Facultad de Ingeniería
Grupo de Materiales Poliméricos
Universidad de Antioquia

INFORME DE ANÁLISIS DE PIEZA FABRICADA CON MATERIAL METÁLICOS
CÓDIGO 50000084 - Escudos de suspensión rígida lado A y lado B

1. LUGAR DE REALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS

Laboratorio de Espectrometría. Laboratorio de Materialografía. Laboratorio de Fundición.
Universidad de Antioquia.

2. DIRECCIÓN DEL LABORATORIO

Calle 67 No. 53-108, Ciudad Universitaria, Bloque 19 Primer piso.
Correspondencia: Bloque 18 Oficina 240 Medellín, Colombia.
Tel: 219 85 42.

3. NOMBRE DEL CLIENTE

Empresa de Transporte Masivo del Valle de Aburrá - Metro de Medellín.
Área de Investigación, Desarrollo e Innovación.
Ing. Laura Múnera Sánchez.

4. DIRECCIÓN DEL CLIENTE

Calle 44 46-001, Bello-Antioquia.

5. IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE ENSAYO

Pieza a analizar: Escudos de suspensión rígida lado A y lado B

Referencia: Orden 50000084

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el escudo de suspensión rígida. De acuerdo con las instrucciones enviadas por el Metro de Medellín, se desea caracterizar el material o los materiales empleados en la fabricación original de la pieza.



Figura 1. Escudo de suspensión rígida.

6. DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO ORDENADO POR EL CLIENTE

El cliente solicitó la realización de un estudio de composición química, dureza y metalografía con el fin de caracterizar el material utilizado en la fabricación de la pieza.

7. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO

7.1. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

Para conocer la composición química del material, se hizo uso de un Espectrómetro de emisión óptica marca BRUKER Q8 MAGELLAN.

7.2. DUREZA ROCKWELL B

La dureza de la pieza metálica se realizó en el equipo NOVOTEST TB- BRV-D, estableciendo las condiciones del ensayo de acuerdo con la norma ASTM E18-19, Con una carga de 100 Kgf (980 N) e indentador de 1/16” de diámetro, y un tiempo de ensayo de 6 segundos.

7.3 DUREZA ROCKWELL C

La dureza de la pieza metálica se realizó en el equipo NOVOTEST TB- BRV-D, estableciendo las condiciones del ensayo de acuerdo con la norma ASTM E18-19, Con una carga de 150 Kgf (1471 N) e indentador de 1/16" de diámetro, y un tiempo de ensayo de 6 segundos.

7.4 ANÁLISIS METALOGRÁFICO

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran las zonas que fueron analizadas para la caracterización microestructural de una sección transversal del escudo.

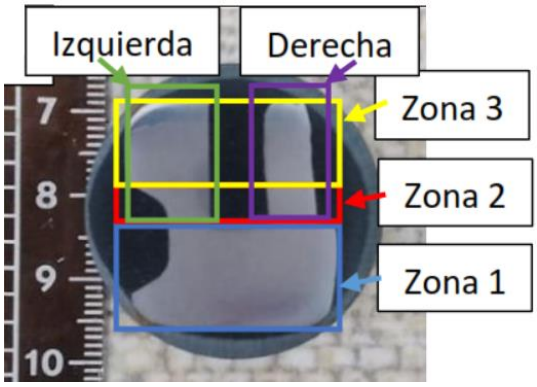


Figura 2. Sección transversal del escudo de suspensión montada en baquelita para el análisis metalográfico identificando las zonas analizadas.

Las micrografías fueron obtenidas con un microscopio óptico NIKON ECLIPSE MA y analizador de imágenes NIKON DIGITAL SIGHT DS-L3. Se realizó la preparación superficial con el uso de un pulido grueso con lijas de tamaño de grano número 120, 240, 320, 400, 600 y 800, seguido de un pulido fino en paño 60-1500 con alúmina pasante 325 Serie Tyler. Finalmente, para el revelado de la microestructura, se utilizó nital al 2% para las tres piezas que conforman el conjunto patín electromagnético tren MAN.

8. RESULTADOS

8.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA:

En la Tabla 1 se presentan los principales elementos químicos detectados en el análisis de composición química de la pieza. Los valores de composición química están indicados en porcentaje en peso.

Tabla 1. Composición química del escudo indicada cómo porcentaje en peso.

Carbono (C)	Manganeso (Mn)	Cromo (Cr)	Silicio (Si)	Azufre (S)	Fósforo (P)	Cobre (Mo)
0.361	0.662	0.179	0.232	0.023	0.011	0.139

Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)	Aluminio (Al)	Arsénico (As)	Boro (B)	Cobalto (Co)	Niobio (Nb)
0.096	0.022	0.038	0.009	0.0001	0.011	0.0027

Plomo (Pb)	Antimonio (Sb)	Titanio (Ti)	Tantalio (Ta)	Vanadio (B)	Cobalto (Co)	Calcio (Ca)
0.0019	0.0091	0.0011	< 0.0005	0.0001	0.0034	< 0.0001

Tungsteno (W)	Zirconio (Zr)
0.0025	< 0.0005

Según la literatura la composición presentada en la Tabla 1 coincide con un acero al carbono. En la Tabla 2 se presenta la comparación de la composición química del escudo con la de un acero AISI/SAE 1040 y un acero AISI/SAE 1035.

Tabla 2. Comparación de las composiciones químicas del escudo con la del acero AISI/SAE 1040 y el acero AISI/SAE 1035.

ELEMENTO	Escudo	Acero AISI/SAE 1040	Acero AISI/SAE 1035
Carbono (C)	0.361	0.37 – 0.44	0.31 – 0.38
Silicio (Si)	0.232	0.10 – 0.35	0.10 – 0.35
Manganeso (Mn)	0.662	0.6 – 0.9	0.6 – 0.9
Azufre (S)	0.023	0.040 Max	0.040 Max
Fósforo (P)	0.011	0.050 Max	0.050 Max
Cromo (Cr)	0.179	No se especifica	No se especifica
Molibdeno (Mo)	0.022	No se especifica	No se especifica
Cobre (Cu)	0.139	No se especifica	No se especifica

Los resultados de composición química indican que el acero empleado en la fabricación del escudo coincide con la especificación del acero AISI/SAE 1035, si bien la diferencia con el acero AISI/SAE 1040 es poco significativa, un aspecto que será considerado en las conclusiones de este informe.

8.2. DUREZA

En la Tabla 3 se presentan los valores obtenidos para las mediciones de dureza Rockwell B (HRB) del escudo. Las mediciones indican que la pieza exhibe una dureza promedio de 56.7 ± 1.2 HRB.

Tabla 3. Resultados de las mediciones de dureza Rockwell B para el elemento superior del patín electromagnético.

Valores	Dureza (HRB)
1	56.6
2	56.3
3	56.0
4	58.9
5	55.8
Promedio	**56.7**
Desviación estándar	**1.2**
Dureza máxima	58.9
Dureza mínima	55.8

8.3. ANÁLISIS METALOGRÁFICO

En las Figuras 3 y 4 se presentan respectivamente las micrografías tomadas a la muestra del escudo, sin realizar ataque químico y una vez realizado este. En la muestra sin atacar se identificaron inclusiones no metálicas del tipo D-óxidos globulares y tipo A-sulfuros.

El análisis de la muestra atacada se realizó dividiendo el área en tres zonas y dos lados, tal y como se indicó en la Figura 2. La muestra atacada con nital al 1% presentó en las zonas 1, 2 y 3 del área izquierda de la Figura 2 una microestructura ferrítico-perlítica. El área derecha zona 2 de la Figura 2 presentó una microestructura ferritico-perlitica, con alta presencia de perlita esfeoridizada; en la zona 3 de la Figura 3 se observó una microestructura refinada ferrítico-perlítica con baja presencia de perlita esferoidizada.

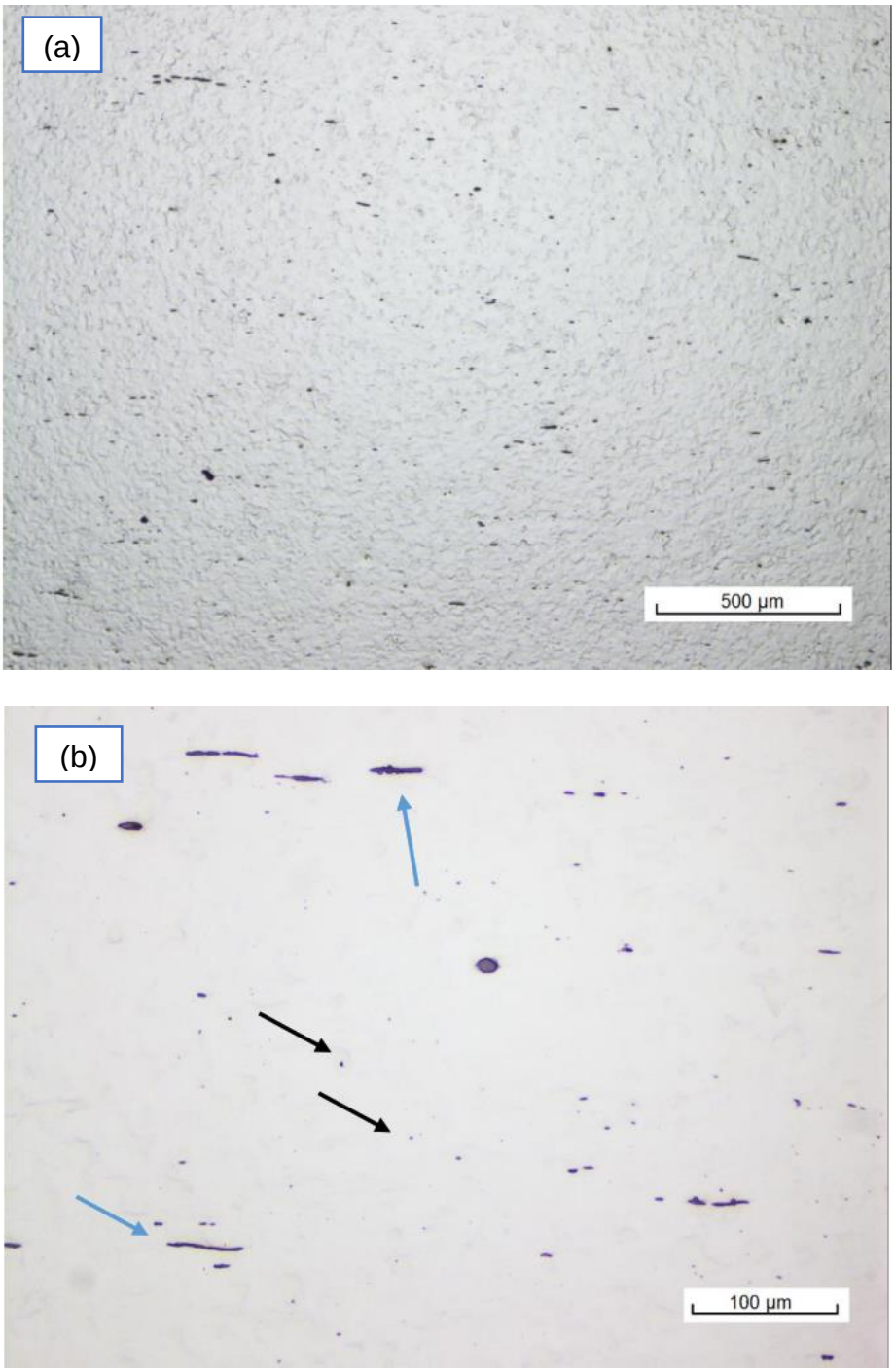


Figura 3. Micrografía del escudo sin ataque químico a diferentes aumentos. Las flechas negras señalan los óxidos globulares y las azules los sulfuros.

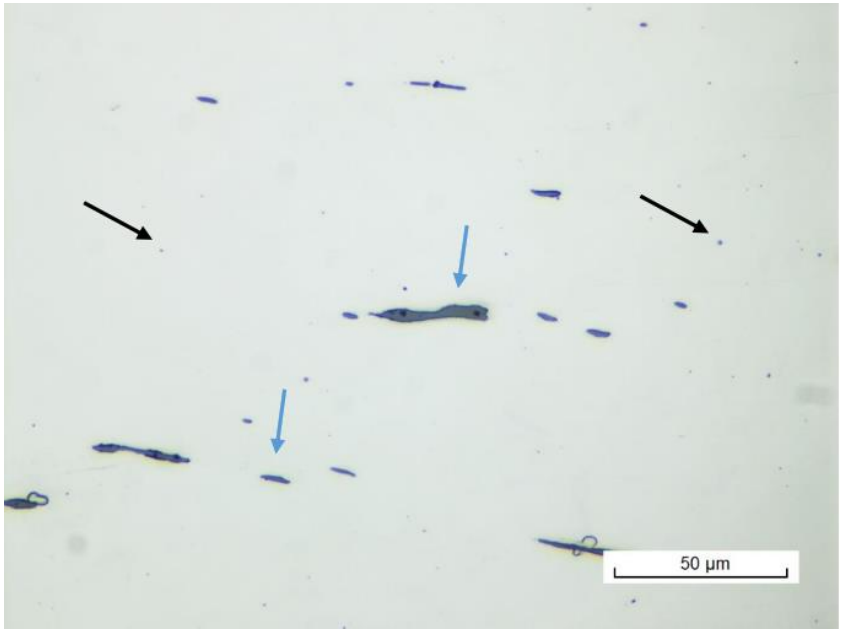


Figura 4. Micrografía del escudo sin ataque químico a mayores aumentos que en la Figura 3. Las flechas negras señalan óxidos globulares y las azules los sulfuros.

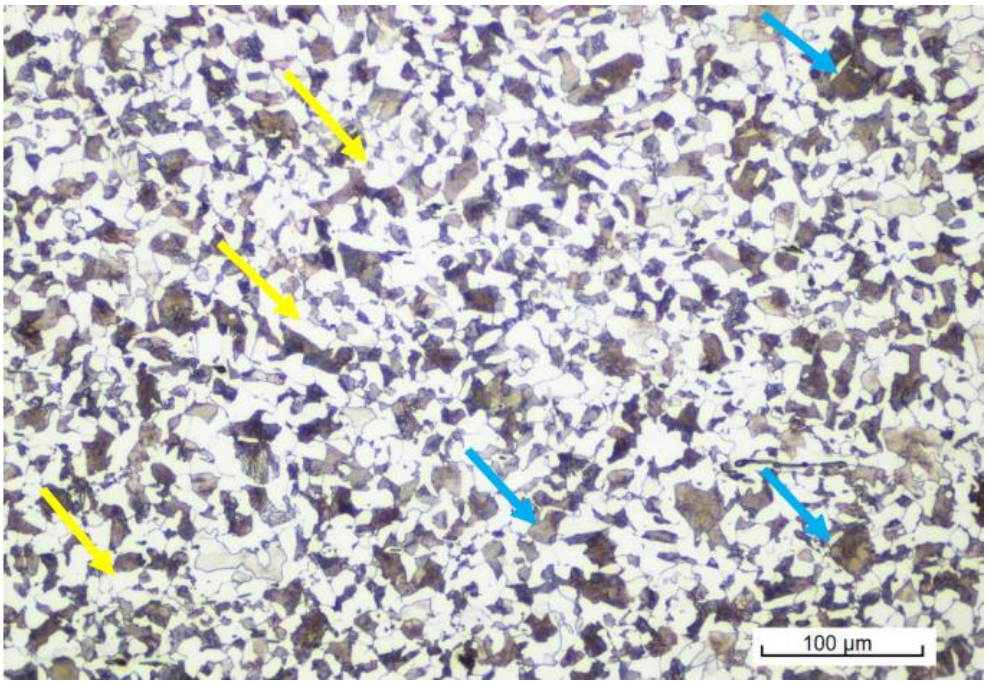


Figura 5. Micrografía de la zona 1 de la Figura 2 atacada con nital al 1%. Las flechas amarillas señalan la ferrita y las azules la perlita.

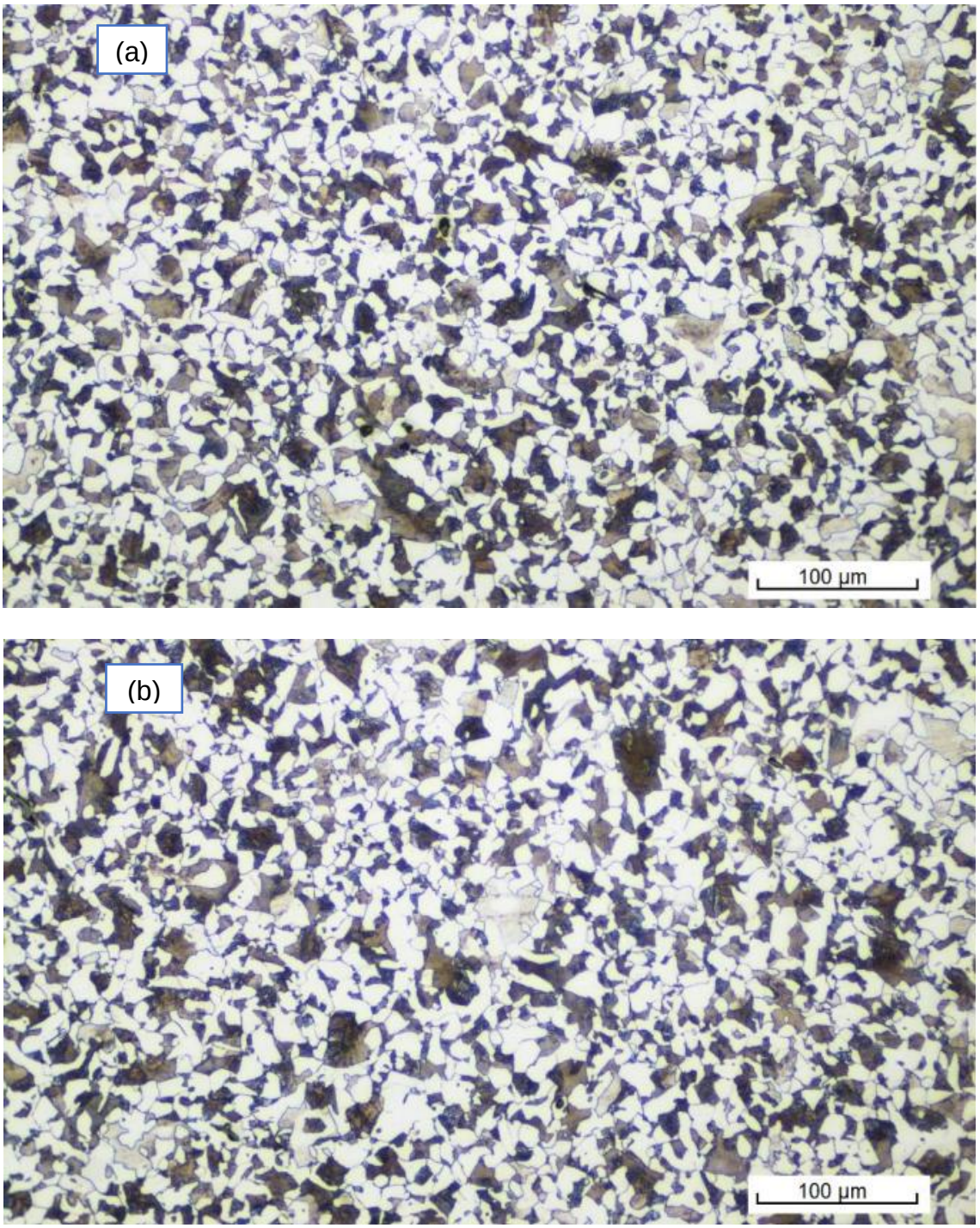


Figura 6. Micrografía del escudo 2 atacado con nital al 1%. a) zona 2 izquierda de la Figura 2. b) zona 3 izquierda de la Figura 2.

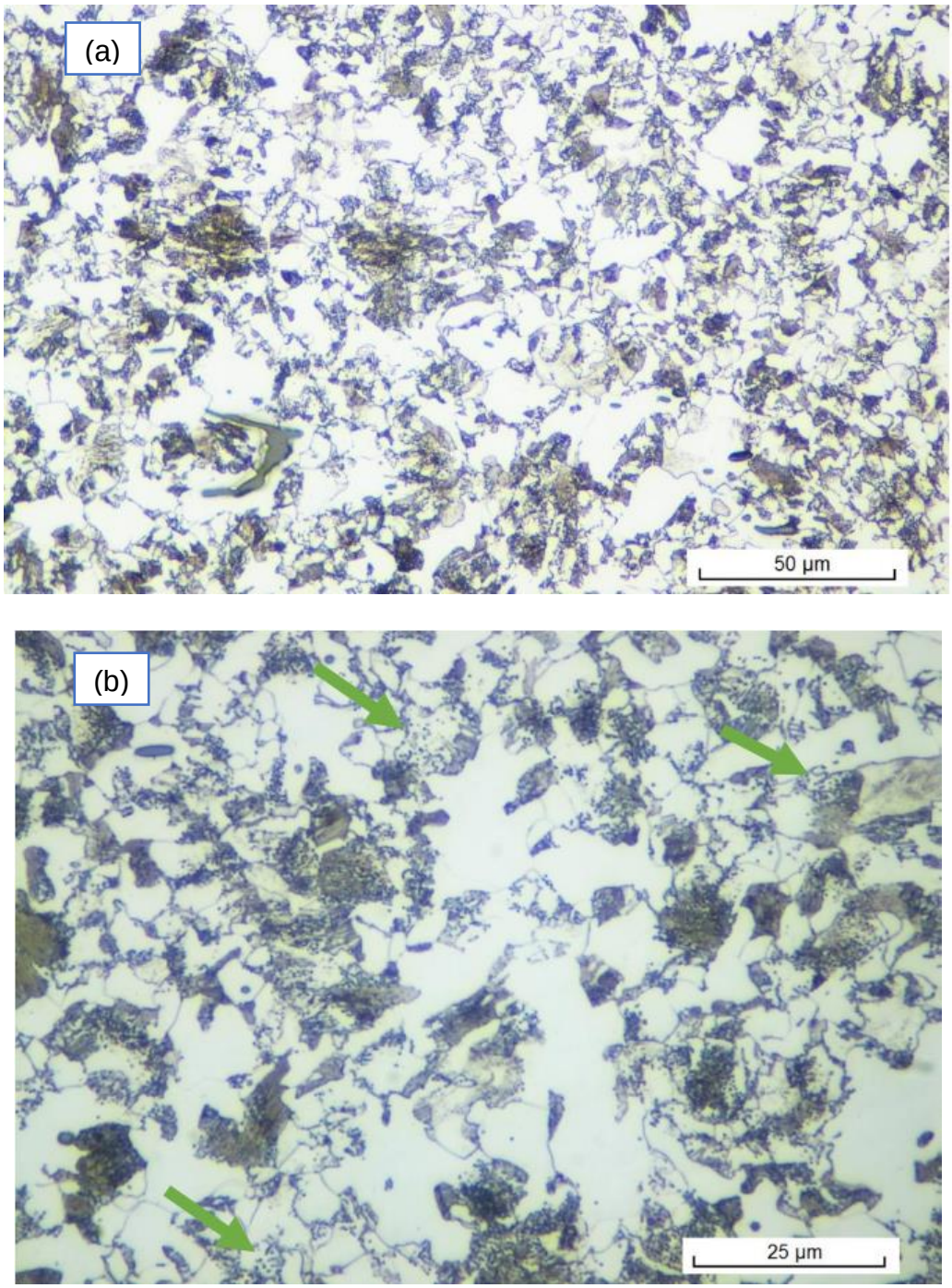


Figura 6. Micrografía del escudo 2 atacado con nital al 1%. a) zona 2 derecha de la Figura 2. b) zona 2 derecha de la Figura 2. Las flechas verdes señalan la perlita esferoidizada

En la Figura 7 se presenta de nuevo la Figura 2, con la sección transversal del escudo montaba en baquelita para los análisis metalográficos, pero en la Figura 7 se indican los tipos de microestructura que se identificaron en cada zona de la sección transversal de la pieza.

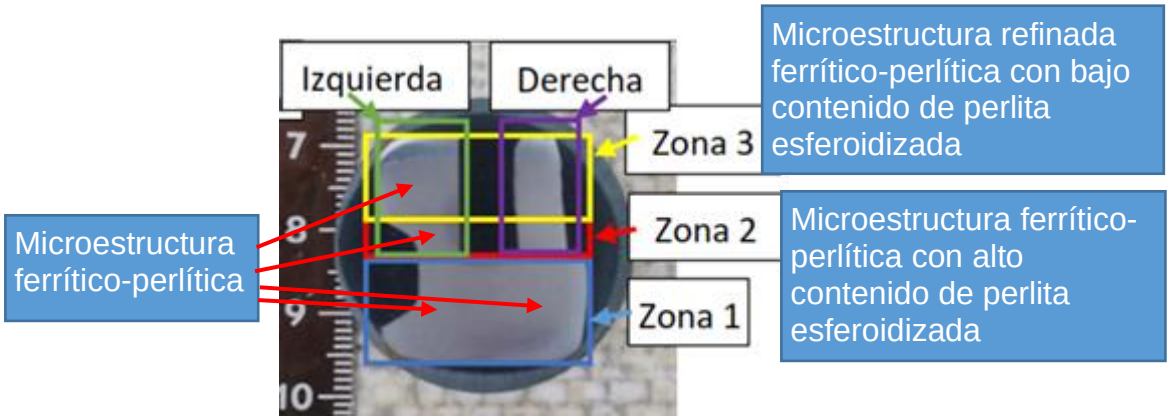


Figura 7. Sección transversal del escudo de suspensión montada en baquelita para el análisis metalográfico identificando las zonas analizadas y el tipo de microestructura encontrada en cada zona.

El análisis metalográfico permitió establecer que la pieza fabricada con un acero AISI/SAE 1035 fue sometida a tratamiento térmico de recocido para obtener una estructura ferrítico perlítica que otorga una dureza baja para un acero AISI/SAE 1035. Se encontraron diferencias entre algunas zonas, ya que en la zona denominada como izquierda en las Figuras 2 y 7 no se evidenció perlita esferoidizada, mientras que en las zonas 2 y 3 del lado derecho de las Figura 2 y 7 sí se encontró perlita esferoidizada. Incluso entre estas zonas 2 y 3 del lado derecho de las Figura 2 y 7 se evidenció diferencia en la microestructura pues en la zona 3 el contenido de perlita esferoidizada es más bajo que en la zona 2. Estas pequeñas diferencias microestructurales se deben a diferencias en las velocidades de enfriamiento entre zonas como efecto de la diferencia de espesores en esas zonas, pero no porque intencionalmente se haya buscado generar esas diferencias en microestructura en esas zonas específicas.

9. FICHA TÉCNICA DE RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADO	OBSERVACIONES
Análisis de composición química.	Acero AISI/SAE 1035	Es un acero al carbono con contenido de carbono medio.
Análisis metalográfico	Estructura ferrítico perlítica con presencia de inclusiones tipo A-sulfuros y D-óxidos.	Las inclusiones no metálicas encontradas son las que normalmente se presentan en aceros como el AISI/SAE 1035 cuando no se exigen calidades metalúrgicas especiales. La estructura identificada es característica de un acero al carbono de medio carbono sometido a un tratamiento térmico de recocido durante tiempos prolongados.
Dureza	57 ± 1 Rockwell B equivalente a 101 ± 2 Vickers y a 101 ± 2 Brinell	Los valores de dureza encontrados son coherentes con los de un acero AISI/SAE 1035 sometido a tratamiento térmico de recocido durante tiempos prolongados.
Fabricación	Laminación y mecanizado	Por la geometría de la pieza, debe ser mecanizada mediante torneado. La microestructura indica que la pieza fue sometida a un tratamiento térmico de recocido durante un tiempo prolongado hasta obtener incluso perlita esferoidizada en algunas zonas de la pieza, y posteriormente fue mecanizada hasta obtener las dimensiones y acabado final deseado.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A la fecha de expedición de este informe, no se ha reportado que la pieza haya presentado fallas o que se requiera mejorar alguna propiedad del material, por lo cual las conclusiones y recomendaciones que se presentan a continuación buscan que las futuras fabricaciones permitan obtener la pieza con las mismas prestaciones que la pieza analizada en este informe.

La pieza debe fabricarse con un acero AISI/SAE 1035 sometido a un tratamiento térmico de recocido durante tiempos prolongados hasta obtener una dureza de 57 ± 1 Rockwell B (equivalente a 101 ± 2 Vickers y a 101 ± 2 Brinell), presentando en la microestructura un contenido y un tamaño de inclusiones no metálicas típicas de este tipo de aceros cuando no se exigen calidades metalúrgicas especiales. Se recomienda exigir en futuras fabricaciones que se realice un tratamiento térmico de recocido que genere iguales rangos de dureza a los de la pieza analizada, empleando materiales con igual o menor contenido de inclusiones no metálicas que las encontradas en la pieza analizada en este informe.

En caso de no encontrar en el mercado aceros AISI/SAE 1035 para fabricar la pieza, se recomienda emplear un acero AISI/SAE 1040 o un acero AISI/SAE 1045, cuidando en cualquiera de esos casos en que la dureza final obtenida se encuentre en los mismos rangos de la pieza analizada en este informe y que empleando materiales con igual o menor contenido de inclusiones no metálicas que las encontradas en la pieza analizada en este informe.

11. FECHA DE EXPEDICIÓN DEL INFORME: 30 de abril de 2021

12. INFORME REALIZADO POR:

- Andrés Santacruz, Magíster en Ingeniería de Materiales, profesional del Laboratorio de Espectrometría y del Grupo GIPIMME de la Universidad de Antioquia.
- Mateo Montoya, Magíster en Ingeniería de Materiales, profesional del Laboratorio de Fundición y del Grupo GIPIMME de la Universidad de Antioquia.

13. RESPONSABLE

Diego H. Giraldo V.

Diego Giraldo
Coordinador por la Universidad de Antioquia por el contrato de Caracterización de Materiales

14. OBSERVACIONES

1. Los resultados que aparecen en el presente informe se refieren únicamente a las muestras evaluadas.

2. Este informe no debe reproducirse sin la aprobación completa del Laboratorio de Procesamiento de Polímeros de la Universidad de Antioquia

3. Este informe de ensayo no implica la aprobación del producto por el Laboratorio de Procesamiento de Polímeros de la Universidad de Antioquia

4. Las inquietudes o dudas referentes a estos resultados se pueden hacer únicamente a través del responsable del presente informe.