

## CARACTERIZACION MECÁNICA Y MICRO-ESTRUCTURAL DEL ACERO ASTM A 131A SOMETIDOS A CARGAS EXPLOSIVAS

### RESUMEN

El trabajo presenta la caracterización micro-estructural del acero ASTM A 131 grado A antes y después de ser sometido a explosiones, mediante la realización de ensayos destructivos y no destructivos, que permitieron establecer el comportamiento mecánico de estructuras navales sometidas a ese tipo de cargas. La caracterización del material se presentó en el marco del proyecto "Evaluación de la confiabilidad estructural de paneles navales abollados por cargas dinámicas". Los especímenes para prueba fueron fabricados a partir de paneles estructurales que sometidos a explosiones (con 125 gr de pendolita) controladas cercanas. Las explosiones generaron deformaciones moderadas en el panel. Se obtuvieron probetas para ensayos metalográficos y espectroscopia. Se realizaron ensayos de tensión a especímenes del material original y especímenes post-impacto. Para la configuración y dimensiones del panel utilizado no se observaron variaciones micro-estructurales significativas representadas estas en cambios de fase, tamaño de granos, composición química o micro-dureza. Tampoco se detectó presencia de fisuras o discontinuidades en el panel al ser evaluado con pruebas de ultrasonido.

**Palabras Claves:** Acero ASTM A 131 grado A, explosiones, deformación plástica, ensayos destructivos, ensayos no destructivos, paneles navales.

### ABSTRACTS

*The work presents the micro-structural characterization of the steel ASTM A 131 grade A before and after being subjected to explosions, by means of the realization of destructive and not destructive rehearsals that you/they allowed to establish the mechanical behavior of subjected naval structures to that type of loads. The characterization of the material you presents in the mark of the project "Evaluation of the structural dependability of naval panels dented by dynamic loads". The especímenes for test was manufactured starting from structural panels that subjected to explosions (with 125 pendolita gr) controlled near. The explosions generated deformations moderated in the panel. Test tubes were obtained for rehearsals metalographical and spectroscopy. They were carried out rehearsals of tension to especímenes of the original material and especímenes post-impact. For the configuration and dimensions of the used panel were not observed represented significant micro-structural variations these in phase changes, size of grains, chemical composition or micro-hardness. Neither it was detected presence of fissures or discontinuities in the panel when being evaluated with ultrasonido tests.*

**Keywords:** ASTM A 131 Stell, Explosions, Plastically deforming, Destructive and no destructive rehearsals.

### INTRODUCCIÓN

El comportamiento mecánico de un material sometido a carga explosiva es una respuesta a una serie de fenómenos que ocurren dentro de este, El proceso se inicia con un segmento pequeño de material explosivo ubicado en las cercanías al panel cuya, ignición genera un pulso de presión que resulta en una detonación. Cuando el frente de la detonación encuentra el metal, una onda de

presión es transferida a este. Al mismo tiempo cierta parte de la onda de detonación es reflejada y transmitida a los productos de la explosión. Cuando la onda de choque en el material encuentra la superficie libre posterior del panel, se refleja y se acelera hasta cierta velocidad. Esta onda reflejada encontrará nuevamente la superficie de interacción explosivo-material. De esta manera una nueva onda de choque es enviada a través del material. Esta produce un incremento en la velocidad de la superficie libre posterior. El proceso se repite

### J. FAJARDO

Docente  
Facultad de Ingeniería –  
Universidad Tecnológica de  
Bolívar.

### A. ABUCHAR.

Docente.  
Facultad de Ingeniería –  
Universidad Tecnológica de  
Bolívar.

### J. URECHE

Docente.  
Facultad de Ingeniería –  
Universidad Tecnológica de  
Bolívar

### J. ALARCON.

Docente.  
Facultad de Ingeniería –  
Universidad Tecnológica de  
Bolívar

### C. CANO

Corporación de Ciencia y  
Tecnología para el Desarrollo de  
La Industria Naval, Marítima y  
Fluvial – COTECMAR.

sucesivamente. Este fenómeno puede considerarse como la primera etapa en la generación de una abolladura, ya que la propagación de ondas se produce en tiempos muy cortos. Posteriormente se presenta la etapa en la que se generan desplazamientos, rotaciones y deformaciones en el panel lo cual conlleva a la generación de la abolladura como tal y que se encuentra controlada principalmente por la resistencia y rigidez del panel. Al panorama antes descrito se deben sumar los efectos de la velocidad de deformación y la propagación de ondas de choque en la respuesta mecánica del material y sobre su microestructura: variaciones del esfuerzo de flujo, transformaciones de fase, inestabilidad mecánica, elevación de temperatura, los cuales son dependientes de la intensidad y duración de la onda de choque. El proceso descrito permite visualizar de alguna forma la complejidad del fenómeno. El resultado de explosiones donde no ha ocurrido rotura del panel, es una deformación muy localizada que puede identificarse como una abolladura cuya geometría difiere en todos los casos.

Este trabajo muestra los resultados obtenidos en análisis metalográficos, análisis de composición química, microdureza y ensayos no destructivos realizados a muestras de materiales obtenidos en un panel impactado por una explosión cercana, mostrando que desde un punto de vista metalúrgico, el material afectado preserva su propiedades y composición iniciales.

### ASPECTOS METODOLÓGICOS

El acero ASTM A 131 grado A, es un acero de bajo porcentaje de carbono hipo-eutectoide utilizado en la industria naval. Sus características mecánicas y composición química están expresadas en la designación A 131/A 131M – 01 de las normas ASTM. Un panel fabricado de dicho acero fue sometido a impacto por el explosivo pentolita, el cual es utilizado con fines experimentales en el proyecto “Evaluación de la confiabilidad estructural de paneles navales abollados por cargas dinámicas”. Este explosivo es uno de los más sensibles y estables, con una composición química de 50 % PENT (pentaeritrita-tetranitrato) y 50 % de TNT (trinitro-tolueno). La probeta impactada fue una lámina que presenta dimensiones 725 mm X 550 mm y espesor de 6.35mm (¼ in), reforzada con elementos L de 25.4 X 25.4 mm y espesor de 6.35 mm. La relación L/B (longitud/ancho) empleada fue de 2:1 correspondiente a la longitud de panel vs ancho entre elementos de refuerzo del panel. Ver figura 1.

En el panel sometido a impacto se definió su simetría geométrica, simetría de condiciones de frontera y simetría de carga. Para la caracterización microestructural se consideraron 3 probetas de forma aleatoria en el panel expuesto a carga explosiva, en los puntos o coordenadas de baja, media y alta deformación previamente establecidos en el proceso de levantamiento

geométrico post-impacto. La condición para la caracterización microestructural y mecánica post-impacto del material fue la no existencia de fracturas.

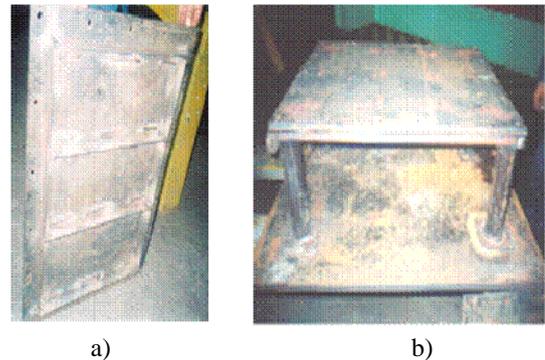


Figura 1. a) Panel estructural impactado. b) Panel ubicado en estructura de montaje.

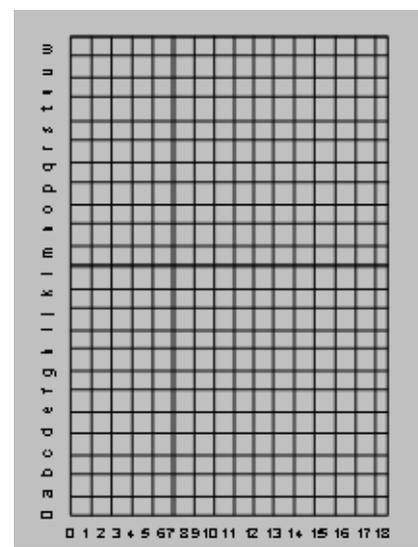


Figura 2. Enmallado del Panel

Las tres probetas seleccionadas de acuerdo con la grilla presentada en la Figura 2, fueron las siguientes: M6, N8 y N13. Las probetas corresponden a las zonas de media, alta y bajos desplazamientos y deformaciones respectivamente.

### ANÁLISIS DE MUESTRAS

La preparación mecánica de la superficie de cada una de las muestras consistió en lijado y pulido y luego ataque con Nital al 2% (ácido nítrico al 2%+ alcohol etílico + agua), con lo cual se logró hacer visibles los aspectos micro-estructurales tales como los límites de grano y las diferentes fases que conforman el acero. Ver Figura 3.

Los ensayos realizados a las probetas consistieron en un análisis de fases según ASTM E562-02, diferenciación de fases según ASTM E45-97, tamaño de

grano según ASTM E112-61, microdureza Vickers según ASTM E92 y composición química.

**RESULTADOS**

La Figura 3 muestra la micrografía de una probeta de acero naval ASTM A131 grado A antes del impacto comparada con una micrografía de una probeta tomada después del impacto. Es importante señalar que en el microscopio electrónico la fase ferrita se observa como granos oscuros, mientras que la perlita se observa como granos claros. Además de un reordenamiento de los granos que pudo ser originado por la forma de distribución de la onda de impacto, causando un movimiento de las dislocaciones en un solo sentido. Para determinar el porcentaje de fases presentes (fracción volumétrica) en el acero para cada una de las probetas, se utilizó el método de las áreas, resumiéndose los resultados obtenidos en la Tabla 1.

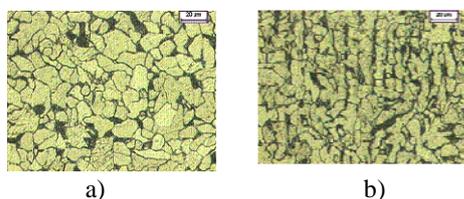


Figura 3. Micrografías de probetas ASTM A131 grado A, en orden de izquierda a derecha: antes del impacto y posterior al impacto. (Tomadas a 20X).

DETERMINACION PORCENTUAL DE FASES CON MICROSCÓPIO ÓPTICO				
Fases	%Original	%Probeta M6	%Probeta N8	%Probeta N13
Perlita	44	31	46	33
Ferrita	56	69	54	66

Tabla 1. Composición por fases

Para determinar el tamaño de grano se tuvieron en cuenta dos métodos: método planimétrico de Jeffries y método del intercepto de Heyn. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 2. El análisis de composición química fue realizado mediante un equipo EDS (microscopía electrónica de barrido) en las probetas del acero antes y después de ser impactado. La Figura 4 muestra la composición química del acero después de impacto.

Método	Determinación del tamaño de grano			
	original	Probeta m6	Probeta n8	Probeta n13
Método Jeffries				
1	4	4	5	4
2	4	5	4	4
Método Heyn				
1	5	5	4	5
2	4	5	5	5
Nº tamaño de grano	4	5	5	4

Tabla 2. Tamaño de grano

Las dimensiones de las probetas utilizadas para el ensayo de tracción fueron 300mm de largo y 25mm de ancho con muescas de 25mm, las mismas se fabricaron a partir de una lámina sin impactar de acero ASTM A 131 grado A y a partir de una lámina impactada del mismo acero. Con este ensayo se busco determinar las diferencias entre el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y el esfuerzo de ruptura de la lámina impactada y de la lámina no impactada.

Los resultados de los ensayos de tracción realizados a cada una de las probetas se presentan en la Tabla 3, en la misma se pueden observar las diferencias porcentuales entre los esfuerzos máximos y de ruptura.

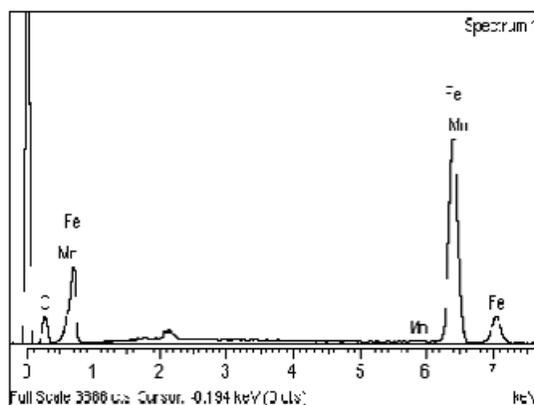


Figura 4. Análisis cualitativo de acero naval ASTM A 131 grado A después del impacto. Inclusión de sulfuro de manganeso

Probeta	Esfuerzo Fluencia N/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo máximo N/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo Ruptura N/mm <sup>2</sup>
Sin impactar	270,05	458,960	318,912
Impactada	256,25	417,363	278,962
Diferencia porcentual (%)	5,13	9,00	12,52

Tabla 3. Resultados ensayos de tracción

**ANALISIS DE RESULTADOS**

En el ensayo de ultrasonido realizado en la lamina después del impacto se evidencio que no existían discontinuidades (poros, fisuras y laminaciones), condición que permitió la ejecución de la fase de caracterización microestructural.

Las mediciones de dureza obtenidas de la probeta M6 (zona de media deformación) son casi iguales a la dureza obtenida en la probeta inicial, ya que el porcentaje de ferrita presente se mantiene en igual proporción en ambas

muestras. El tamaño de grano para la probeta M6 fue 5, mientras que las probetas N8 (zona de alta deformación) y N13 (zona de baja deformación) mostraron un tamaño de grano 4.

Por otra parte, en la probeta M6 no se evidencian cambios en las propiedades microestructurales del material. Los valores de tamaño de grano, dureza y porcentajes de fases presentes son similares a aquellas encontradas en la probeta inicial.

En la probeta N13, se observa una disminución del valor de la dureza Vickers, lo cual podría estar relacionado con el aumento de la ferrita en una pequeña proporción. Al compararse la microestructura de la probeta sin impactar respecto a la probeta N13.

En la micrografía de la probeta N8 se evidenció la presencia de silicatos en grandes proporciones ubicados en zonas localizadas del acero. Esta probeta se ubica en la zona de mayor deformación, lo cual indica que fue afectada en gran medida por el explosivo. En la micrografía de la probeta M 6 se evidencio la presencia de silicatos en pequeñas proporciones, distribuidos en diversas zonas del acero. Esta probeta presenta una media deformación, lo cual indica que fue afectada por el explosivo en una menor proporción a la probeta N8. La composición química encontrada en esta probeta muestra la presencia de inclusiones de NaCl y MnS, e incrustaciones, que evidencian que el material con respecto a la muestra inicial adquirió impurezas que pudieron ser originadas por el impacto del explosivo, inclusive la interacción del empaque del explosivo con el material. Es posible que la presencia de NaCl se debiera a la interacción del material con el medio, pues el panel de donde se extrajeron las muestras, estuvo expuesto a un ambiente con alta salinidad, como el observado en manzanillo del mar, lugar donde se realizaron las pruebas.

## CONCLUSIONES

El acero naval ASTM A 131 grado A después de ser impactado mostró similares características microestructurales y mecánicas a las del acero antes de impacto. Al comparar los resultados obtenidos en los ensayos microestructurales antes y después de impacto, se evidenció que no existieron cambios significativos en parámetros como dureza, tamaño de grano y porcentajes de fases presentes, lo que indica que las condiciones del material se mantuvieron iguales. Igualmente no se evidenció la presencia de discontinuidades superficiales en el panel ensayado. Trabajos de investigación adicionales, relacionados con el estudio de las propiedades mecánicas del material así como la resistencia a la fatiga deben ser realizados.

## REFERENCIAS

MEYERS, Marc A. Dynamic Behavior of Materials. United States of America: Wiley, 1994.

GREAVES, Richard Henry. METALOGRAFIA MICROSCÓPICA PRÁCTICA. Ed. URMO. ASTM STANDARS. Part 3

GRAHAM A., Walsh. A Potential Metallographic Technique for the Investigation of Pipe Bombings. September 2.003. [www.aafs.micronexx.com](http://www.aafs.micronexx.com)

NEELY, John. Metalurgia y materiales industriales. Ed. LIMUSA. Mexico. 2001

DOWLING Norman. Mechanical Behavior of materials. Edit. PRENTICE HALL. 2ª ed. New Jersey. 1999

CALLISTTER, William. Materials science and engineering an introduction. Edit. JOHN WILEY & SONS, INC. New York. 2003

POCHETINO, Alberto. Propiedades mecánicas de los materiales. En III congreso internacional de materiales simposio materia 2005 VIII congreso nacional de corrosión y protección. (2005). Cartagena de Indias.

MEIER Mike. The Hall-Petch Relationship. Department of Chemical Engineering and Materials Science. University of California. 2004