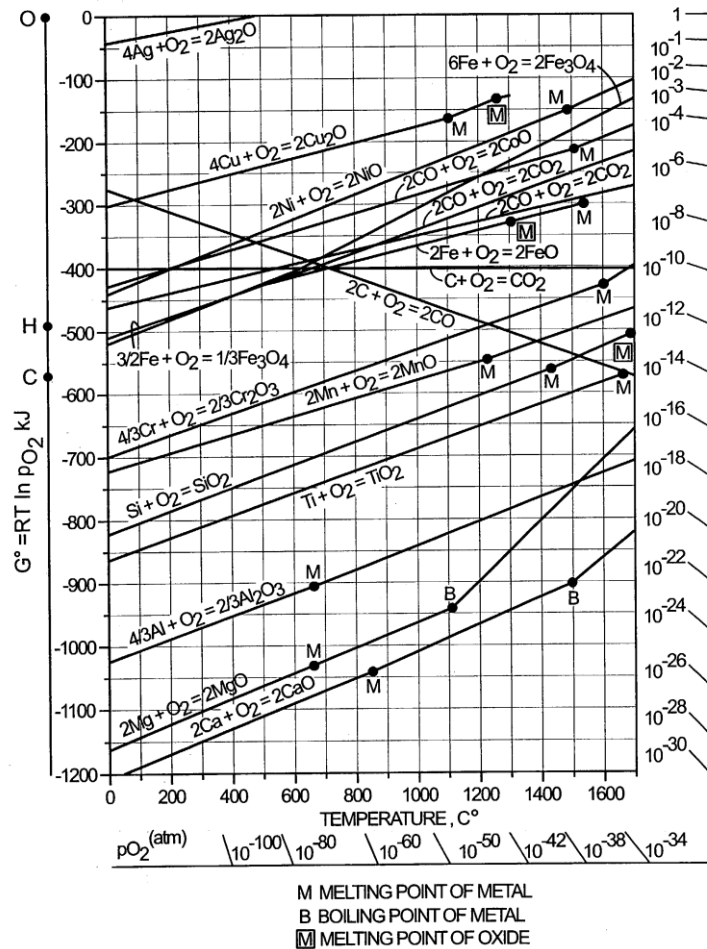


Figura 4.100. Diagrama de Ellingham

En la figura 4.100 se muestra el diagrama de Ellingham el cual nos muestra una temperatura de los 0 °C a los 1700 °C por lo cual podemos observar que de los elementos encontrados en la muestra tenemos el hierro, cromo, silicio, cobre, aluminio, níquel, manganeso, niobio y calcio, de los cuales en cualquier temperatura podemos interpretar al Aluminio como elemento con energía más negativa y con ello la reacción a oxidación es más propicia, de ahí el siguiente de los elemento con energía más negativa es el Silicio, con ello se puede concluir que se pudo haber agregado el aluminio y el silicio como elementos desoxidantes a el material para eliminar la mayor parte del

oxígeno disuelto en el metal líquido en el proceso de fabricación y así lograr estabilizar el material.

4.4.12.4.4 DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni

Para una concentración base hierro aleada a 2.95 % de níquel, se traza una línea en el 2.95 % de níquel, en el diagrama de fase 4.10 Fe-Ni del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1535 °C, de los 200 °C a los 805 °C se encuentra en una fase α Fe, de los 805 °C a los 880 °C la solución se encuentra entre la fase α Fe y Γ Fe, y de los 880 °C a los 1460 °C se encuentra en fase Γ Fe y de los 1460 °C a los 1535 °C se encuentra en fase δ Fe hasta convertirse en una solución líquida al 100 %.

En la tabla 4.46 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.46. Características de la fase α Fe, Γ Fe y δ Fe.

Fase	Composición, % en peso, Ni	Símbolo Pearson	Grupo espacial
α Fe	0 a 5.8	cI2	$Im\bar{3}m$
Γ Fe	0 a 100	cF4	$Fm\bar{3}m$
δ Fe	0 a 3.7	cI2	$Im\bar{3}m$

4.4.12.4.5 DIAGRAMA DE FASE Fe-Al

Para una concentración base hierro aleada a 2.5 % de aluminio, se traza una línea en el 2.5 % de aluminio, en el diagrama de fase 4.4 Al-Fe del anexo 4.

Se solubiliza a una temperatura de 1535 °C, de los 400 °C a los 1535 °C se mantiene en fase α Fe. En la tabla 4.47 se muestran las características de la fase mencionada.

Tabla 4.47. Características de la fase αFe .

Fase	Composición, % en peso, Al	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe	0 a ~ 28	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$

4.4.12.4.6 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu

Para una concentración base hierro aleada a 2.23 % de cobre, se traza una línea en el 2.23 % de cobre, en el diagrama de fase 4.12 Fe-Cu del anexo 4.

La aleación se solubiliza a los 1530 °C, de los 600 °C a los 650 °C la aleación posee mayor cantidad de fase αFe , de los 650 °C a los 1420 °C la aleación se encuentra en la fase ΓFe , y de los 1420 °C a los 1530 °C la aleación se encuentra en fase δFe y cambia a estado líquido.

En la tabla 4.48 se muestran las características de la fase mencionada.

Tabla 4.48. Características de la fase αFe .

Fase	Composición, % en peso, Cu	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe	0 a 2.2	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$
ΓFe	0 a 13	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$
δFe	0 a 7.6	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$

4.4.12.4.7 DIAGRAMA DE FASE Fe-Si

Para una concentración base hierro aleada a 1.17 % de silicio, se traza una línea en el 1.17 % de silicio, en el diagrama de fase 4.11 Fe-Si del anexo 4. La aleación se solubiliza a 1536 °C, de los 500 °C a los 950 °C la solución cambia a fase ΓFe y se mantiene así hasta una temperatura de 1310 °C y

vuelve a fase αFe hasta los 1536 °C en donde se vuelve líquida. En la tabla 4.49 se muestran las características de las fases mencionadas.

Tabla 4.49. Características de las fases αFe y ΓFe .

Fase	Composición, % en peso, Si	Símbolo Pearson	Grupo espacial
αFe	0 a 1.63	cI2	$\text{Im}\bar{3}\text{m}$
ΓFe	0 a 10.9	cF4	$\text{Fm}\bar{3}\text{m}$

4.4.13 ESTUDIO MEB: PIEZA 5

Se analizó una muestra superficial de la pieza 5 para determinar los tipos de materiales constituyentes de los mismos.

Electron Image 55

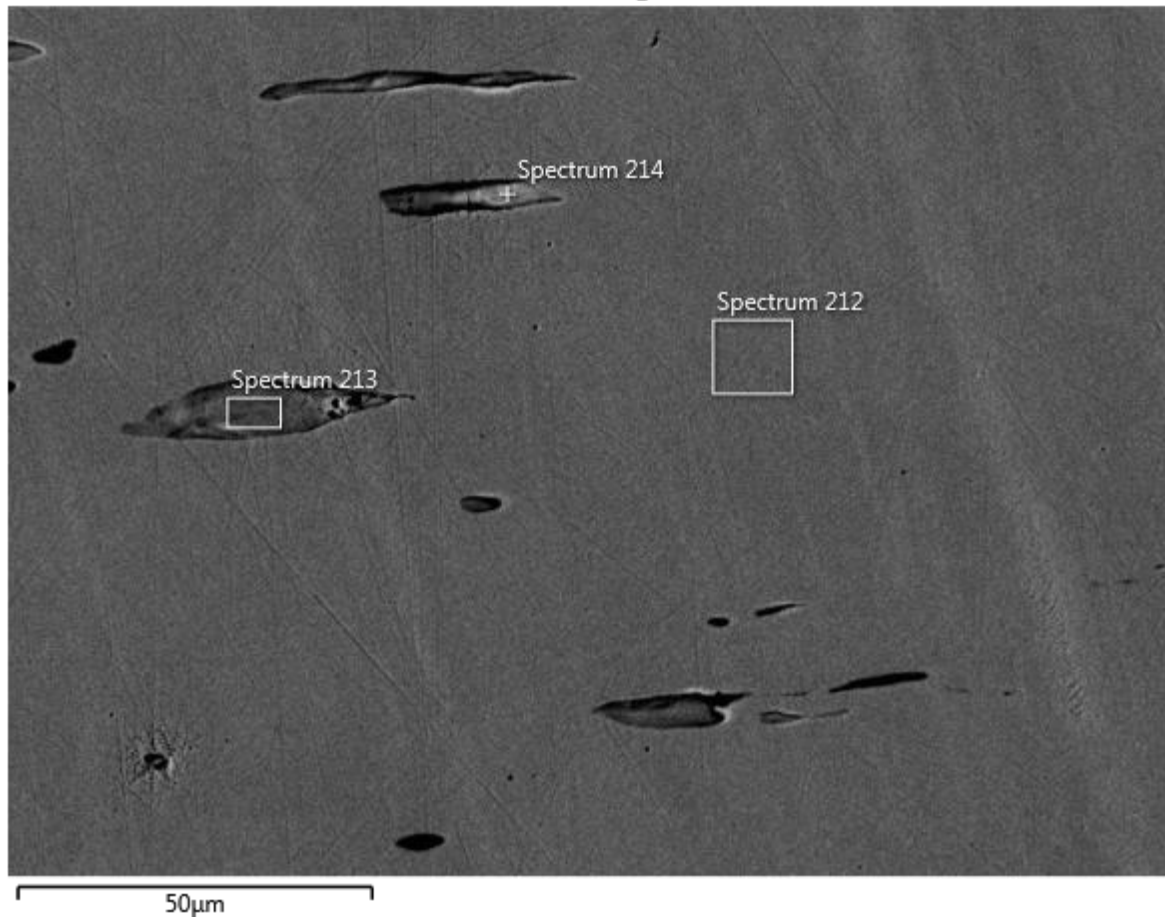


Figura 4.101. Visualización matricial de muestra superficial de PIEZA 5.

En la figura 4.101 se observan 3 fases diferentes: Fase matricial (Spectrum 212), fase gris oscura (Spectrum 213), fase gris blanca (Spectrum 214). En las figuras siguientes se muestra la descripción de los diferentes materiales constituyentes de la pieza 5.

4.4.13.1 ESTUDIO MEB ZONA 212

De acuerdo a la figura 4.101, se realizó estudio MEB a la fase 212 de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.102.

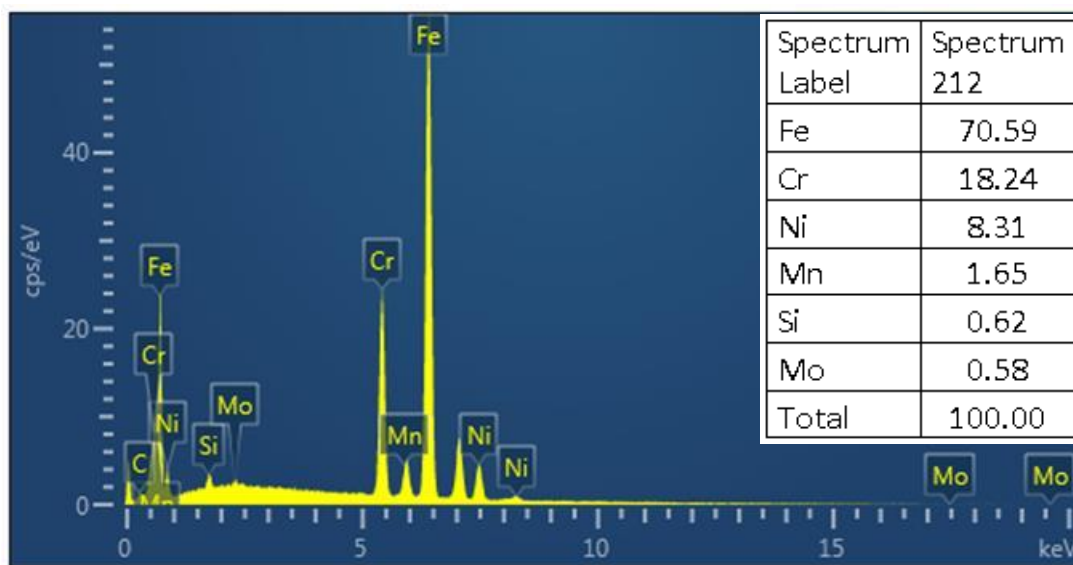


Figura 4.102. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase matricial (Spectrum 212).

En la figura 4.102 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase 212.

En las figuras siguientes se muestran los distintos elementos aleados con el principal metal base, el cual es el que se encuentra en mayor concentración dentro de la aleación, analizando una a una cada aleación por medio de la concentración, se puede determinar la temperatura del punto de fusión y las

distintas fases a las cuales se transforma antes de llegar al mismo, todo eso por medio del diagrama de fase de la aleación.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, lo cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenítico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y es el denominado 0.31 [4.2].

4.4.13.2 ESTUDIO MEB ZONA 213

De acuerdo a la figura 4.101, se realizó estudio MEB a la fase 213 de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.103.

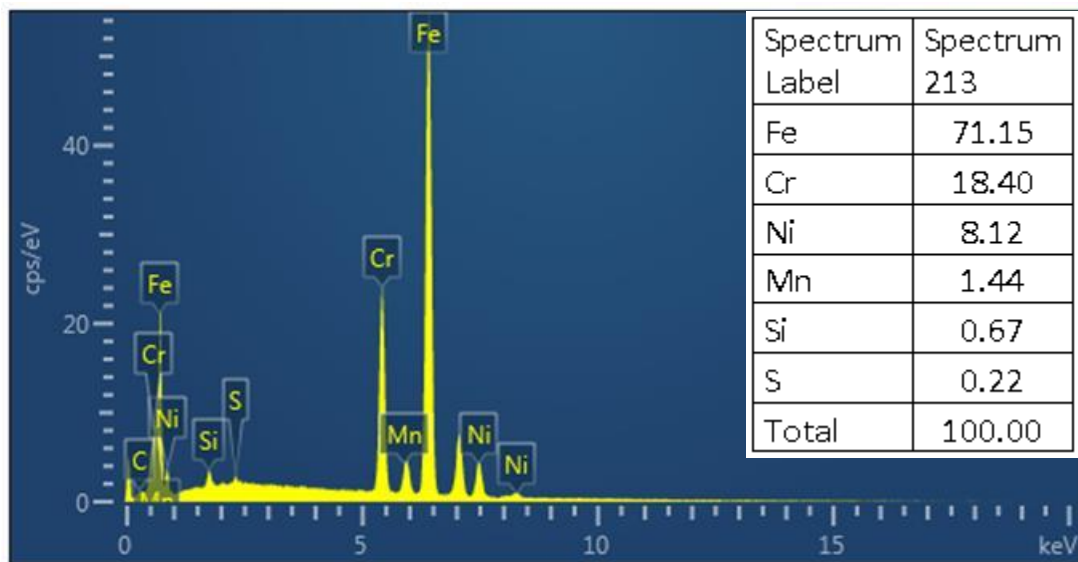


Figura 4.103. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris oscura (Spectrum 213).

En la figura 4.103 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase 213.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, los cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenitico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y es el denominado 304 [4.3].

4.4.13.3 ESTUDIO MEB ZONA 214

De acuerdo a la figura 4.101, se realizó estudio MEB a la fase 214 de la misma figura, los resultados arrojados se muestran en la figura 4.104.

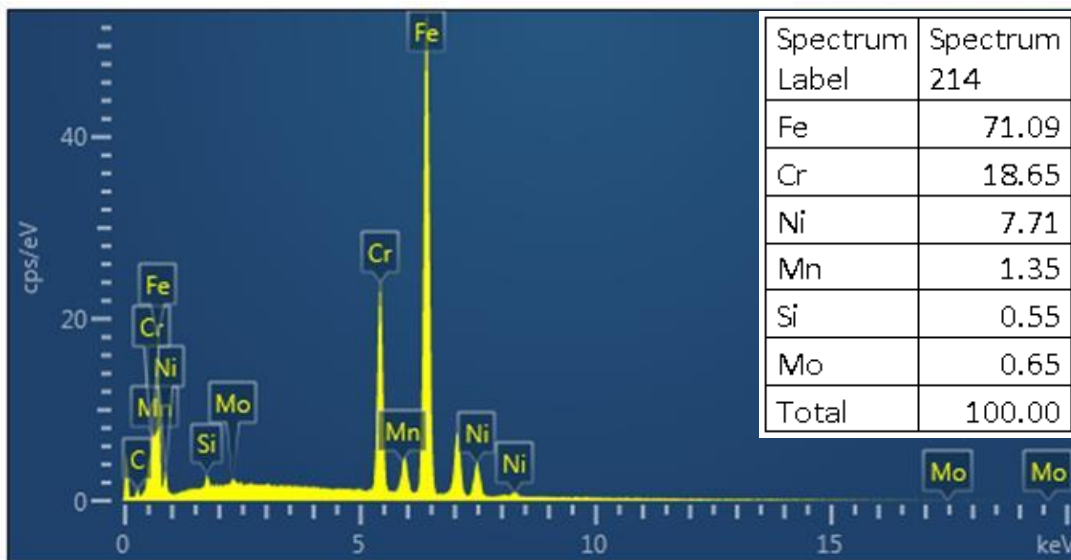


Figura 4.104. Descripción de los diferentes materiales constituyentes de la fase gris blanca (Spectrum 214).

En la figura 4.104 se muestran los resultados normalizados de los elementos constituyentes de la fase 214.

Esta fase posee principalmente Fe-Cr-Ni, los cual debido a la clasificación de los aceros inoxidable pertenecería al tipo Austenitico basado en el sistema Fe-Cr-Ni (C, Mo, Mn, etc.) y es el denominado acero inoxidable 304 [4.3].

4.5 PROCESO DE SOLDADURA.

De acuerdo a lo obtenido en los análisis químicos se determinó que la pieza 3 considerada pieza base del componente es en su mayoría acero inoxidable. El acero inoxidable tiene grandes variedades de métodos de soldadura, por lo que el averiguar el método de soldadura requiere un amplio estudio de las técnicas utilizadas.

4.5.1 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOLDADURA

En las fotografías 4.105 y 4.106 se muestran dos fotografías del acabado final de las uniones de la pieza 3, la figura 4.105 se muestra una vista vertical y en la figura 4.106 se muestra una vista horizontal las cuales son el cordón de soldadura a determinar.



Figura 4.105. Vista vertical



Figura 4.106. Vista horizontal

Dado a que en la imagen 4.105 y 4.106 se puede apreciar patrones continuos por medio de pequeñas hendiduras a lo largo del cordón de soldadura, patrones que son característicos de procesos automatizados por la distancia de separación de cada uno, el proceso fue rectificado dado a que también se aprecian patrones de desvanecimiento de cordones, el proceso más adecuado de acuerdo a las características y el tamaño de la pieza es el proceso de soldadura MIG (Metal Inert Gas) también llamado micro-alambre. Dado a su rapidez, economía, fácil manejo y dado a que no produce escoria se puede concluir que fue usado en el proceso de producción del componente.

4.5.2 DUREZA ROCKWELL DE SOLDADURA EN SECCIÓN LONGITUDINAL

Se realizó dureza Rockwell a las secciones de unión de la soldadura y a las regiones cercanas a ellas como se muestran las figuras 4.107 y 4.108.

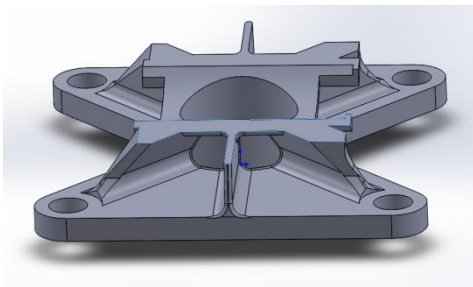


Figura 4.107. Vista de corte preparada para soldadura

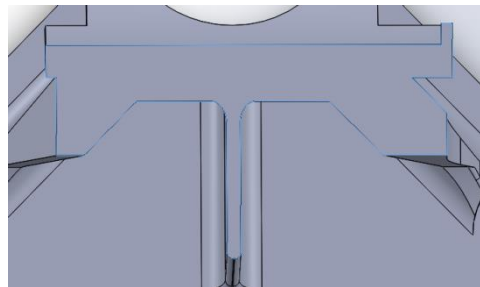


Figura 4.108. Sección analizada

Se realizó un promedio Rockwell C a lo largo y a ancho de las secciones sometidas a puntos de soldadura.

El cálculo promedio obtenido de un punto cualquiera de soldadura Rockwell en Hard Rockwell C se describe en la tabla 4.50.

Tabla 4.50. Resultados de ensayo de dureza Rockwell de soldadura

RESULTADOS DE ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL DE SOLDADURA					
NÚMERO DE PIEZA	TIPO DE ENSAYO	DIAMETRO DEL INDENTADOR (in)	TIPO DE INDENTADOR	PESO (Kg)	DUREZA ROCKWELL PROMEDIO
SOLDADURA	HRC		DIAMANTE	150	35.5 ± 0.8

En la figura 4.109 se muestra una imagen con graficas de comportamiento de dureza a lo largo de las secciones cercanas a soldadura, la cual fue analizada en Hard Rockwell C, se aprecia que fue analizada tanto vertical como horizontalmente.

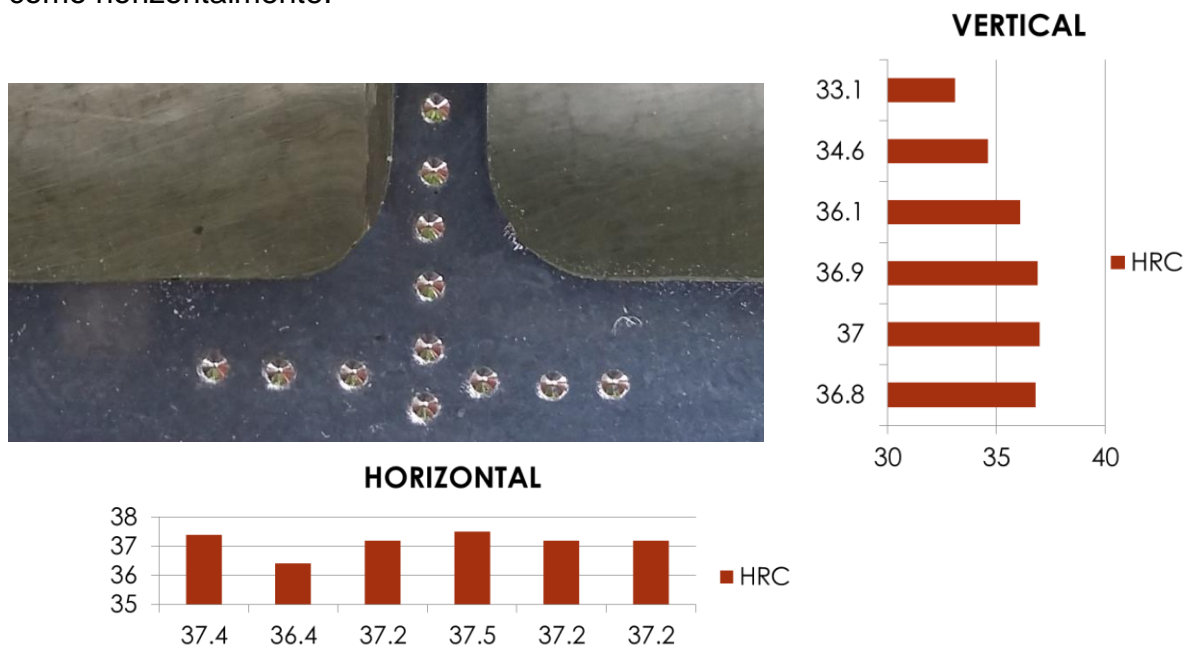


Figura 4.109. Imagen de la sección longitudinal

En la figura 4.109 de cálculo de dureza rockwell en secciones cercanas a zonas de soldadura, se observa que las durezas varían tanto horizontal como verticalmente. Se presenta la variación entre cada una de ellas en la tabla 4.51 por medio del cálculo de la desviación estándar entre los elementos resultantes de las durezas tanto verticales como horizontales.

Tabla 4.51. Cálculo de la desviación estándar de las gráficas de la figura 4.106.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR								
POSICIÓN	DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
VERTICAL	33.1	34.6	36.1	36.9	37	36.8	35.75	1.5
HOTIZONTAL	37.4	36.4	37.2	37.5	37.2	37.2	36.7	0.3

En la gráfica vertical de la figura 4.109, se observa un aumento de dureza, se observa que el primer valor de dureza es de 33.1 y el último es de 36.8, lo cual el porcentaje de cambio es del 11.17 %, este cambio es debido a que cuando los materiales se someten a calentamiento, el material que más se va a reblandecer es el material más delgado, por tanto los datos arriba de 36 se encuentran en un área con mayor superficie lo cual impide el reblandecimiento drástico del material.

En la vista horizontal, en la sección media se observa que la soldadura de unión logra mantener constante la dureza en la zona en la cual se aplicó, la cual como se observa en la tabla 4.51 (la cual es referida a la dureza Rockwell en soldadura).

De acuerdo con los resultados de dureza hechos horizontal y verticalmente, podemos decir que el proceso de soldadura empleado en la fabricación del componente no afecta la dureza del material y esta se permanece constante vertical como horizontalmente.

Una vez realizado el análisis de las propiedades mecánicas y el análisis microestructural de cada una de las piezas del componente bajo estudio. Es posible decir que el proceso de re-ingeniería es viable siempre que se cuente con las técnicas de caracterización química, microestructural y mecánica adecuados. El análisis del diseño del aislador de vibraciones mostro que es más complejo de lo que a simple vista puede apreciarse. Está integrado por 7 piezas fabricados con diferentes materiales y diferentes técnicas de fabricación. Se identificaron: aleaciones base Al, acero al carbono y acero inoxidable y un elemento polimérico. Las metodologías de fabricación identificadas son: laminación, extrusión, forja, soldadura y el probable uso de metalurgia de polvos, por lo que se puede concluir de que si existe la capacidad técnica en el país para poder fabricar este tipo de componentes.

4.6 DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)

4.1 RECONSTRUCCIÓN DIGITAL DEL COMPONENTE BAJO ESTUDIO.

Mediante el programa SolidWorks se procedió a la construcción de todas las piezas del componente.

Se construyeron las formas por medio de líneas rectas, circulares, semi-circulares, cuadradas, elípticas, redondeadas, etc., para así poder aplicar las operaciones de extrusión de saliente base, extrusión de revolución de saliente base, extrusión de corte, corte de revolución, simetría de entidades,

etc., y por ultimo para dar acabados los redondeos y chaflanes. Para dar como resultado la pieza final que es denominada pieza 3, la cual se muestra en la figura 4.110.

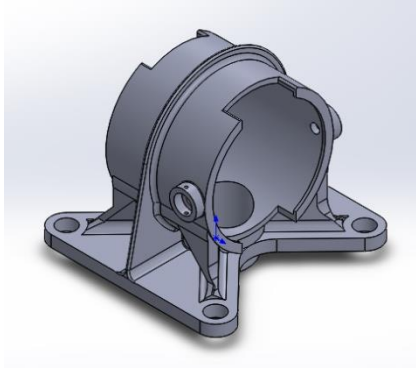


Figura 4.110. Pieza 3.

De manera similar se construyó el buje interno del componente, la cual es llamada pieza 2. La cual se puede visualizar en la figura 4.111.

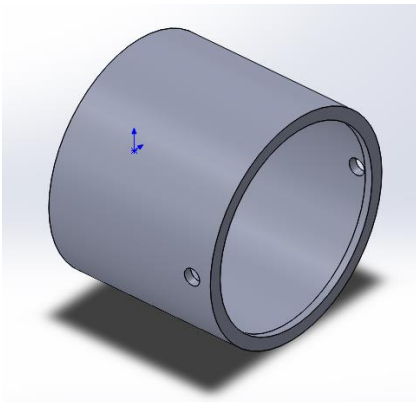


Figura 4.111. Pieza 2.

De igual forma se construyó la base del polímero del componente, la cual es llamada pieza 1. La cual se puede visualizar en la figura 4.112.

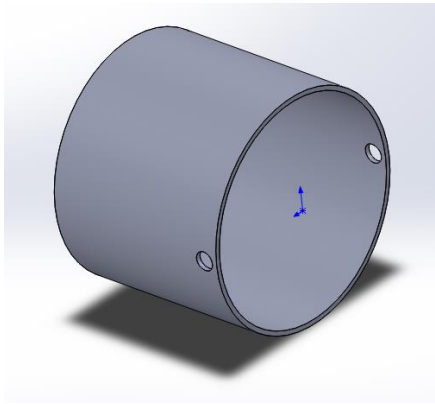


Figura 4.112. Pieza 1.

También se construyó el polímero del componente, la cual es llamada polímero. La cual se puede visualizar en la figura 4.113.

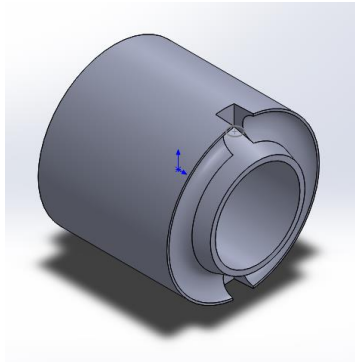


Figura 4.113. Pieza polímero.

Utilizando la misma técnica se construyó el porta bujes del componente, la cual es llamada pieza 4. La cual se puede visualizar en la figura 4.114.

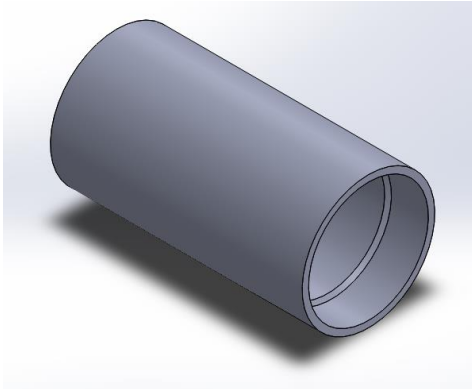


Figura 4.114. Pieza 4.

De la misma manera se construyó el buje corto del componente, la cual es llamada pieza 5. La cual se puede visualizar en la figura 4.115.

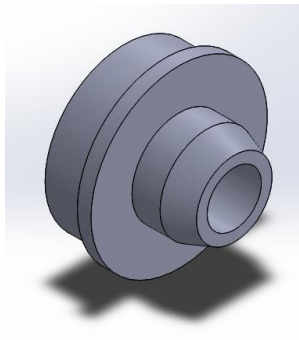


Figura 4.115. Pieza 5.

Siguiendo el mismo proceso de construcción CAD, se construyó el buje largo del componente, la cual es llamada pieza 6. La cual se puede visualizar en la figura 4.116.

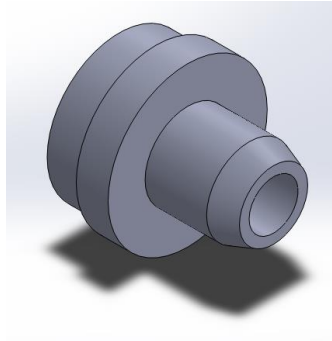


Figura 4.116. Pieza 6.

En las siguientes figuras se muestran las diferentes piezas del componente a estudiar, los cuales se puede observar un despiece en la figura 4.117

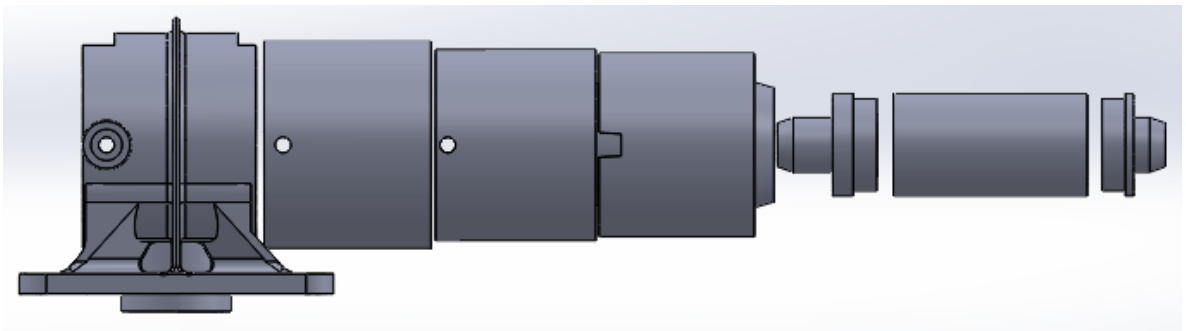


Figura 4.117. Despiece general del componente en vista lateral izquierda. Una vez croquizadas todas las piezas del componente, se procedió a realizar un ensamblaje de todas las piezas para poder apreciar en forma digital el componente, como se muestra en la figura 4.118.

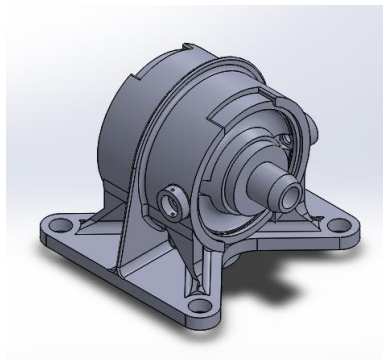


Figura 4.118. Ensamblaje de todas las piezas del componente.

El ensamblaje es la pieza real objeto de estudio, la cual se sometió a distintos estudios. Es por ello, que aparte de guardarla en formato original del archivo de *SolidWorks*, el cual tiene extensión *.slwd, también se guarda en formato de solido de conjunto el cual tiene una extensión *.step.

Con el programa *SolidWorks* también se puede renderizar el componente para darle un mejor diseño de vista al mismo, como se muestra en la figura 4.119.

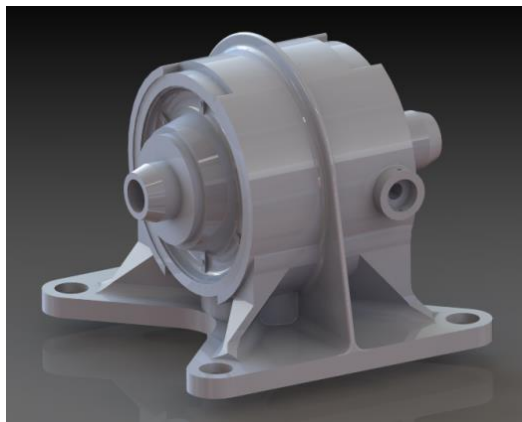


Figura 4.119. Vista del componente renderizado diseñado en *SolidWorks*.

En la tabla 4.52, se muestra el número de figura, la descripción de la pieza de acuerdo a las características y funciones de cada una, así como el nombre asignado por el proyecto.

Tabla 4.52. Descripción de los diferentes componentes de la pieza.

Número de Figura	Descripción de la pieza	Nombre asignado por el proyecto
Figura 3.08	Base del componente	PIEZA 3
Figura 3.09	Buje interno	PIEZA 2
Figura 3.10	Base de polímero	PIEZA 1
Figura 3.11	Polímero aislador de vibraciones	POLIMERO
Figura 3.12	Porta bujes	PIEZA 4
Figura 3.13	Buje corto	PIEZA 5
Figura 3.14	Buje largo	PIEZA 6

4.7 INGENIERIA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)

4.7.1 DEFINICIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS PIEZAS DEL COMPONENTE

Dentro del programa ANSYS Workbench, se definieron los tipos de materiales, tanto los materiales de aleaciones de aluminio, aleaciones de acero y el material polimérico, para así adquirir resultados lo mayor acercados posibles a la realidad, todo eso se llevó a cabo ingresando a la plataforma del programa como se muestra en la figura 4.120.

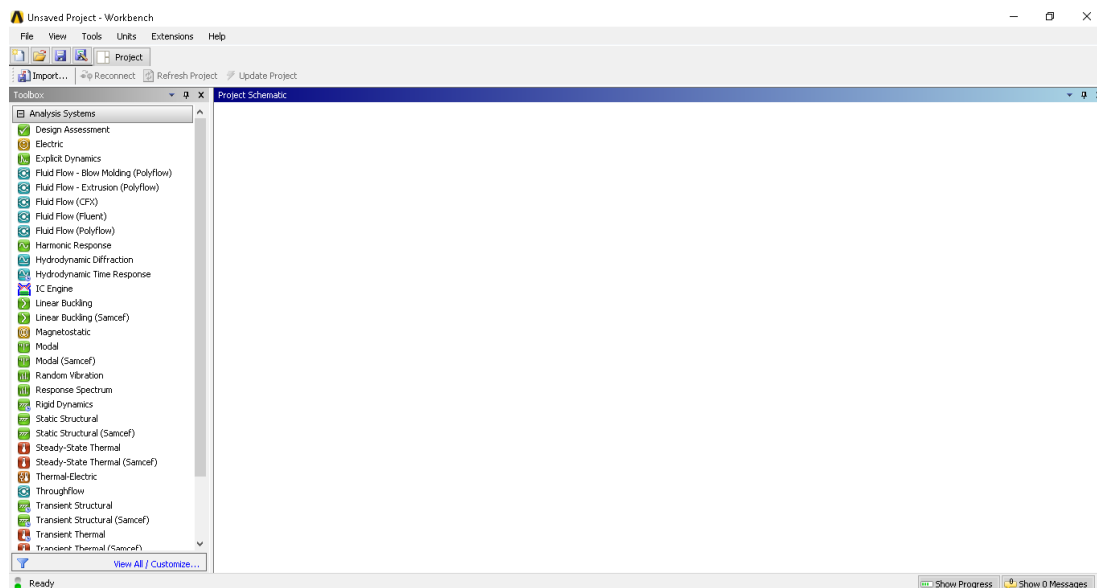


Figura 4.120. Plataforma de programa ANSYS Workbench.

Se definieron los materiales seleccionando en la caja de herramienta la casilla de datos de ingeniería en donde se seleccionaron los materiales de acuerdo al tipo de material de cada uno, como se muestra en la figura 4.121.

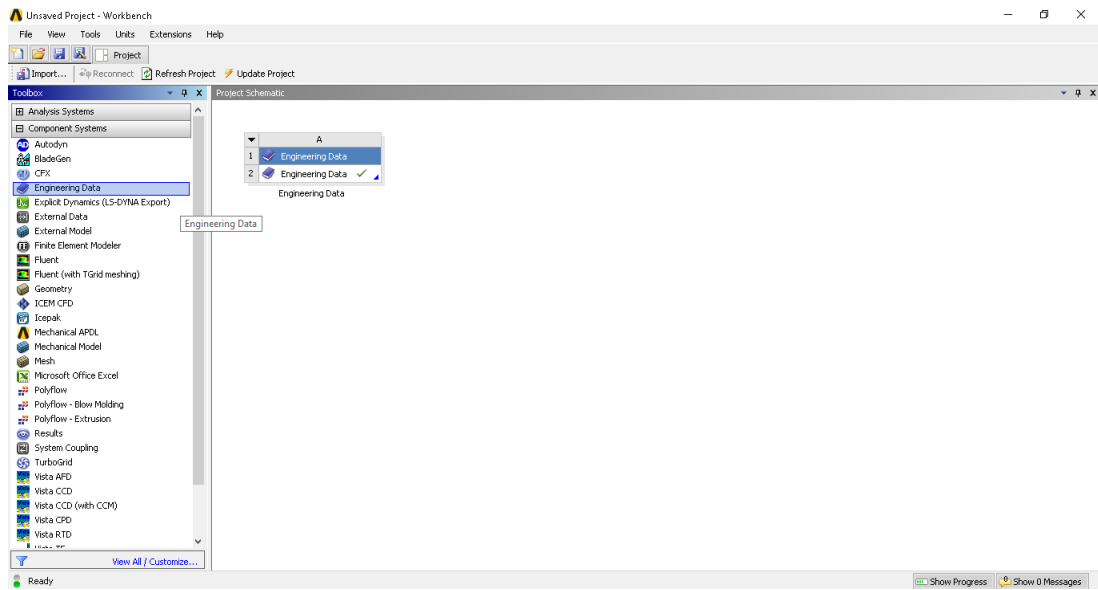


Figura 4.121. Selección de datos de ingeniería.

Una vez definidos los materiales a usar, se procedió a cargar la geometría seleccionando la casilla de “geometría” en la caja de herramientas, como se muestra en la figura 4.122.

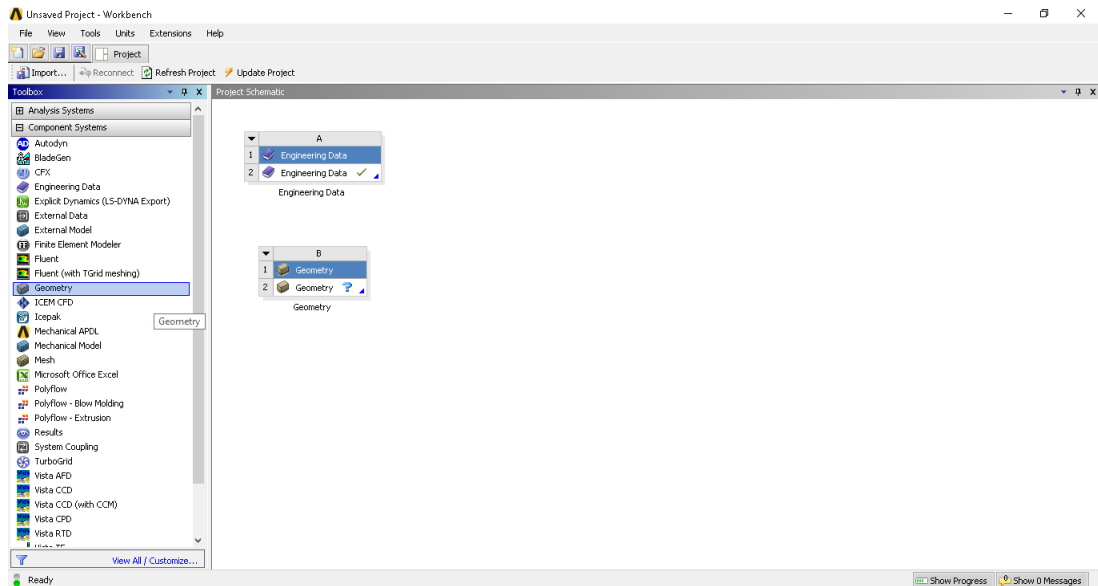


Figura 4.122. Selección de geometría en caja de herramientas.

Se procedió a cargar el archivo dentro de geometría y se seleccionó el ensamblaje con terminación “.step”.

Luego de finalizado ese procedimiento, se seleccionó el análisis de sistema de “Static Structural” que se colocara a un lado de las dos funciones antes mencionadas y se enlazaran cada una con la nueva función, como se aprecia en la figura 4.123.

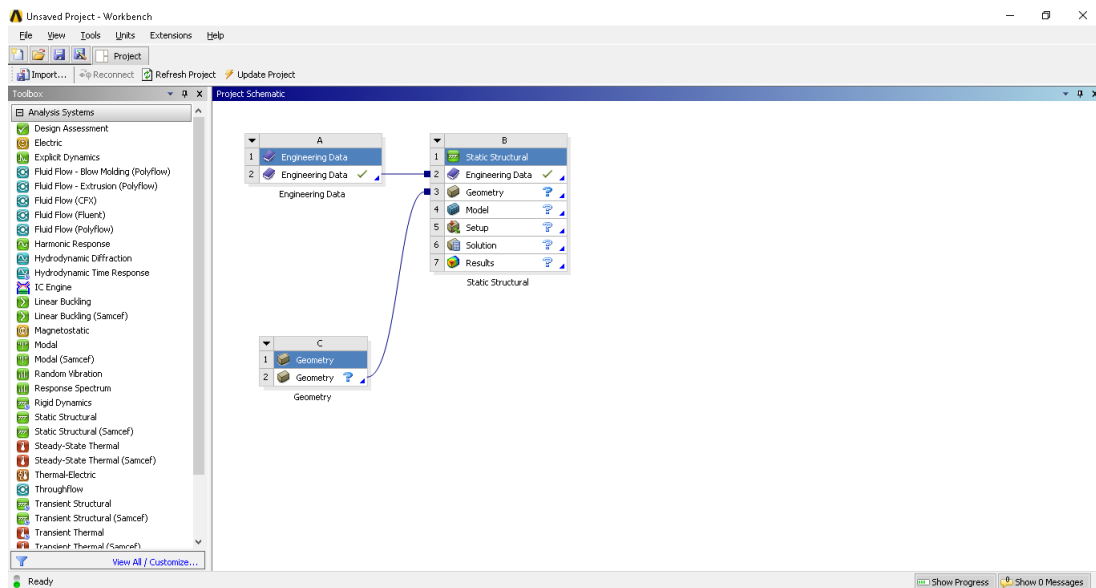


Figura 4.123. Enlazamiento de funciones.

De esta manera queda definida la parte de datos de materiales de ingeniería y la geometría que conlleva cada diferente tipo de material.

Se procedió al análisis MODAL, el cual es un análisis en el cual se pueden calcular frecuencias naturales del componente y su análisis mecánico el cual nos reflejara los esfuerzos a los que se encuentra sometido el componente.

4.7.2 ANÁLISIS MODAL

En ANSYS Workbench el análisis MODAL es una herramienta que nos permite identificar los modos de vibración de cualquier pieza, ensamble o componente.

Para ello se procedió al cálculo de la frecuencia natural del componente.

Luego de seleccionada la función “Static Structural” se procedió a entrar al gestor de funciones de la función y se definieron parámetros de Aceleración de la gravedad, soportes fijos y fuerzas, luego de ello se procedió a solucionar el componente con todo y sus funciones como se muestra en la figura 4.124.

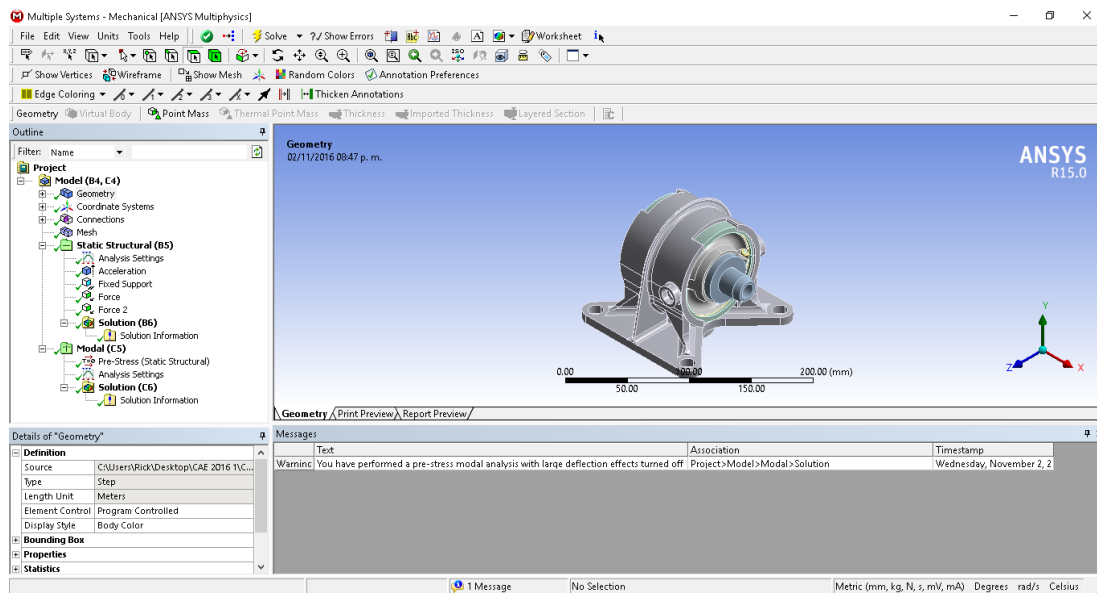


Figura 4.124. Definición de parámetros y solucionado de los mismos en el componente.

Luego de ellos exportar los resultados a un análisis modal como se muestra en la figura 4.125.

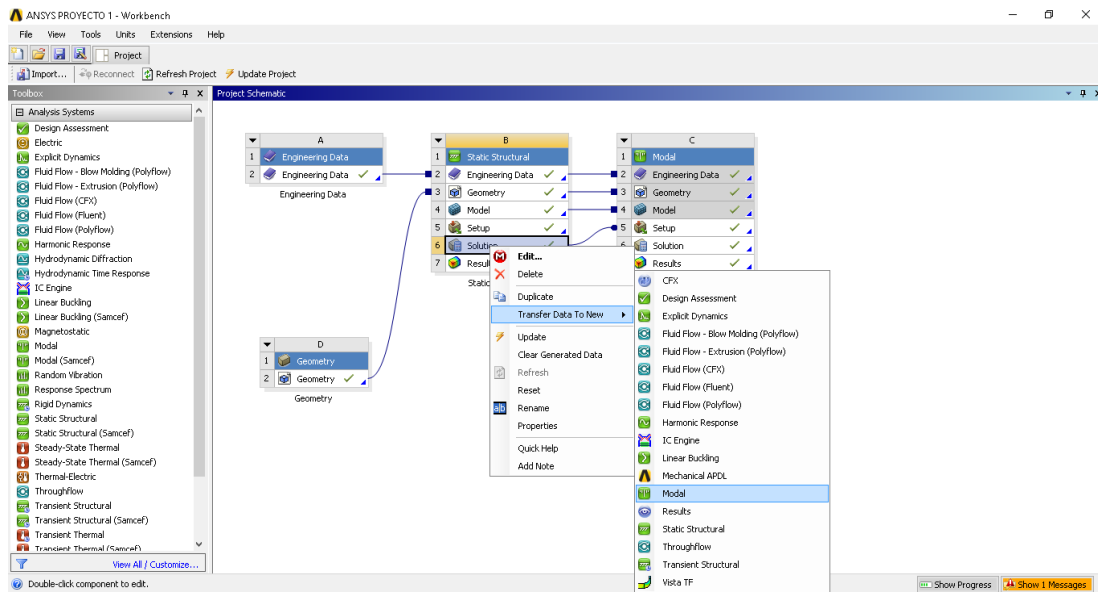


Figura 4.125. Exportando resultados a análisis modal.

Entrar el gestor de funciones de análisis modal y solucionar el sistema y con eso nos dará las frecuencias naturales del componente, como se muestra en la figura 4.126.

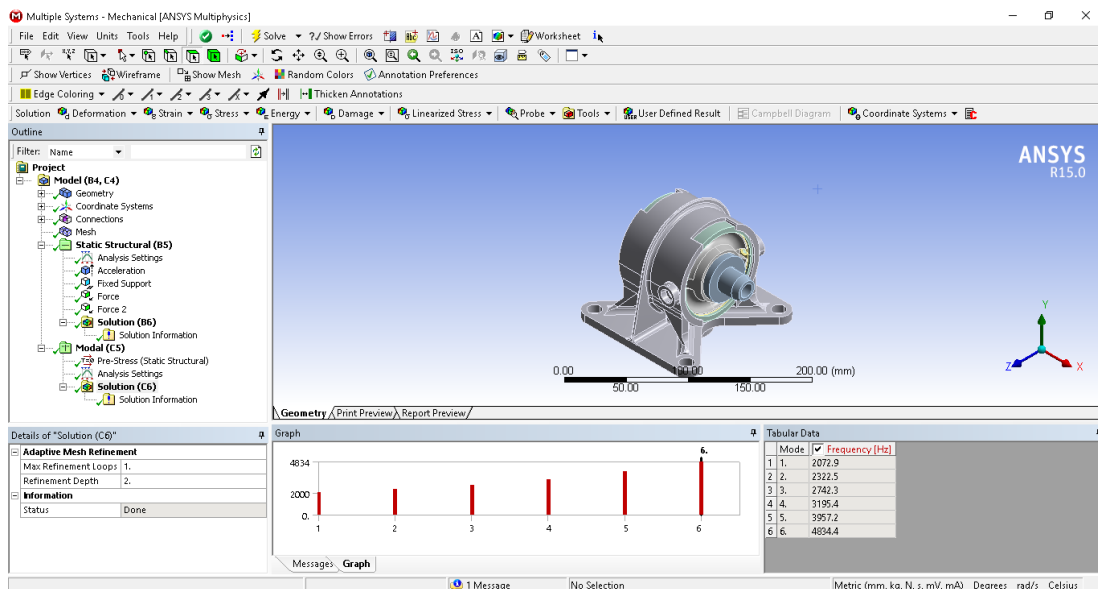


Figura 4.126. Análisis modal.

A continuación en la tabla 4.53 se enlistan las diferentes frecuencias naturales del componente, las cuales principalmente se dan 6.

Tabla 4.53. Frecuencias naturales del componente.

ANÁLISIS MODAL	
MODOS	FRECUENCIAS
1	2072.9
2	2322.5
3	2742.3
4	3195.4
5	3957.2
6	4834.4

El componente en la pieza 3 posee diferentes redondeos alrededor de su superficie, lo cual hace aumentar su frecuencia

Es por ello que se modificó la superficie de la pieza 3 y se retiraron todos los redondeos y chaflanes y se procedió al ensamblaje con todos y cada uno de sus componentes, como se observa en la figura 4.127.

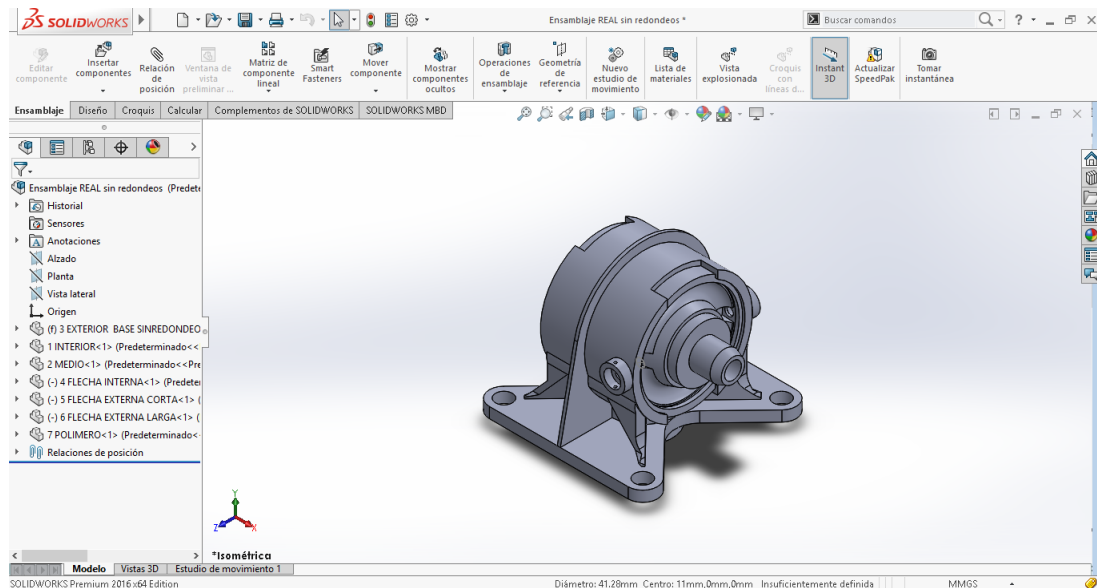


Figura 4.127. Modificado de pieza 3 y ensamblaje.

Se procedió al cálculo de la frecuencia natural del componente sin redondeos siguiendo el mismo procedimiento anteriormente mencionado, realizando el análisis modal como se puede apreciar en la figura 4.128.

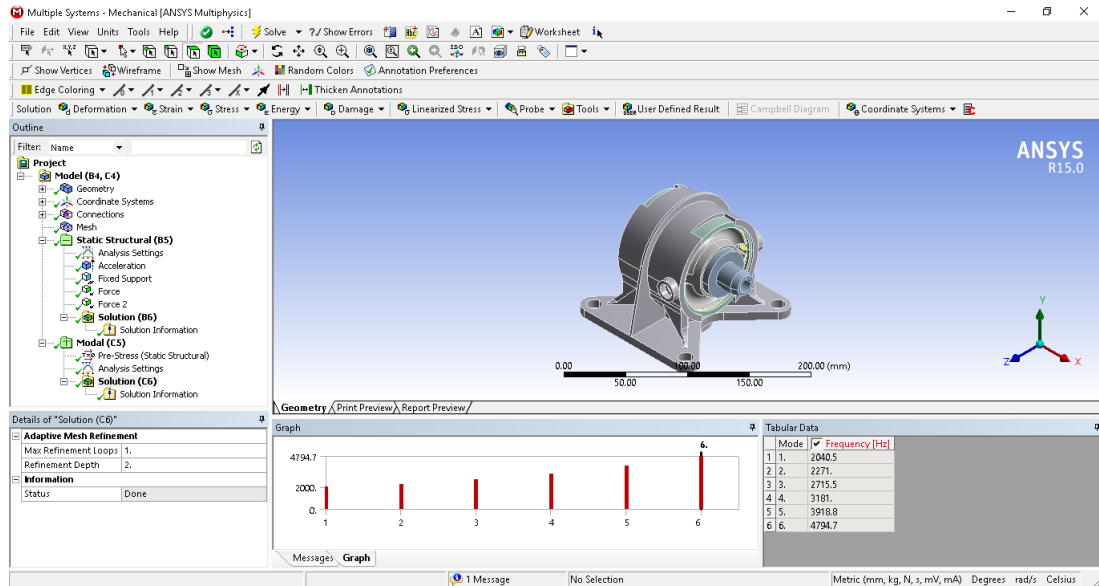


Figura 4.128. Análisis modal de geometría sin redondeos.

A continuación en la tabla 4.54 se enlistan las diferentes frecuencias naturales del componente sin redondeos, las cuales principalmente se dan 6.

Tabla 4.54. Frecuencias naturales del componente sin redondeos.

ANÁLISIS MODAL S/R	
MODOS	FRECUENCIAS
1	2040.5
2	2271
3	2715.5
4	3181
5	3918.8
6	4794.7

Se realizó el comparativo entre las frecuencias naturales de análisis modal con redondeos y sin redondeos, la cual se aprecia en la tabla 4.55.

Tabla 4.55. Comparativo entre frecuencias naturales.

ANÁLISIS MODAL DE FRECUENCIAS NATURALES		
MODOS	FRECUENCIAS C/R	FRECUENCIAS S/R
1	2072.9	2040.5
2	2322.5	2271
3	2742.3	2715.5
4	3195.4	3181
5	3957.2	3918.8
6	4834.4	4794.7

Con ello se llega a la conclusión de que la frecuencia es mayor cuando se le agregan redondeos al componente entonces el sistema vibra más, pero si se le quitan esos redondeos el sistema vibra menos dado a que la vibración se distribuye a lo largo del componente.

El asignamiento de distintos redondeos de diferentes radios a secciones esquinadas a la geometría del material, nos genera una amplia gama de frecuencias naturales. La aeronave produce frecuencias naturales características de la geometría del avión, considerando su velocidad de vuelo, balancero de ejes de los motores y la relación del fuselaje con el entorno. Se debe tener cuidado con las frecuencias naturales del aeronave, debido a que si el componente posee una misma frecuencia natural, las dos

estructuras entraran en resonancia, lo cual produciría vibraciones en conjunto que afectarían el desempeño y seguridad del avión.

Los redondeos en diferentes radios en el material, tienen la capacidad de modular las frecuencias naturales del componente. Las seis frecuencias naturales tanto del componente con y sin redondeo solo se muestran como base comparativa, pero lo que es importante concluir, es que esas frecuencias podrían modularse mediante distintos redondeos en dado caso que las frecuencias naturales del aeronave sean similares a la frecuencias naturales del componente.

Una de las posibles causas de falla y/o sustitución de este componente está asociada a la susceptibilidad de las aleaciones empleadas a procesos de fatiga. Una posible ruta de mejora en el desempeño de estos materiales es la modificación superficial a través de procesos como son: granallado, carburizado, nitrurado, boronizado, etc. En cualquiera de ellos lo que se busca es generar esfuerzos de tipos compresivos para mejorar el desempeño ante el proceso de fatiga.

4.7.3 ANÁLISIS MECÁNICO

En el análisis mecánico, se sometió la pieza a esfuerzos para determinar que tanto la deformación se da a lo largo del componente y verificar si la estructura es ideal para realizar disminución de deformaciones.

Se parametrizó un soporte fijo en la base del componente, se le agrego aceleración de la gravedad para una simulación lo más parecido a la realidad y una fuerza oscilante, el cual estaba constante de 0 a 200 N, para el plano x, y y z. Se agregó también el estudio de deformación total para observar

como la deformación se daba a lo largo de toda la geometría. Como se puede apreciar en la figura 4.129.

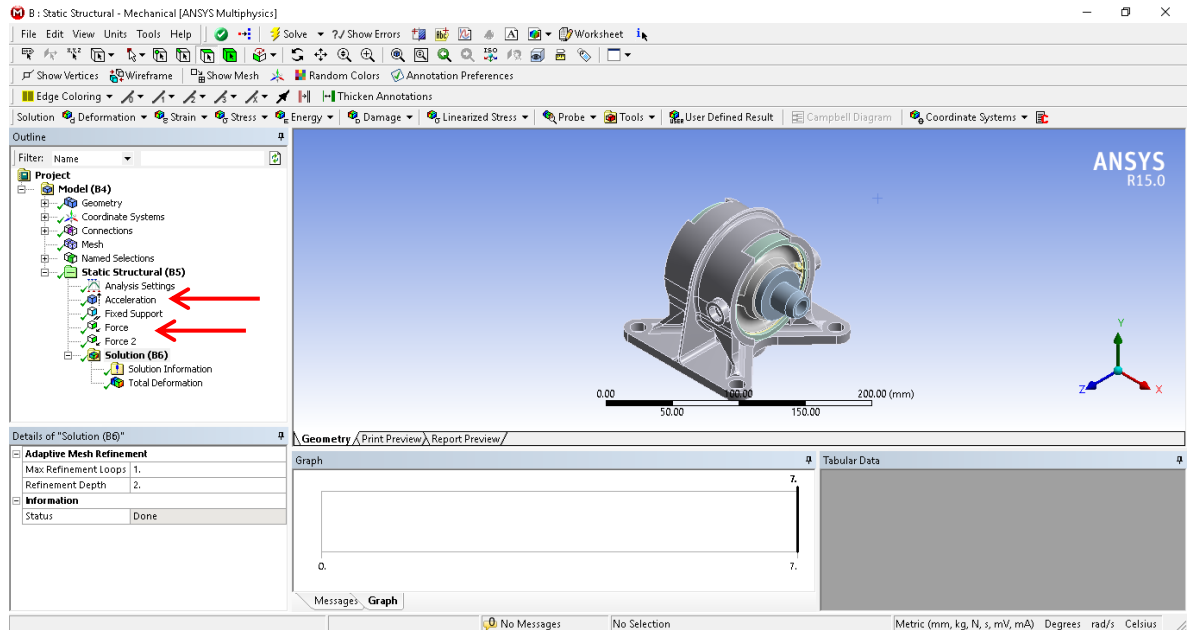


Figura 4.129. Parametrización CAE del componente aislador de vibraciones.

Lo cual se arrojó una visualización de distribución de deformación en posición desde el plano del eje de las xy. Como se observa de la figura 4.130 a la 4.132.

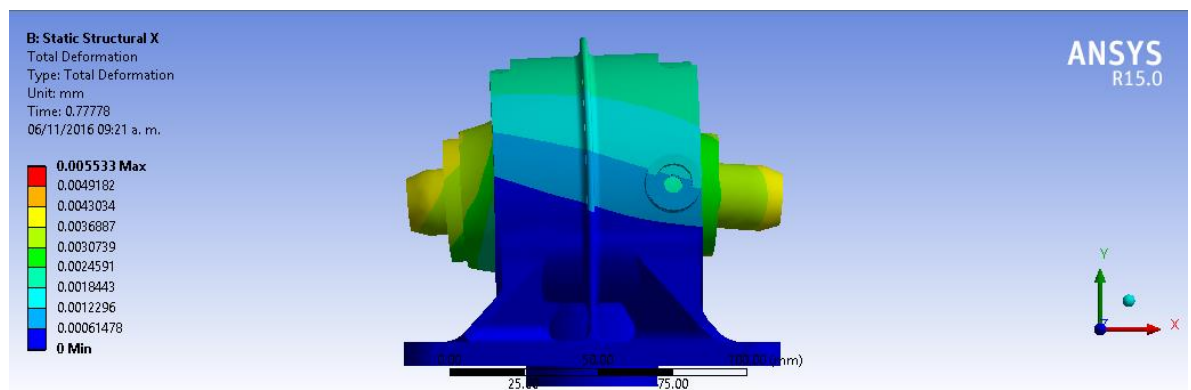


Figura 4.130. Vista 1 de plano del eje de las xy.

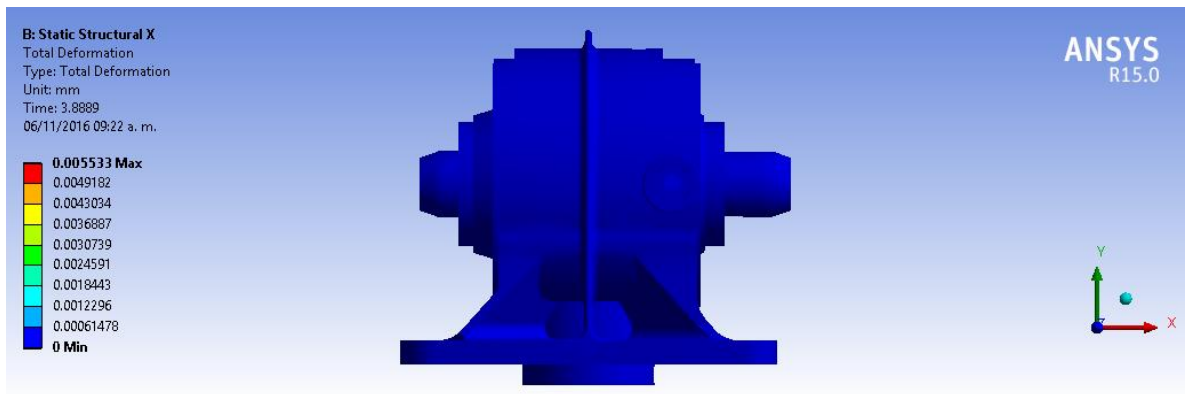


Figura 4.131. Vista 2 de plano de eje de las xy.

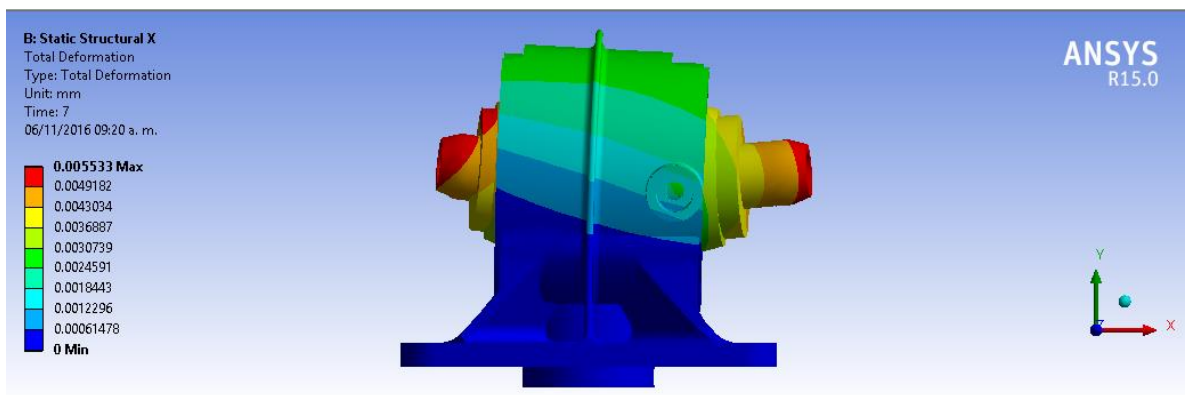


Figura 4.132. Vista 3 de plano de eje de las xy.

De la figura 4.133 a la 4.135 se observa la visualización de deformación en posición desde el plano del eje de las xz.

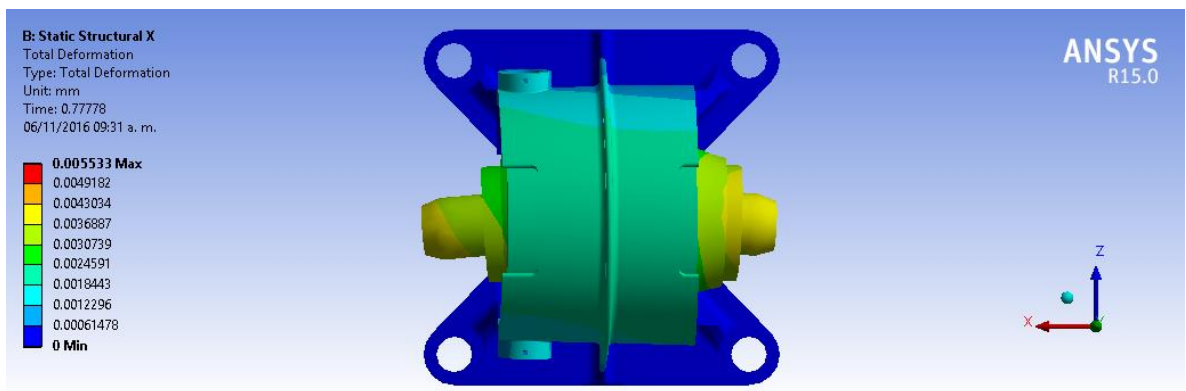


Figura 4.133. Vista 1 de plano del eje de las xz.

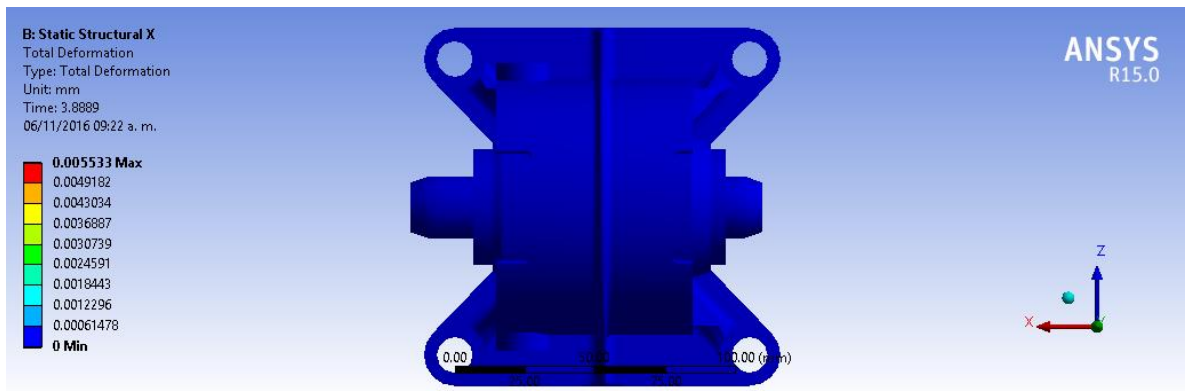


Figura 4.134. Vista 2 de plano de eje de las xz.

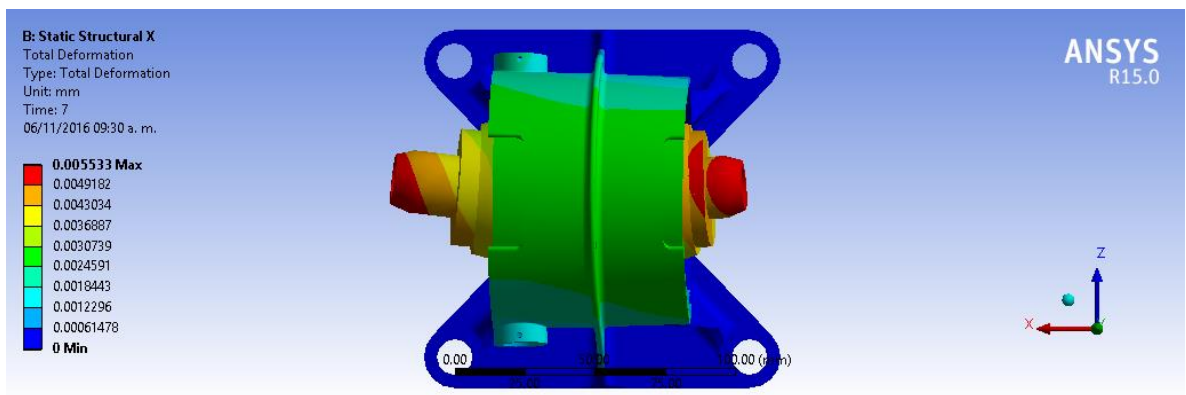


Figura 4.135. Vista 3 de plano de eje de las xz.

De la figura 4.136 a la 4.138 se observa la visualización de deformación en posición desde el plano del eje de las yz.

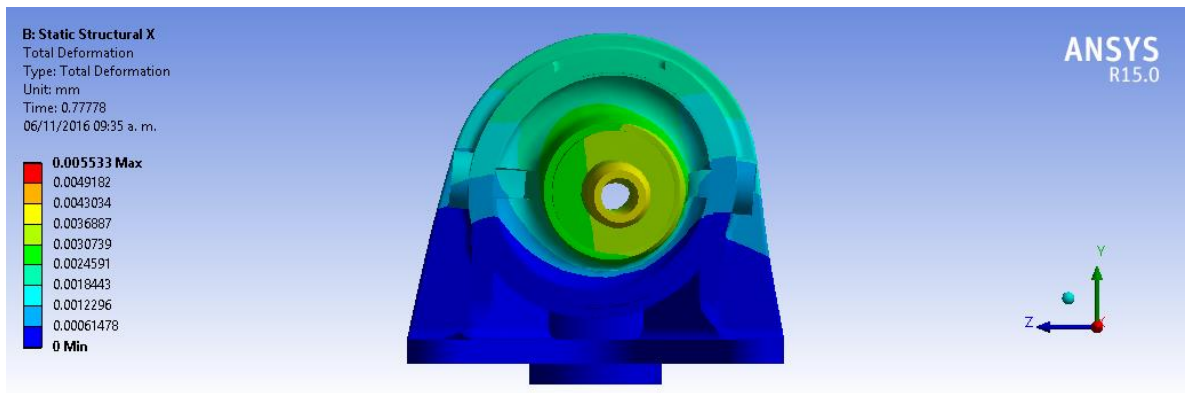


Figura 4.136. Vista 1 de plano del eje de las yz.

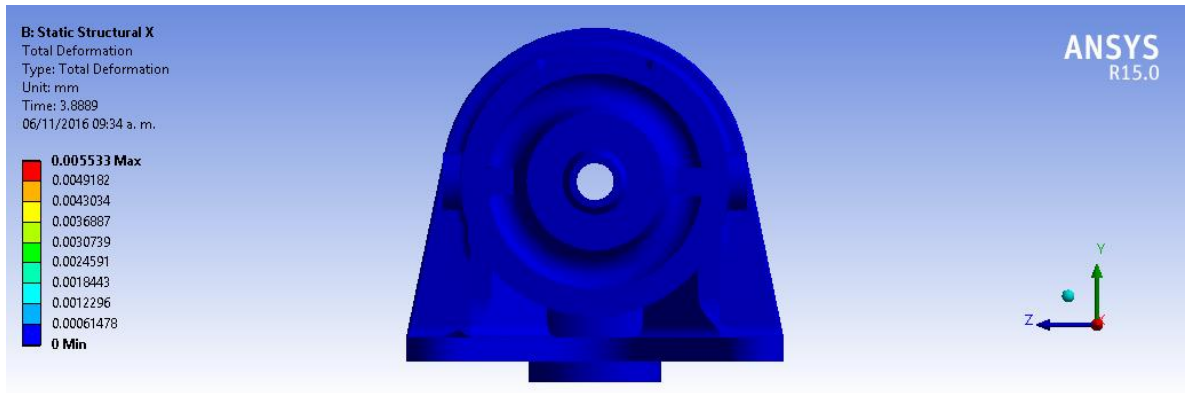


Figura 4.137. Vista 2 de plano de eje de las yz.

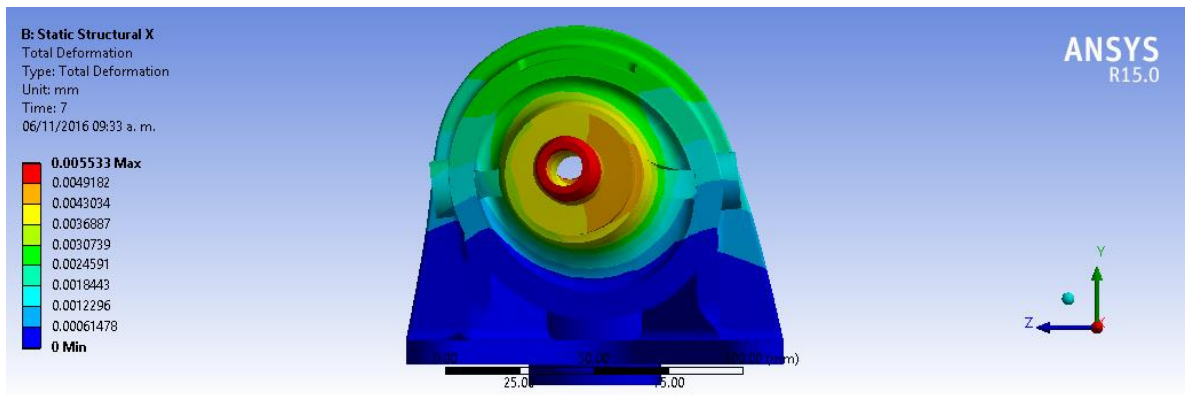


Figura 4.138. Vista 3 de plano de eje de las yz.

Para asegurar que los resultados sean precisos se elaboró una convergencia de malla, el cual consiste en discretizar el modelo a diferentes números de elementos y nodos. Lo cual da como resultado números de nodos y elementos en cantidades distintas. La figura 4.139 muestra un mallado a 3 mm de tamaño de elemento del componente.

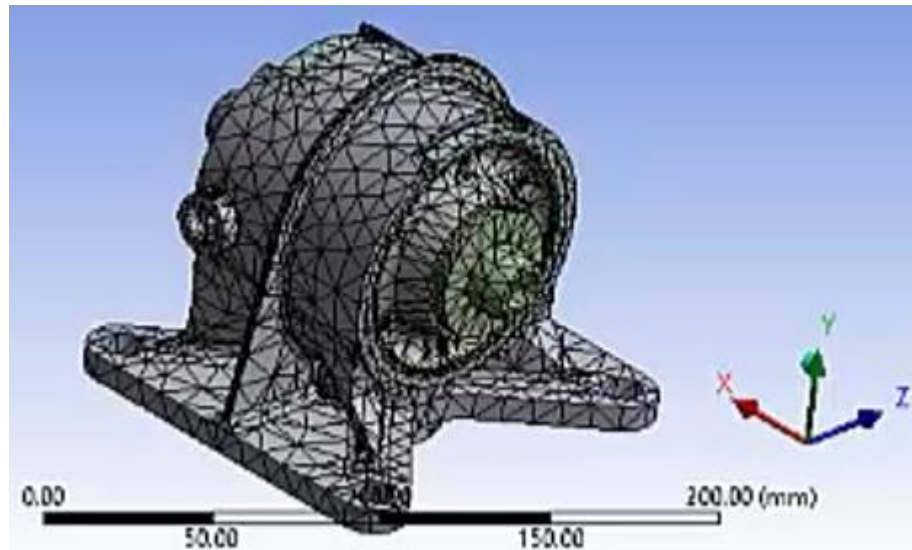


Figura 4.139. Mallado a 3 mm de tamaño de elementos del componente.

Los resultados de deformación se muestran en la tabla 4.56, en la cual se observan tamaños de elementos de 3 a 0.5 mm.

Tabla 4.56. Resultados de deformación de tamaños de elementos de 3 a 0.5 mm.

DEFORMACIÓN				
TAMAÑO DE ELEMENTOS (mm)	NODOS	ELEMENTOS	TOTAL DEFORMATION	
			MÁX.	MÍN.
3	27835	15021	0.0011908	0
2.5	29463	15848	0.0011981	0
2	29875	15946	0.0012123	0
1.5	32578	17101	0.0012159	0
1	40960	21020	0.0012372	0
0.5	81683	41582	0.0012754	0

La deformación siempre está presente a lo largo, ancho y alto del componente, distribuyéndose para todos los planos de deformación, el estudio de deformación anteriormente mostrado se realizó con el diseño

original con el cual está construido, este diseño posee características que influyen en la geometría en la disminución de deformación, una característica principal del componente es el redondeo en cada una de sus uniones de soldadura.

Para poder apreciar el comportamiento de la deformación del componente redondeado, se realizó el análisis de deformación para el componente sin redondeos.

Se realizó el mismo procedimiento de parametrización del análisis en Ansys Workbench solo que con la diferencia del cambio de la estructura sin redondeos como se puede apreciar en la figura 4.140.

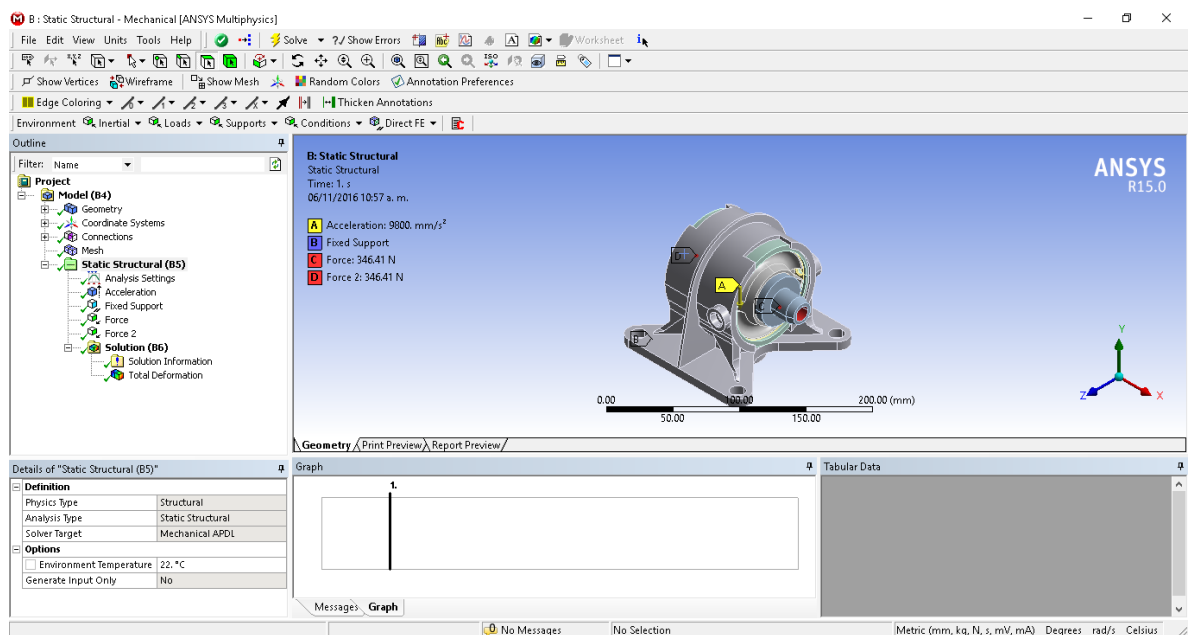


Figura 4.140. Parametrización del componente sin redondeos previo a estudio CAE.

Lo cual se arrojó una visualización de distribución de deformaciones en posición desde el plano del eje de las xy. Como se observa de la figura 4.141 a la 4.143.

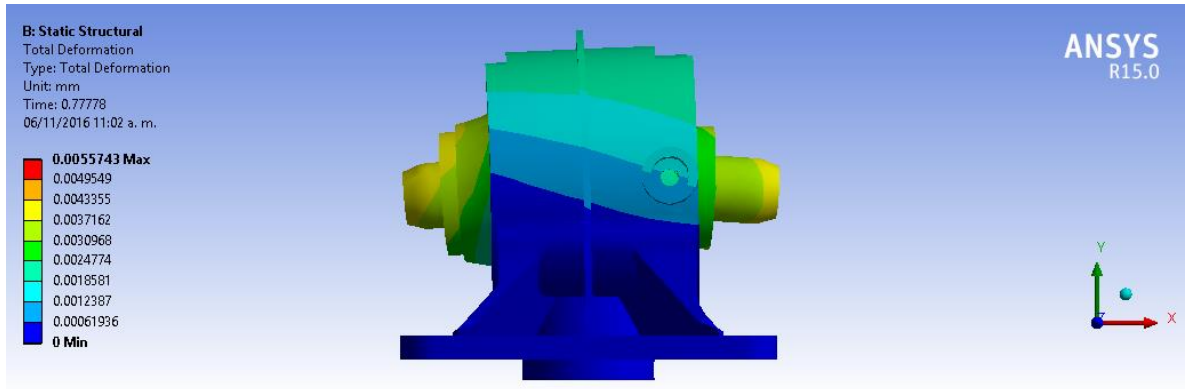


Figura 4.141. Vista 1 de plano del eje de las xy.

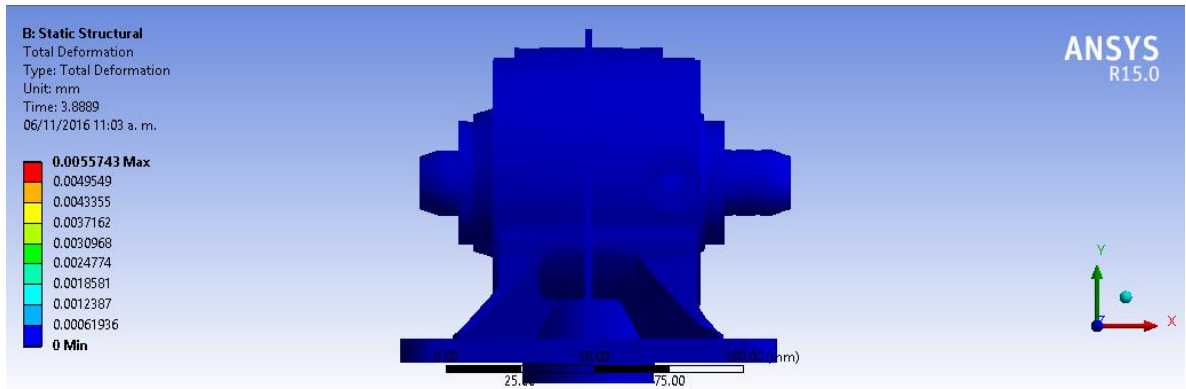


Figura 4.142. Vista 2 de plano de eje de las xy.

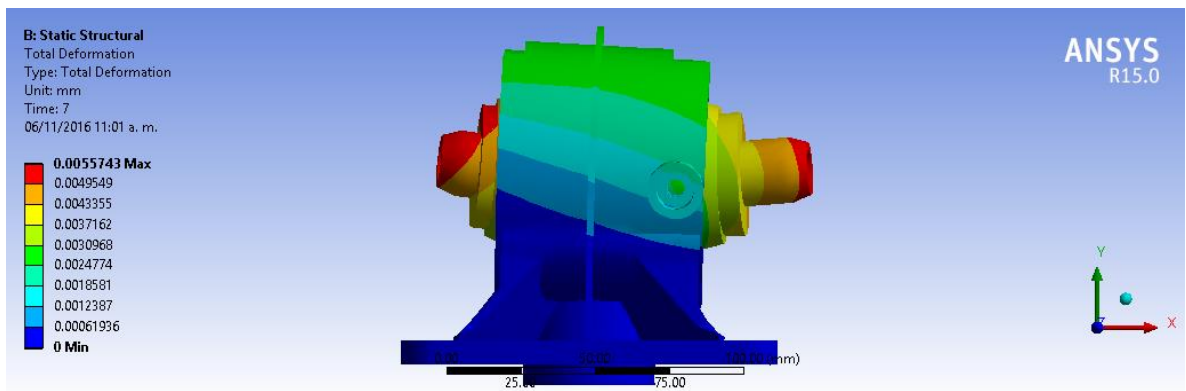


Figura 4.143. Vista 3 de plano de eje de las xy.

De la figura 4.144 a la 4.146 se observa la visualización de deformación en posición desde el plano del eje de las xz.

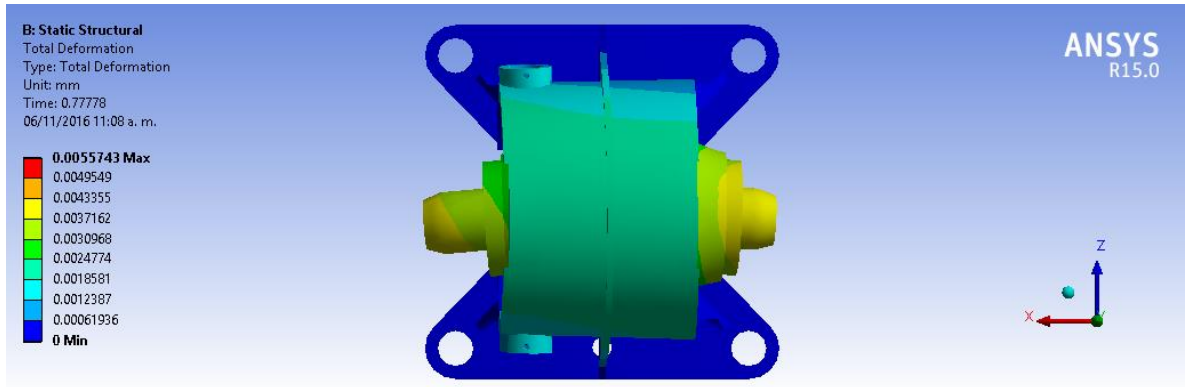


Figura 4.144. Vista 1 de plano del eje de las xz.

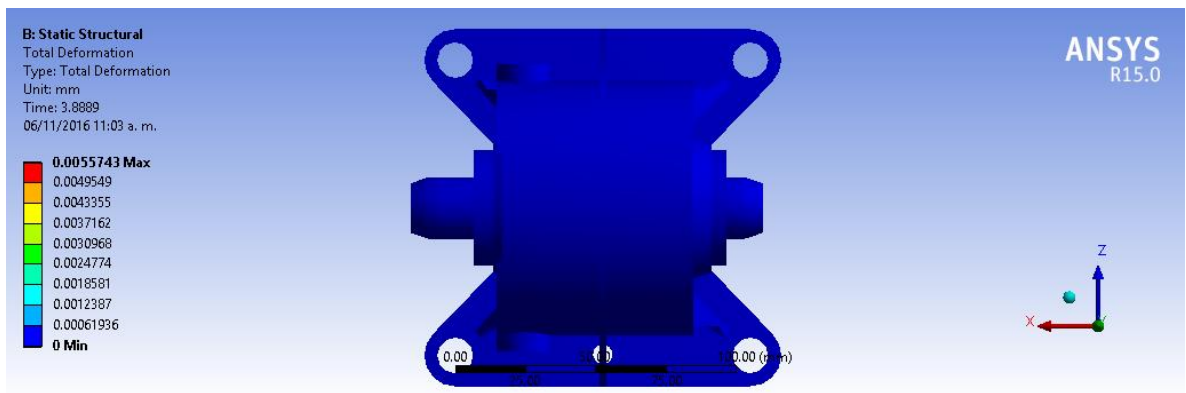


Figura 4.145. Vista 2 de plano de eje de las xz.

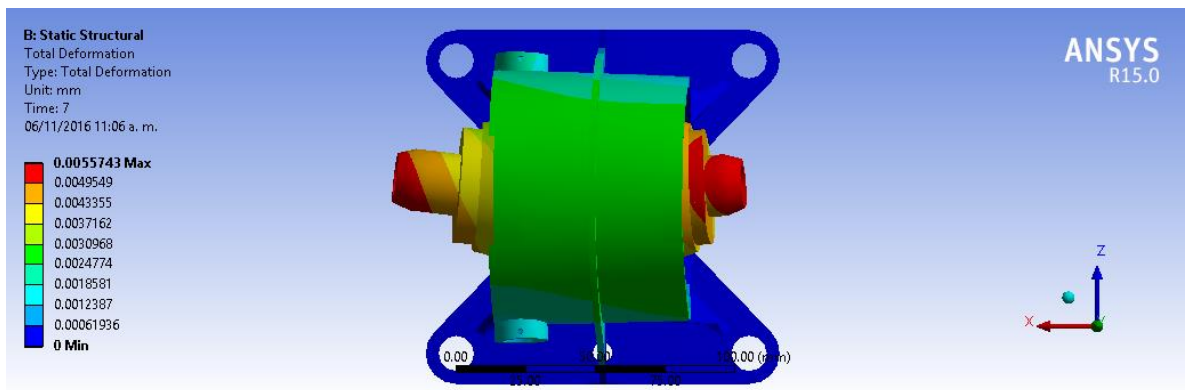


Figura 4.146. Vista 3 de plano de eje de las xz.

De la figura 4.147 a la 4.149 se observa la visualización de deformación en posición desde el plano del eje de las yz.

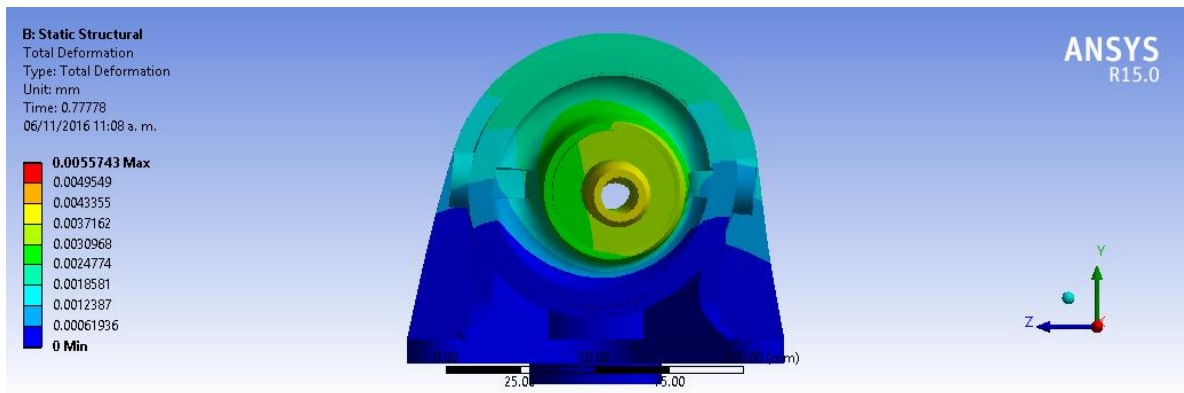


Figura 4.147. Vista 1 de plano del eje de las yz.

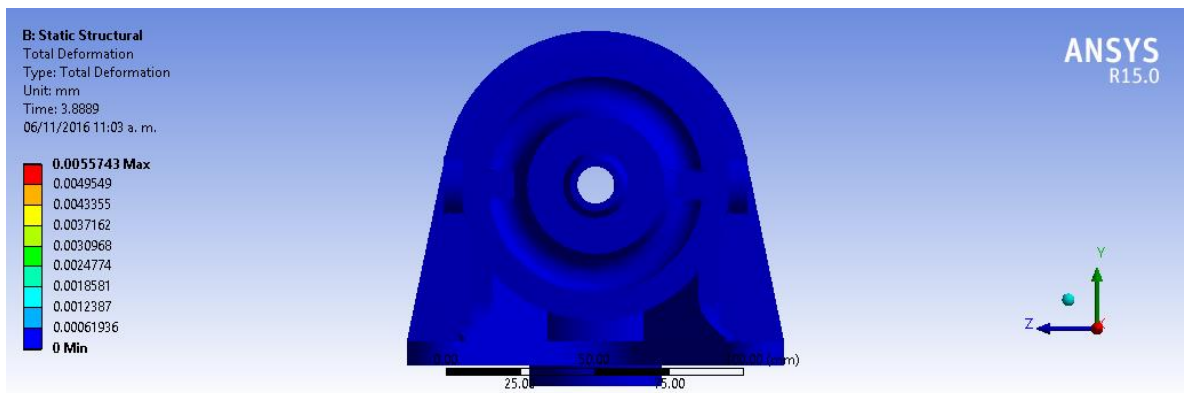


Figura 4.148. Vista 2 de plano de eje de las yz.

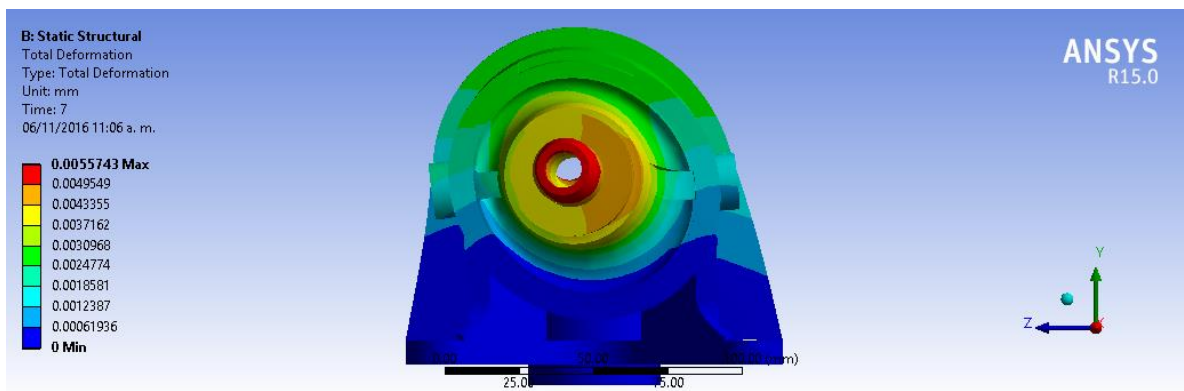


Figura 4.149. Vista 3 de plano de eje de las yz.

Siguiendo el mismo procedimiento podemos apreciar los resultados mostrados en la tabla 4.57.

Tabla 4.57. Resultados de deformaciones para componente sin redondeos.

SIN REDONDEO				
TAMAÑO DE ELEMENTOS (mm)	NODOS	ELEMENTOS	TOTAL DEFORMATION	
			MÁX.	MÍN.
3	22294	11180	0.001291	0
2.5	23434	11636	0.0012931	0
2	24237	12037	0.0013103	0
1.5	27243	13470	0.0012905	0
1	35870	17521	0.0013064	0
0.5	68900	33624	0.0013182	0

Para observar el comportamiento de la estructura con y sin redondeos se hace la comparación entre los resultados mostrados en la tabla 4.58.

Tabla 4.58. Comparación de esfuerzos de estructura con y sin redondeos.

DEFORMACIÓN TOTAL		
TAMAÑO DE ELEMENTOS	C/R	S/R
3	0.0011908	0.001291
2.5	0.0011981	0.0012931
2	0.0012123	0.0013103
1.5	0.0012159	0.0012905
1	0.0012372	0.0013064
0.5	0.0012754	0.0013182

Para poder apreciar mejor los resultados, en la figura 4.150 se muestra una gráfica con los datos interpuestos de resultados con y sin redondeos.

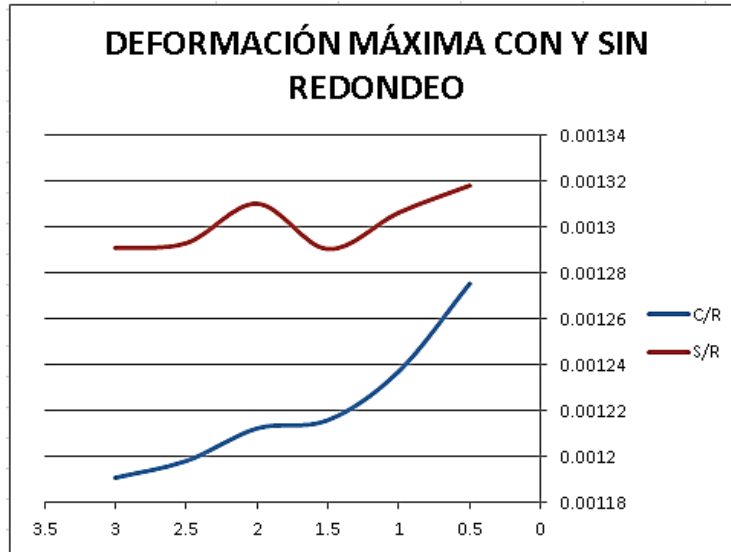


Figura 4.150. Gráfica de datos interpuestos con y sin redondeos.

Antes de analizar como tal los resultados debemos verificar si los resultados que se muestran convergen en un valor casi constante, pero ese valor no es apreciado a simple vista a lo que se procede a realizar una diferencia de resultados entre cada uno de los datos.

En la tabla 4.59 se muestran los resultados de las diferencias entre cada uno tanto los resultados con y sin redondeo.

Tabla 4.59. Diferencias de resultados con y sin redondeo.

DIREFENCIAS DE DATOS C/REDONDEO	DIREFENCIAS DE DATOS S/REDONDEO
-7.3E-06	-2.1E-06
-0.0000142	-0.0000172
-3.6E-06	1.98E-05
-2.13E-05	-1.59E-05
-3.82E-05	-0.0000118
0.0012754	0.0013182

Como se aprecia en la tabla, la diferencia entre los resultados de deformación es muy pequeña, con lo cual se puede concluir que los resultados de deformación ya convergen en valores constantes y podemos considerar los valores como resultados simulados verdaderos.

Podemos apreciar en la gráfica que una estructura es más inestable que otra, dado que los resultados de deformación de la gráfica roja posee valores de mayor magnitud que la gráfica azul. La grafica azul corresponde a los resultados de deformación de la estructura con redondeos y la gráfica roja corresponde a los resultados de deformación de la estructura sin redondeos. La deformación se da a lo ancho, largo y alto de toda la estructura, los redondeos ayudan a disminuir y distribuir estas deformaciones.

Cuando no existe redondeo, la deformación se concentra más en las zonas críticas, y estas son las partes débiles sin reforzamiento y el redondeo funge como reforzamiento para disminuir la deformación. Con ello podemos concluir que la estructura redondeada disminuye efectos de la deformación, con lo cual se aprecia una distribución de esfuerzos uniforme a lo largo de la estructura y podemos decir que la estructura se encuentra optimizada para el uso establecido, resultado esperado de acuerdo a la gran experiencia del fabricante.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

El análisis del diseño del soporte/aislador de vibraciones mostro que es más complejo de lo que simple vista puede apreciarse. Está integrado por 7 piezas fabricados con diferentes materiales y diferentes técnicas. Se identificaron: aleaciones base Al, acero al carbono y acero inoxidable y un elemento polimérico.

La reconstrucción digital y los análisis de esfuerzos simulados muestra que el diseño esta optimizado para el uso establecido, esto es un resultado esperado dada la gran experiencia del fabricante.

El proceso de re-ingeniería es viable siempre que se cuente con las técnicas de caracterización química, microestructural y mecánica adecuados.

Las metodologías de fabricación identificadas son: laminación, extrusión, forja, soldadura y el probable uso de metalurgia de polvos, por lo que se puede concluir de que si existe la capacidad técnica en el país para poder fabricar este tipo de componentes

BIBLIOGRAFIA

- [0.1] http://diariojornada.com.ar/15694/Sociedad/Como_es_el_Saab_340_el_avion_del_accidente_en_Rio_Negro].
- [0.2] Christopher Kilroy (1997-2008). «Estadísticas». AirDisaster.com. Consultado el 24 de marzo de 2011.
- [0.3] Flight Safety Foundation (1983-2011). «Estadísticas». aviation-safety.net. Consultado el 19 de mayo de 2011.
- [0.4] ASTM E8, STANDART TEST METHODS FOR TENSION TESTING OF MATERIALS, ASTM INTERNATIONAL
- [1.1] El gran libro de SolidWorks, 2008-17.
- [1.2] <http://www.mastermagazine.info/termino/4148.php>] y <http://www.gallart.com/cad-cam-cae/>
- [2.1] <http://ecoempresa.weebly.com/misioacuten.html>
- [2.2] Desarrollo de un simulador conductual para la formación en gestión empresarial basada en LEAN, AÑO 2011, página 75-81.
- [2.3] Reporte anual que se presenta de acuerdo con las disposiciones de carácter general aplicables a las Emisoras de valores y a otros participantes del mercado, Año 2011, paginas 111-115.
- [2.4] http://www.academia.edu/14491713/LA_GESTI%C3%93N_POR_PROCESOS_SU_PAPEL_E_IMPORTANCIA_EN_LA_EMPRESA
- [2.5] http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12316/PFC_Raul_Perez_Velazquez.pdf
- [2.6] <http://www.gestiopolis.com/reingenieria-y-su-importancia-en-las-empresas-contemporaneas/>
- [2.7] Los pirañas, Diego Fernando Sánchez, AÑO 2016, página 317-323.
- [2.8] Industria Automotriz, 2012, 16-20.
- [2.9] <http://www.measurecontrol.com/caso-nissan-motor-iberica-reingenieria-de-procesos-tecnologia-y-oportunidades-para-mejora-de-calidad-y-productividad/>

- [2.10] <http://www.elheraldo.hn/pais/735972-214/reingenier%C3%ADa-incluye-pruebas-de-confianza>
- [2.11] Fuente <http://www.mastermagazine.info/termino/4148.php>
- [2.12] <http://www.gall-art.com/cad-cam-cae/#>
- [2.13] http://www.academia.edu/4984205/Propiedades_de_Materiales_en_Aeron%C3%A1utica
- [2.14] <https://www.avspares.com/>
- [2.15] Type Acceptance Report, 2016-2
- [2.16] Type Certificate data Sheet, 2015-15
- [2.17] Aceros, 2013,5-7
- [2.18] MAE Design and Manufacturing Laboratory, 2010, Pag. 4
- [2.19] [http://www1.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.\(alum\)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm](http://www1.frm.utn.edu.ar/cmateriales/Trab.%20Inves.(alum)/Soldadura%20MAG/SOLDADURA%20POR%20ARCO%20SUMERGIDO.htm)
- [2.20] <http://www.amadamiyachieurope.com/esp-es/tecnolog%C3%ADa/soldadura-por-resistencia/>
- [2.21] <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>
- [3.1] https://www.ecured.cu/Microscopio_electr%C3%B3nico_de_barrido
- [3.2] Principios generales de la microscopia electr3nica de barrido, 2016-1.
- [3.3] <http://www.intertek.com/analysis/microscopy/edx/>
- [3.4] <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab482s/ab482s04.htm>
- [3.5] CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES, sexta edici3n, p3gina 204. Donal R. Askeland.
- [3.6] ASTM E8, STANDART TEST METHODS FOR TENSION TESTING OF MATERIALS, ASTM INTERNATIONAL
- [3.7] CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES, sexta edici3n, p3gina 222. Donal R. Askeland.
- [3.8] ASTM D785, Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International.
- [3.9] <http://www.hardnesstesters.com/Applications/Vickers-Hardness-Testing.aspx>

- [3.10] Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials, E384.
- [3.11] ASTM METAL HANDBOOK VOL. 8 MECHANICAL TESTING AND EVALUATION PAG. 460]
- [3.12] LA MICROSCOPIA PARA EL ESTUDIO DE MATERIALES Y LAMINAS DELGADAS, página 2-3. J.A. Martín Gago
- [4.1] <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304L>
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=ma2024t4>
- [4.2] Luis Arturo Perez, Aleaciones 1995
- [4.3] Jef A Helsen, HJ Breme: Metals as Biomaterials, J. Wiley, 1998.
- [4.4] Introduction to Metallurgical Thermodynamics, David R. Gaskell, Pag. 287.

ANEXOS

Anexo 1. Cotización del costo del componente

25/3/2017

RE: RFQ from Airplane Mechanic (Sent via AVspares.... - RICARDO OROZCO SALGADO

RE: RFQ from Airplane Mechanic (Sent via AVspares.com)

Lucas Victor<lucas@scanparts.com>

mar 31/05/2016 03:29 a.m.

Para:RICARDO OROZCO SALGADO <ricardo.orozcosal@uaem.edu.mx>

Hello Ricardo,

Thank you for your RFQ!

I have PN: 9303147-008 available in stock – (93948-11) - \$3500 EA outright sales – SVC – FAA8130-3 – 2005-
Barry Controls

Let me get your feedback on the quotation!

For any other SAAB340 RFQ's, please send them to me. We are one of Europes largest stockist of SAAB340
consumables & components!

Best Regards

Lucas Victor
ScanParts Co. Ltd.
lucas@scanparts.com
www.scanparts.com
+45 8752 1700

From: AVSpares.com [mailto:info@avspares.com]

Sent: 31 May 2016 05:04

To: lucas@scanparts.com

Subject: RFQ from Airplane Mechanic (Sent via AVspares.com)

You have received a new RFQ from **Airplane Mechanic**

To view the enquiry and reply please click the following link:-

[http://www.avspares.com/rfq/view?
id=295306&user=5893&key=cd0b43eac0392accf3624b7372dec36e](http://www.avspares.com/rfq/view?id=295306&user=5893&key=cd0b43eac0392accf3624b7372dec36e)

This link will remain valid for 7 days, you can still reply after this time by signing into
your AVspares.com account.

It only takes seconds to reply to this RFQ online and the buyer will be immediately
alerted to your reply. Our RFQs have been purposefully designed to be easy for you to
complete whilst allowing you to specify more comprehensive information than any other
listing site.

<https://outlook.office365.com/owa/?viewmodel=ReadMessageItem&ItemID=AAMkADBIMzNiYTMzLTYzYWEINGQ2YS1hNmIzLTlOTkN2YjYjMwMwBGAAAAA...> 1/2

25/3/2017

RE: RFQ from Airplane Mechanic (Sent via AVspares.... - RICARDO OROZCO SALGADO



The FREE online aviation marketplace.

AVspares.com Limited

Queens House, 44 New Street, Honiton, Devon, EX14 1BJ, Great Britain.

Registered in England & Wales No: 6147093

<https://outlook.office365.com/owa/?viewmodel=ReadMessageItem&ItemID=AAMKADBIMzNiYTMzLTYzYWEiNGQ2YS1hNmIzLTlOTkN2ViYjMwMwBGAAAAA...> 2/2

Anexo 2. Escalas de dureza Rockwell [3.14].

Escala	Indentador	Carga, kgf	Typical applications
A	Diamond (two scales—carbide and steel)	60	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel
B	1/16 in. (1.588 mm) ball	100	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron
C	Diamond	150	Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case-hardened steel, and other materials harder than 100 HRB
D	Diamond	100	Thin steel and medium case-hardened steel and pearlitic malleable iron
E	1/8 in. (3.175 mm) ball	100	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals
F	1/16 in. (1.588 mm) ball	60	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals
G	1/16 in. (1.588 mm) ball	150	Phosphor bronze, beryllium copper, malleable irons. Upper limit 92 HRG to avoid possible flattening of ball
H	1/8 in. (3.175 mm) ball	60	Aluminum, zinc, lead
K	1/8 in. (3.175 mm) ball	150	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
L	1/4 in. (6.350 mm) ball	60	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
M	1/4 in. (6.350 mm) ball	100	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
P	1/4 in. (6.350 mm) ball	150	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
R	1/2 in. (12.70 mm) ball	60	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.

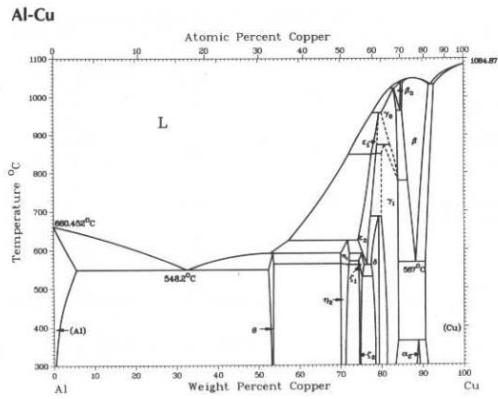
S	1/2 in. (12.70 mm) ball	100	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.
V	1/2 in. (12.70 mm) ball	150	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect.

Anexo 3. Escalas de dureza Rockwell utilizadas para materiales plásticos.

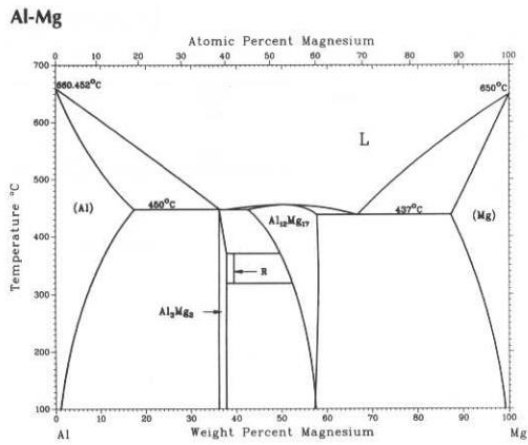
Escala de dureza Rockwell (números de marcación reales)	Carga menor (Kg)	Carga mayor (Kg)	Diámetro del indentador de acero.	
			in	mm
R	10	60	0.5000 ± 0.0001	12.700 ± 0.0025
L	10	60	0.2500 ± 0.0001	6.350 ± 0.0025
M	10	100	0.2500 ± 0.0001	6.350 ± 0.0025
E	10	100	0.1250 ± 0.0001	3.175 ± 0.0025
K	10	150	0.1250 ± 0.0001	3.175 ± 0.0025

Anexo 4. Diagramas de Fases.

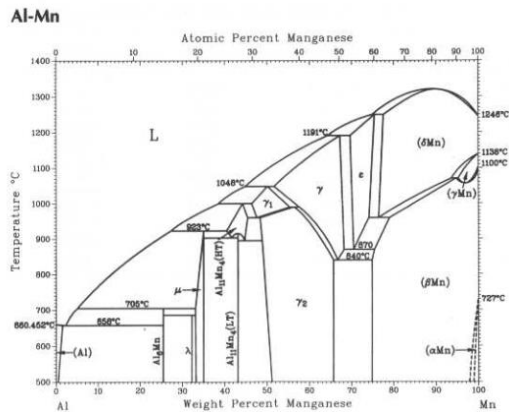
4.1 DIAGRAMA DE FASE Al-Cu



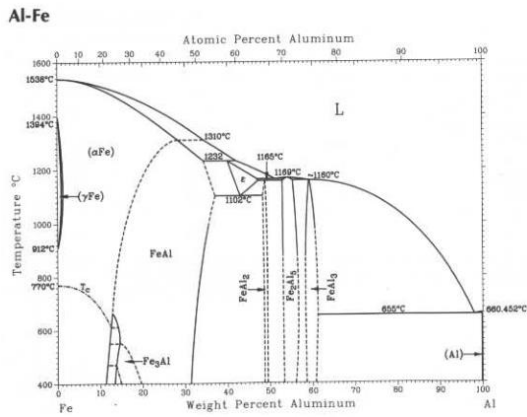
4.2 DIAGRAMA DE FASE Al-Mg



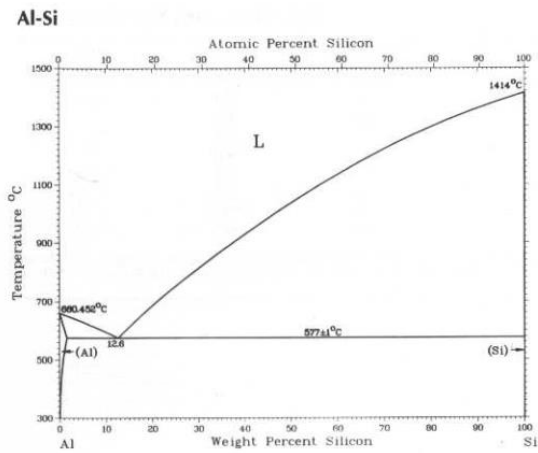
4.3 DIAGRAMA DE FASE Al-Mn



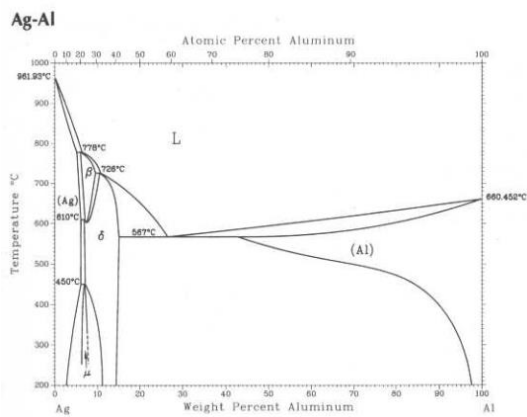
4.4 DIAGRAMA DE FASE Al-Fe



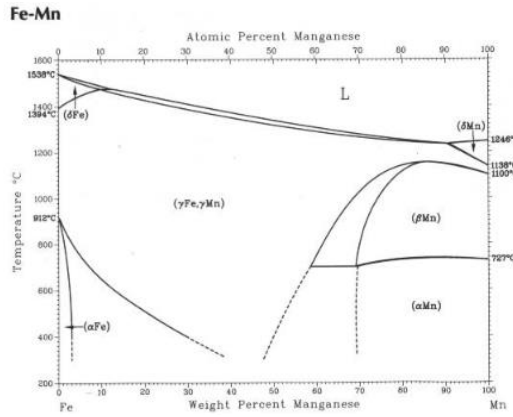
4.5 DIAGRAMA DE FASE Al-Si



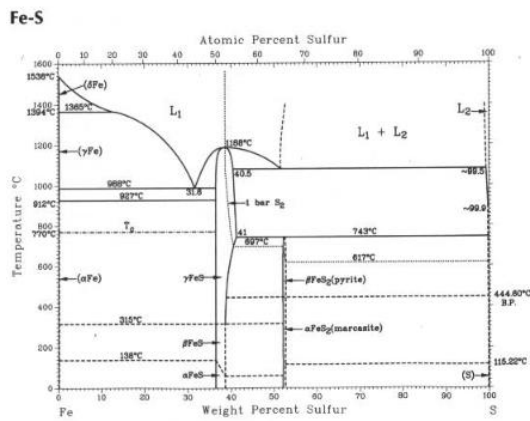
4.6 DIAGRAMA DE FASE Al-Ag



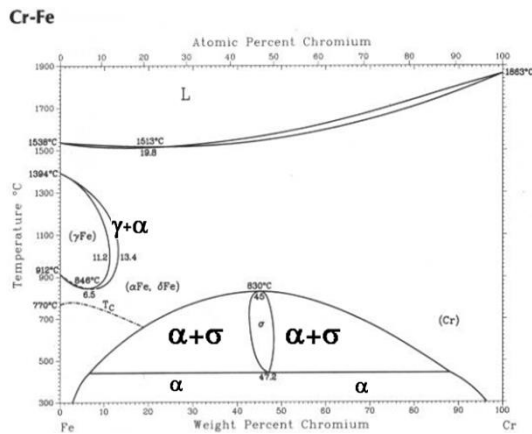
4.7 DIAGRAMA DE FASE Fe-Mn



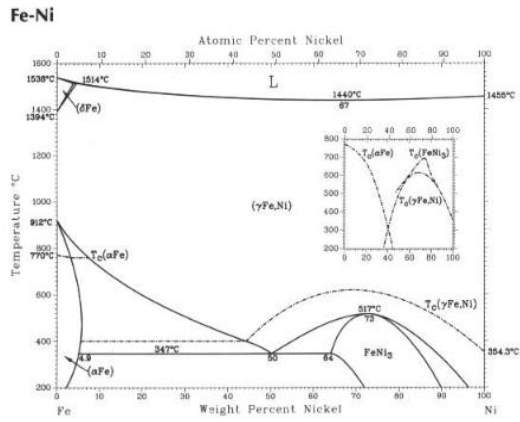
4.8 DIAGRAMA DE FASE Fe-S



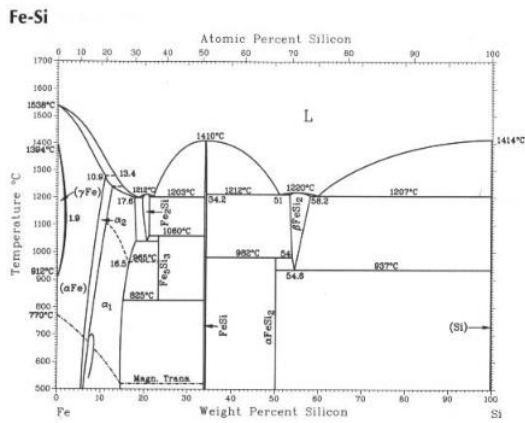
4.9 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cr



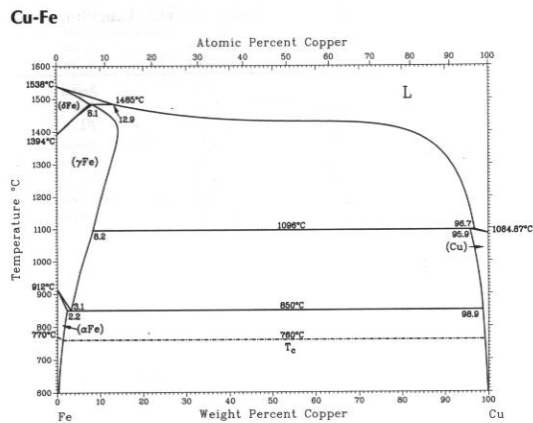
4.10 DIAGRAMA DE FASE Fe-Ni



4.11 DIAGRAMA DE FASE Fe-Si



4.12 DIAGRAMA DE FASE Fe-Cu



4.13 DIAGRAMA DE FASE Fe-Nb

Fe-Nb

