

ISSN 2250-5989  
ISSN-L 2250-5989

# CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO  
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA  
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA



Revista N° 10 - 2020

### • Hormigón de Cemento Portland

Estudios y análisis de materiales componentes del hormigón de cemento Portland: cementos, agregados, adición y aditivos  
Alterabilidad de agregados frente a reacciones deletéreas  
Estudios integrales de hormigones de peso normal y especiales (alta performance, con fibras, autocompactantes, livianos, etc.)



Sala de Hormigonado



### • Durabilidad y vida útil de las estructuras

Corrosión de armaduras  
Evaluación de estructuras con patologías  
Ensayos destructivos y no destructivos



Equipo extractor de testigos con broca diamantada



Estudios sobre reacción álcali-agregado



### • Ensayos físicos y análisis de fallas

Ensayos sobre metales y maderas  
Ensayos sobre tubos y accesorios de PVC  
Calificación de fusionistas en instalaciones de gas  
Ensayos para la calificación de soldadores y procedimientos de soldaduras en materiales metálicos



Sala de Ensayos Mecánicos

Ensayo a tensión Prensa INSTRON



### • Pavimentos Flexibles

Cementos asfálticos y emulsiones bituminosas  
Agregados pétreos: ensayos físico-mecánicos  
Suelo-cemento, suelo-cal  
Lechadas asfálticas  
Clasificación de ligantes SUPERPAVE  
Mezclas en frío y en caliente  
Polímeros  
Materiales de juntas



Equipo para determinar la viscosidad cinemática del asfalto.



### • Geología, Mineralogía y Petrografía

Estudios mineralógicos y petrográficos  
Cubicación de canteras de rocas y suelos



Microscopio petrográfico y lupa estereoscópica



### • Fundición y Metalurgia

Fundición de precisión y especiales  
Laboratorio metalográfico  
Ensayos no destructivos en metales  
Estatuaria



Fundición de piezas en diversos metales



### • Otros materiales

Materiales para edificios (cerámicos, tejas, chapas, baldosas, bloques, etc.)  
Placas y paneles para viviendas  
Caños de hormigón simple y armado

Estudios de materiales de valor patrimonial



### • Control de calidad y certificación de materiales.

# CIENCIA y de los TECNOLOGÍA MATERIALES

## DIRECTOR

Dr. Ing. ZEGA, Claudio J.

## COMITE EDITOR

Ing. DI MAIO, Ángel A.

Ing. GIACCIO, Graciela

Dr. Ing. GREGORUTTI, Ricardo

Dra. Ing. LOPEZ, Anahí

Ing. MARCOZZI, Rosana

Dra. Ing. TORRIJOS, María Celeste

Ing. TRAVERSA, Luis P.

Dr. Ing. VILLAGRAN ZACCARDI, Yury A.

Dr. Ing. ZERBINO, Raúl L.

## ÍNDICE

- |  |           |
|--|-----------|
| <b>1.- Consideraciones preliminares al análisis de ciclo de vida de estructuras de hormigón elaborado con agregados reciclados en Provincia de Buenos Aires.</b> | <b>9</b>  |
| <i>L. Maselli, Y. Villagrán, G. San Juan</i>   |           |
| <b>2.- Hormigón reciclado con arenisca reactiva a los alcalis.</b>   | <b>25</b> |
| <i>C. J. Zega, D. D. Falcone, A. A. Di Maio</i>  |           |
| <b>3.- Tratamientos superficiales con potencial aplicación en construcciones de hormigón de importancia patrimonial.</b>   | <b>37</b> |
| <i>M. V. Correa, S. E. Rastelli, A. López, V. G. Rosato, S. G. Gómez de Saravia</i>  |           |
| <b>4.- Un monumento de F. Salamone para recordar al dip. Fortunato Chiappara asesinado en la legislatura provincial.</b>   | <b>45</b> |
| <i>L. P. Traversa, F. H. Iloro</i>   |           |
| <b>5.- Estudio de la solidificación de una prótesis de cadera fundida en acero inoxidable austenítico ASTM F745.</b>   | <b>61</b> |
| <i>A. Kociubczyk, J. E. Grau, J. L. Sarutti, R. W. Gregorutti, A. E. Ares</i>  |           |

***Título:***

Ciencia y Tecnología de los Materiales.

***Editor responsable:***

LEMIT - 52 e/121 y 122. 1900 - La Plata. Buenos Aires. Argentina.

***Diseño y diagramación:***

Prof. Sebastian Marquez

***Cantidad de ejemplares:*** 500

Las opiniones expresadas en los artículos de esta Revista son responsabilidad exclusiva de los autores. Se permite la reproducción total o parcial de los trabajos, siempre que no se altere su sentido y se anexe los datos bibliográficos completos de la Revista, el artículo y los nombres de sus autores.

The views in the articles of this Journal are the sole responsibility of the authors. Reproducing all or part of the papers is allowed, provided its meaning is not changed and added the complete bibliographic data of the Journal, the article and authors names.



## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

### **Durabilidad del Hormigón, Ligantes Hidráulicos y Adiciones Minerales**

- Estudio de las reacciones Álcali-Sílice (RAS) y Álcali-Carbonato (RAC)
- Durabilidad de hormigones en suelos salinos
- Adiciones minerales activas (AMA) y aditivos químicos

### **Hormigones de Cemento Portland**

- Estructura y mecanismos de rotura del hormigón
- Evaluación del hormigón con métodos Destructivos y No Destructivos
- Mecanismos de transporte en hormigón endurecido
- Hormigones especiales (Autocompactantes, Reciclados, Coloreados, Reforzados con Fibras)

### **Patologías y Reparación de Construcciones**

- Corrosión de barras empotradas en el hormigón
- Biocorrosión del hormigón
- Relevamiento de estructuras de hormigón armado y vida en servicio
- Técnicas de restauración y conservación del patrimonio construido

### **Tecnología Vial**

- Dosificación de mezclas asfálticas por el sistema SUPERPAVE
- Correlación entre Deformación Permanente y la Viscosidad a Corte Cero
- Medidas de Ahuellamiento y Daños por Humedad en Mezclas Asfálticas
- Grado de performance según Strategic Highway Research Program (SHRP)
- Asfaltos modificados con polímeros

### **Mineralogía, Petrografía y Sedimentología**

- Estudios petrográficos y mineralógicos de rocas utilizadas en materiales de la construcción
- Investigaciones geológicas y geotecnológicas
- Paleomagnetismo y magnetismo de rocas
- Contaminantes metálicos en sedimentos

### **Procesos de Solidificación, Fundición y Soldadura**

- Elaboración de aceros inoxidables Dúplex
- Fundición de hierro
- Métodos de moldeo
- Estatuaria
- Materiales para implantes quirúrgicos y prótesis
- Desarrollo de Noyería Cerámica y elaboración de Impulsores con Baja Rugosidad
- Estudio de Piezas Arqueológicas Pertenecientes al Patrimonio Nacional

## ASESORAMIENTO Y SERVICIO TECNOLÓGICO

El LEMIT brinda asesoramiento y servicio tecnológico al sector productivo, en el ámbito público y privado, sobre los siguientes temas:

### **Rocas**

- Ensayos físico-mecánicos
- Análisis petrográficos y mineralógicos
- Evaluación de canteras y yacimientos
- Hormigones de Cemento Portland

### **Cemento Portland**

- Agua para mezclado
- Agregados para morteros y hormigones
- Adiciones minerales
- Estudios de dosificación de hormigones tradicionales y especiales
- Aditivos para hormigón
- Durabilidad del hormigón
- Reacción álcali-sílice (RAS)

### **Estructuras de Hormigón**

- Extracción de testigos
- Evaluación mediante Ensayos destructivos y no destructivos
- Corrosión de armaduras
- Patologías de estructuras

### **Patrimonio Construido**

- Estudios integrales
- Técnicas de reparación y conservación

### **Materiales de Construcción**

- Cales hidráulicas y aéreas
- Yesos e hidrófugos
- Ladrillos
- Baldosas y losetas aglomeradas con cemento
- Azulejos y revestimientos
- Bloques huecos de morteros
- Bloques de hormigón para pavimentos
- Paneles

### **Fundiciones**

- Estudios metalográficos
- Fundición de piezas

### **Suelos**

- Clasificación de suelos
- Análisis granulométricos
- Ensayos de compactación
- Determinación de densidad “in-situ”
- Suelo-cal
- Suelo-cemento
- Estabilizado granulométrico
- Valor soporte

### **Materiales Bituminosos**

- Betunes asfálticos
- Emulsiones bituminosas
- Selladores para juntas
- Membranas asfálticas
- Clasificación de asfaltos por grado de performance (PG de SHRP)

### **Mezclas Bituminosas para Pavimentos**

- Agregados para mezclas bituminosas
- Proyectos de mezclas y tratamientos bituminosos
- Diseño de mezclas según SUPERPAVE (SHRP)
- Ensayos de ahuellamiento (WTT)
- Ensayo de Hamburgo (HWTT)

### **Ensayos Físico-Mecánicos**

- Metales ferrosos y no ferrosos
- Maderas
- Plásticos
- Tubos y accesorios para agua y cloacas
- Barras para hormigón
- Cables para hormigón pretensado
- Elementos de seguridad
- Caños y conexiones de mortero y hormigón

## EDITORIAL

La revista Ciencia y Tecnología de los Materiales tiene como propósito favorecer la divulgación y el intercambio con el medio científico y productivo de los estudios sobre distintos materiales que se desarrollan en el LEMIT. El lector podrá encontrar artículos que muestran los resultados obtenidos en diferentes líneas de investigación, o que surgen ante la necesidad de dar solución a problemáticas de aplicación específica.

En este número de Ciencia y Tecnología de los Materiales se incluyen cinco trabajos que contienen temas relacionados con el empleo de hormigones reciclados, tanto desde el punto de vista de la sustentabilidad como de la durabilidad, la aplicación de tratamientos superficiales de biopelículas, una reseña histórica de diferentes edificaciones situadas en una localidad bonaerense y el estudio de la solidificación de una prótesis de acero inoxidable. De este modo, el primer trabajo aborda cuestiones del reciclado de hormigón en Argentina poniendo el eje en el análisis de ciclo de vida y la economía circular, considerando particularmente la situación en la Provincia de Buenos Aires, basándose en artículos recientes en la materia, y proponiendo diferentes aspectos a considerar en este tipo de análisis como también así en investigaciones futuras. En el segundo trabajo se presentan los resultados del desempeño de agregados reciclados potencialmente reactivos frente a la reacción álcali-sílice (RAS), analizándose la alternativa de aplicación de una medida preventiva para atenuar los efectos deletéreos de la RAS. El tercer trabajo presenta la eficiencia de distintos tratamientos superficiales para prevenir la formación de biopelículas fototróficas sobre la superficie del hormigón, con el fin de que puedan ser aplicados en edificaciones de importancia histórica. El cuarto trabajo hace una revisión histórica de la localidad de Arroyo Corto y de diferentes construcciones allí existentes, con particular énfasis en un monumento del cementerio local construido por F. Salamone. El último de los trabajos analiza los cambios microestructurales producidos en una prótesis de cadera de acero inoxidable, a partir del análisis de las curvas de enfriamiento, como consecuencia de la solidificación diferencial existente en distintos sectores de la misma.

La Plata, noviembre de 2020



# ESTUDIO DE LA SOLIDIFICACIÓN DE UNA PRÓTESIS DE CADERA FUNDIDA EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO ASTM F745

## STUDY OF THE SOLIDIFICATION OF A HIP PROSTHESIS CAST IN ASTM F745 AUSTENITIC STAINLESS STEEL

*Alex Kociubczyk<sup>1</sup>, Jorge E. Grau<sup>2</sup>, José L. Sarutti<sup>2</sup>, Ricardo W. Gregorutti<sup>2</sup>, Alicia E. Ares<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Instituto de Materiales de Misiones, IMAM (CONICET-UNaM), Félix de Azara 1552, (N3300LQD) Posadas, Misiones, Argentina.

<sup>2</sup> Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT-CICPBA), Av. 52 s/n e/121 y 122, (B1900AYB) La Plata, Buenos Aires, Argentina.

### RESUMEN

La solidificación de una prótesis de cadera ha sido estudiada mediante curvas de enfriamiento en dos regiones distintas: la zona próxima a acetábulo, de mayor masa, y el vástago distal, que es la zona más fina de la prótesis. Los análisis térmicos mostraron que la velocidad de enfriamiento en el vástago fue mayor, debido a la mayor extracción calórica registrada en esta zona. Esto produjo a que tanto el subenfriamiento, cuanto el gradiente térmico fueran mayores. Como consecuencia, se obtuvo una estructura dendrítica más fina que en la zona próxima a acetábulo, con menores espaciamentos dendríticos primario y secundario. Al mismo tiempo, se observó que la microsegregación fue menor en el vástago, lo que podría ser atribuido a que la mayor velocidad de avance de la intercara sólido/líquido en esta región no permita que los átomos de los elementos que componen la aleación se transfieran al líquido.

**Palabras clave:** *Prótesis de cadera, solidificación, curvas de enfriamiento, microestructura.*

### ABSTRACT

The solidification of a hip prosthesis has been studied by means of cooling curves in two different regions: the area next to the acetabulum, with the highest mass, and the distal stem, which is the finest area of the prosthesis. Thermal analyzes showed that the cooling rate in the stem was higher, due to the higher caloric extraction registered in this area. This caused both subcooling and the thermal gradient to be higher. As a consequence, a finer dendritic structure was obtained, with lower primary and secondary dendritic spacings. At the same time, it was observed that the micro-segregation was lower in the stem, which could be attributed to the fact that the higher advance rate of the solid / liquid interface in this region does not allow the atoms of the elements that make up the alloy to be transferred to the liquid.

**Keywords:** *Hip prosthesis, solidification, cooling curves, microstructure.*

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los implantes quirúrgicos han cobrado gran importancia para mejorar la calidad de vida, ante la necesidad de reemplazar o recuperar un tejido dañado[1].

Las prótesis e implantes quirúrgicos se usan en artroplastia, mayormente de cadera y rodilla, fijación ósea e implantes dentales. Los materiales habitualmente usados para tales fines son los aceros inoxidable austeníticos del tipo 316L (ASTM F138 y ASTM F745), la aleación cobalto-cromo-molibdeno (ASTM F75), la aleación de titanio Ti-6Al-4V y el Ti Grado 4.

Estos materiales deben satisfacer propiedades intrínsecamente relacionadas, como biocompatibilidad, resistencia mecánica y principalmente, resistencia a la corrosión. Desde el punto de vista electroquímico, las prótesis están sometidas al entorno biológico consistente en fluidos oxigenados con presencia de iones cloruros, proteínas, enzimas, bacterias y suero, los que eventualmente pueden causar la corrosión del material. Por otro lado, los movimientos propios del cuerpo generan cargas dinámicas que pueden ocasionar el fallo de la pieza por fatiga mecánica. Las cargas dinámicas varían en distintos puntos del cuerpo, ya que una prótesis de cadera durante una caminata puede llegar a sufrir picos equivalentes a 4 veces el peso del cuerpo, mientras que una de rodilla hasta 3 veces[2]. La conjunción de los efectos electroquímicos y mecánicos generan a su vez, fallas por el mecanismo conocido como corrosión-fatiga[3]. Tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la corrosión dependen de la microestructura del material, que a su vez está determinada por el proceso de fabricación. El método de cera perdida o Investment Casting es uno de los procesos por el cual se fabrican prótesis de cadera y rodilla, donde la pieza se obtiene por solidificación[4]. Las principales variables de este proceso de fundición son la temperatura del líquido y la temperatura del molde cerámico, que

definen la microestructura del metal en términos de las fases presentes, el tamaño del grano y la micro y macroagregación. Por este motivo se realizó un estudio de la solidificación de una prótesis de cadera fundida en la aleación ASTM F745, determinando las curvas de enfriamiento en dos zonas con distintas geometría y masa de la pieza, vinculando los parámetros térmicos con la microestructura obtenida en cada una de ellas.

## Materiales y métodos

Las experiencias de solidificación se realizaron con las aleaciones ASTM F745 colada en moldes cerámicos obtenidos por el método de cera perdida. La aleación se fundió en un horno de inducción de media frecuencia y 25 Kg de capacidad, realizándose el llenado por gravedad mediante una cuchara. La composición química fue la siguiente: 0,05% C; 18,64% Cr; 10,21% Ni; 2,65% Mo; 0,54% Si; 0,49% Mn; resto Fe. Las cáscaras se colocaron en un horno cilíndrico, donde fueron calentadas a 700 °C para aumentar su permeabilidad y mejorar así la colabilidad. Para los análisis térmicos se usaron termocuplas Pt-PtRh conectadas a un adquisidor de datos FieldLogger 1.4.6, con el cual se tomaron registros de temperaturas cada 50 ms. Las regiones estudiadas de la prótesis fueron la zona próxima al acetábulo (ZPA) y el vástago distal (VD), como se ilustra en la Figura 1. Las termocuplas se dispusieron sobre la línea longitudinal central de la prótesis (T1 y T3) y sobre la pared del molde (T2 y T4) para registrar las curvas de enfriamiento y determinar el gradiente térmico en cada una de las zonas estudiadas. La separación de las termocuplas T1 y T2 en ZPA fue de 7 mm, mientras que la de T3 y T4 en VD fue de 6 mm.

Los análisis microestructurales se realizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), con análisis espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS).

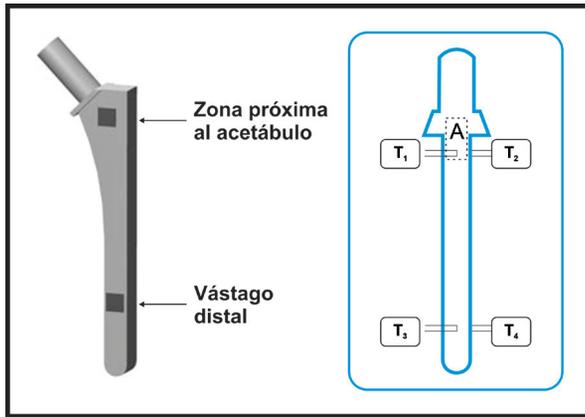


Figura 1: Zonas estudiadas de la prótesis de cadera y disposición de las termocupas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de las curvas de enfriamiento

Las curvas de enfriamiento obtenidas en las distintas zonas de la prótesis de cadera se ilustran en la Figura 2, donde también se representa la curva correspondiente a un cilindro de gran volumen que simuló una condición de solidificación de cuasi-equilibrio.

En la práctica habitual de fundición, la solidificación de las aleaciones se produce en condiciones de no equilibrio debido a las altas velocidades de enfriamiento. Por este motivo la solidificación se produce a una temperatura menor a la correspondiente al equilibrio. La Figura 2 muestra las diferencias de las temperaturas de solidificación en cada una de las zonas, dadas

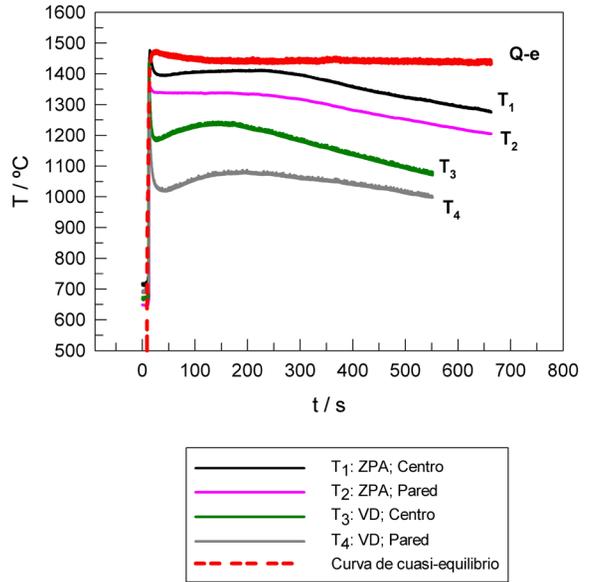


Figura 2: Curvas de enfriamiento en ZPA y VD del ASTM F745.

por las respectivas mesetas de las curvas de enfriamiento, cuyos datos se registran en la Tabla 1.

Considerando la temperatura RCE, se observó una gran diferencia en la temperatura de solidificación en el centro de ZPA y VD. Esto se debe a que el vástago es la zona más fina de la prótesis, como se puede observar en la Figura 1, con lo cual la relación volumen/superficie es menor que en ZPA, produciéndose una mayor extracción calórica, y por lo tanto un mayor subenfriamiento.

Tabla 1. Temperatura de solidificación de las zonas estudiadas.

Zona	T solidificación (°C)	Diferencia con RCE (°C)
ZPA centro	1408 ± 2	36 ± 4
ZPA pared	1335 ± 3	109 ± 5
VD centro	1234 ± 2	210 ± 4
VD pared	1075 ± 3	369 ± 5
Referencia de cuasi-equilibrio (RCE)	1444 ± 2	

El análisis de la velocidad de extracción calórica y los consecuentes subenfriamientos se realizaron en función de la Figura 3, donde se observan las curvas de enfriamiento ampliadas de las regiones centrales de ZPA y VD.

En el recuadro inferior se ilustra las pendientes de disminución de temperatura, que son función de la velocidad de enfriamiento ( $V_e$ ), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_e = \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Los cálculos realizados indicaron que  $V_e$  es considerablemente mayor en VD, como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Valores de velocidad de enfriamiento y subenfriamiento térmico en ZPA y VD.

	$V_e$ ( $^{\circ}\text{C s}^{-1}$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
ZPA	10,6	16
VD	41,6	50

La mayor  $V_e$  provocó un mayor subenfriamiento térmico ( $\Delta T$ ) que está dado por la diferencia entre la temperatura de solidificación ( $T_s$ ) y la temperatura de punto de recalcancia ( $T_r$ ), indicado en la Figura 3.

$$\Delta T = T_s - T_r \quad (2)$$

El subenfriamiento térmico es un parámetro relevante, ya que define las condiciones de solidificación de la aleación, y por lo tanto, la microestructura resultante. Cuanto mayor sea  $\Delta T$ , menor será el radio crítico necesario para que un “cluster” de átomos se convierta en un núcleo, aumentando de esa forma la velocidad de nucleación durante la solidificación, obteniéndose una microestructura más fina.

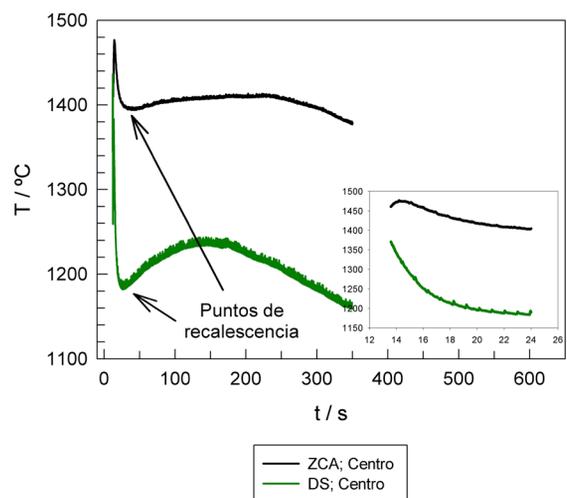
### Análisis de los gradientes de temperaturas en el líquido

La velocidad de enfriamiento también influye sobre el gradiente de temperaturas en el líquido (GL) delante de la intercara sólido/líquido, cuya expresión se indica en la ecuación (3).

$$G_L = \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Los gradientes registrados en los planos de las termocupas T1-T2, correspondiente a ZPA y T3-T4 del VD se lustran en la Figura 4.

En el instante inicial, cuando el líquido entra en el molde, se produce la mayor extracción calórica, registrándose un pico en el GL, que posteriormente tiende a estabilizarse. Comparando ambas zonas, se observó que el pico de GL fue considerablemente mayor en VD respecto de ZPA, estabilizándose a valores superiores. De acuerdo a estos resultados, el líquido delante de la intercara sólido/líquido estuvo más subenfriado en VD, lo que indicaría que en esta zona la velocidad ( $V$ ) de avance de la intercara es mayor.



**Figura 3:** Curvas de enfriamiento en ZPA y VD ampliadas.

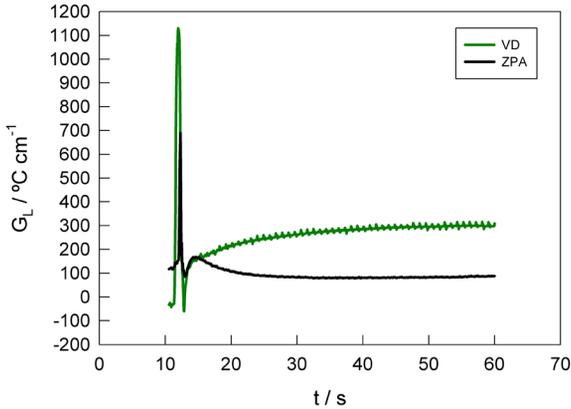


Figura 4: Gradientes térmicos en el líquido en ZPA y VD.

**Análisis de las microestructuras**

La Figura 5 muestra la estructura de colada del acero inoxidable ASTM F745 en cada una de las zonas analizadas, consistente en dendritas de austenita con sus brazos primarios y secundarios. Los espaciamientos de los brazos primarios y secundarios son menores en VD respecto de ZPA. Esto se debe a que ambos espaciamientos son inversamente proporcionales al producto del gradiente y la velocidad de avance de la intercara sólido/líquido[5, 6].

$$\lambda_i \propto \frac{1}{G_L \cdot V} \quad (4)$$

Como se describiera previamente, tanto  $G_L$  como  $V$  fueron mayores en VD como consecuencia de la mayor velocidad de enfriamiento en esta zona.

Otro aspecto importante de las estructuras de colada es la segregación de los elementos que componen la aleación, lo que ocasiona inhomogeneidades de composición química en las distintas zonas de la prótesis. La segregación fue evaluada mediante análisis EDS, habiéndose realizado medidas de composición en las dendritas de austenita y en las regiones interdendríticas. Los resultados obtenidos

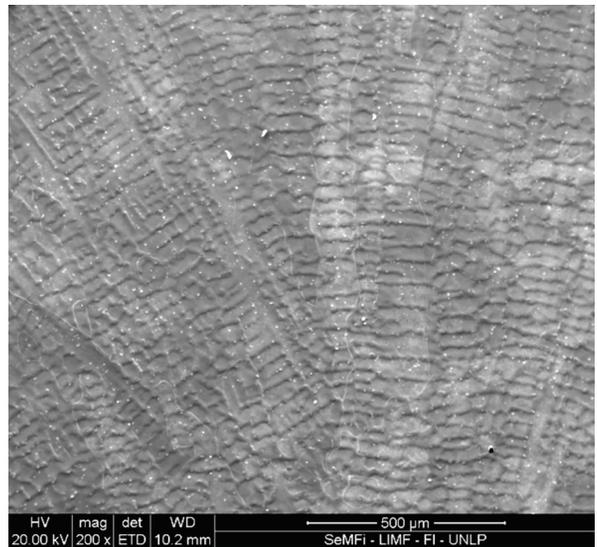
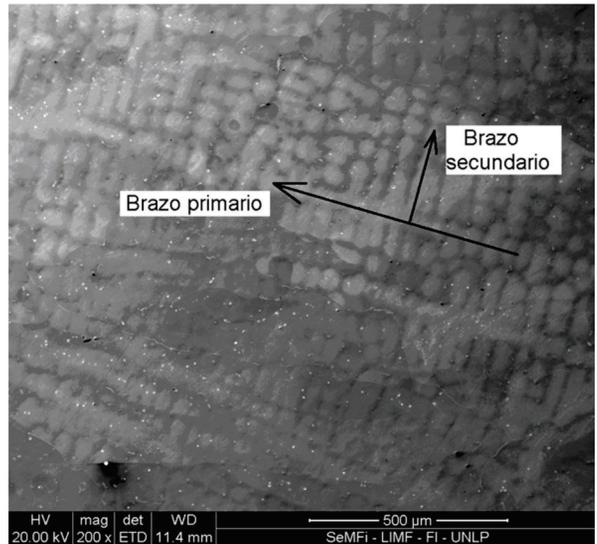


Figura 5: Arriba: Microestructura de ZPA. Abajo: Microestructura de VD.

en las dos zonas de la prótesis se indican en la Tabla 3.

Las mayores diferencias se observaron en el Cr y Mo, que se segregan en forma directa hacia el líquido, lo que se refleja en el aumento de sus porcentajes en las regiones interdendríticas. Ello es debido a que su coeficiente de partición (K) es menor que 1. Otro elemento que ha mostrado una segregación directa es el Mn, mientras que el Si

**Tabla 3.** Microsegregación en ZPA y VD.

Elementos	ZPA			VD		
	General	Dendrita	Interdendrita	General	Dendrita	Interdendrita
Cr	19,39	16,54	18,56	17,88	16,83	17,79
Ni	10,34	10,08	10,47	10,08	9,92	10,24
Mo	2,95	1,82	2,46	2,34	1,49	1,98
Si	0,58	0,66	0,57	-	0,46	0,42
Mn	0,43	0,44	0,52	-	0,41	0,43
Fe	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto	Resto

se segregó inversamente, en este caso, hacia el cuerpo de la dendrita, debido a que su  $K$  es mayor que 1. El Ni ha mostrado un comportamiento errático, ya que es un elemento que se segrega en forma inversa. Sin embargo, los valores medidos por EDS no mostraron esa tendencia.

Comparando ambas zonas, se observó que la microsegregación de los elementos en VD fue de menor intensidad que en ZPA. Esta conducta podría estar relacionada con la mayor velocidad de crecimiento de la intercara sólido/líquido en esta zona, lo que llevaría a que su avance sea más rápido que el escape de los átomos de soluto al líquido, con lo cual se obtiene un material más homogéneo.

## CONCLUSIONES

Las curvas de enfriamiento del acero inoxidable austenítico ASTM F745 en ZPA y VD de la prótesis de cadera mostraron diferencias apreciables

## REFERENCIAS

- 1.- M. Vallet Regí. Biomateriales, CSIC, Madrid, España, 2013.
- 2.- V. Sudhakar. Engineering Failure Analysis, 12, (2005), 249–256.
- 3.- R. Altobelli Antunes, M. C. Lopes de Oliveira. Acta Materialia, 8, 2012, 937-962.

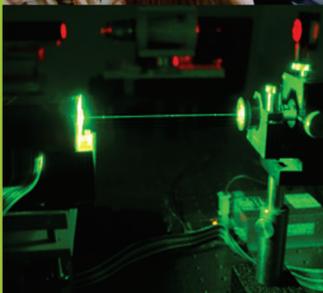
que se reflejaron en la microestructura. La zona correspondiente al vástago distal mostró una estructura dendrítica más fina, con un menor nivel de microsegregación, respecto a zona próxima al acetábulo. Esto se debe a que el vástago es la zona más fina de la prótesis de cadera, donde se produce una mayor extracción calórica, por lo que tanto el subenfriamiento como el gradiente térmico serán mayores. Las diferencias microestructurales en las zonas de la prótesis podrían conducir a que se produzcan variaciones locales de las propiedades, y por ende distintas respuestas ante una misma sollicitación, sea mecánica o electroquímica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al LEMIT, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires e Instituto de Materiales de Misiones, IMAM (CONICET-UNaM) por el apoyo económico para realizar las tareas.

- 4.- B. D. Ratner, A. S. Hoffman, F. J. Schoen, J. E. Lemons. Biomaterials Science: An introduction to materials in medicine. Academic Press, San Diego, 1996.
- 5.- W. Kurz and D. J. Fisher. Fundamentals of Solidification, 3rd edn., 63-92, 1992, Netherlands, Trans Tech Publications.
- 6.- M. C. Flemings. Solidification Processing, Materials Science and Engineering Series, Mc Graw-Hill, Inc, New York, 1974.

# Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires



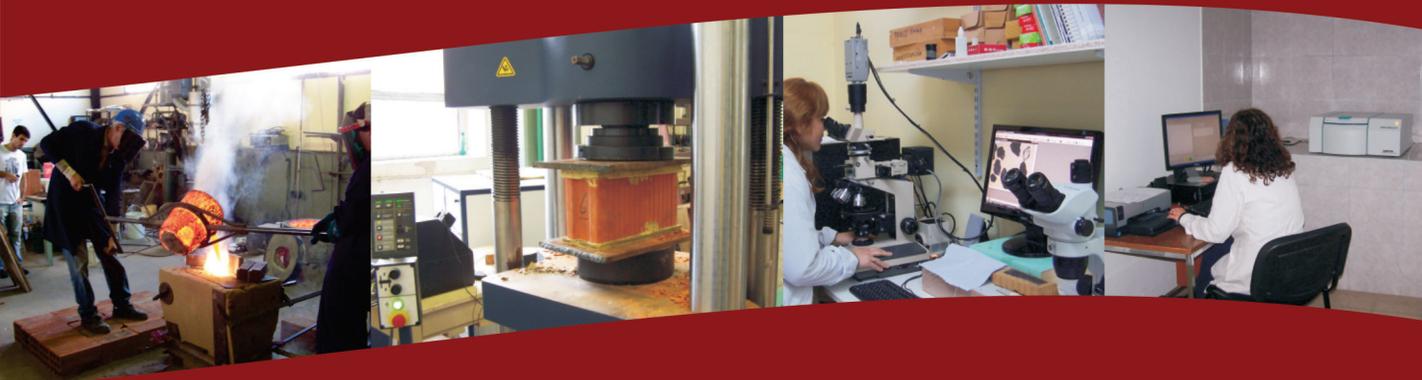
Ministerio de Ciencia,  
Tecnología e Innovación



**Buenos Aires  
Provincia**

Calle 526 e/ 10 y 11 - CPA B1906APO - La Plata, Provincia de Buenos Aires  
Tel.: 0221 421 7374 - 482 3795 / 9581 - Fax: 0221 425 8383

[www.cic.gba.gov.ar](http://www.cic.gba.gov.ar)



# LEMIT

**LABORATORIO DE ENTRENAMIENTO  
MULTIDISCIPLINARIO PARA LA  
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA**

52 e/121 y 122 - 1900 - La Plata - Argentina  
Tel.: (54-0221) 483-1142 al 44 - Fax: (0221) 425-0471  
direccion@lemit.gov.ar

[www.lemit.gov.ar](http://www.lemit.gov.ar)