

## ELABORACIÓN DE BUSTOS POR MEDIO DE DIGITALIZACIÓN 3D Y PROTOTIPOS RÁPIDOS

F. Eugenio López, Iván Márquez, Dora Franco, Francisco Ramírez  
Cuerpo Académico Sistemas Integrados de Manufactura  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León.  
Av. Universidad S/N, Apdo. Postal 9-“F”, CP. 66451, San Nicolás de los Garza, N.L., México.  
Teléfono: (0052-81) 8329-4020. Fax: (0052-81) 8332-0904  
E-mail: [elopez@mail.uanl.mx](mailto:elopez@mail.uanl.mx)

### RESUMEN

La elaboración de bustos, esculturas y estatuas es un trabajo en donde la precisión y la similitud con el personaje real es el elemento más importante. Aunque la tecnología no podría reemplazar la originalidad de una persona dedicada a la creación de esculturas, las nuevas técnicas de ingeniería inversa no solamente hacen posible que la elaboración de esculturas sea precisa, sino también permite mezclar diferentes técnicas de modelado.

Este trabajo presenta el método para la fabricación del busto de una persona por medio de la mezcla de diferentes procesos que incluyen la captura, edición y fabricación de modelos geométricos. Se detallan los procedimientos de digitalización geométrica, procesamiento de nube de puntos, creación de fotorealismo e impresión en prototipos rápidos.

**Palabras clave:** *ingeniería inversa, digitalización 3D, esculturas digitales, desviación geométrica, prototipos rápidos.*

### ABSTRACT

The made of bust, sculptures and statues is a work where the accuracy and similarity with the real character is the most important issue. Although the technology could not replace the originality from a sculptor, the new reverse engineering technology allows not only to made an accurated sculptures, but also allows to mix different sort of geometric modeling.

This work presents a method to build a bust by means of different processes. It includes capture, edition and fabrication of geometries. It explains also the procedures to handle point clouds, photorealism and rapid prototyping printing.

**Keywords:** *reverse engineering, 3D scanning, digital sculptures, geometric desviation, rapid prototyping.*



Fig. 1. Modelo 3D final del busto realizado en este trabajo.

### INTRODUCCIÓN

La digitalización de objetos se ha convertido en una de las herramientas más útiles en el desarrollo de productos debido a la creciente utilización de las técnicas de la ingeniería inversa en la manufactura.

El aspecto fundamental de la implementación de los sistemas de digitalización en el desarrollo de objetos de consumo se encuentra en la posibilidad de reproducir las geometrías de productos ya existentes. Esto es especialmente útil en objetos complejos en términos de sus formas, contornos y perfiles. Tal es el caso del diseño de piezas mecánicas, moldes, objetos ergonómicos o estéticos, gráficos para la industria del entretenimiento y formas aerodinámicas. La creciente implementación de la digitalización en una gran diversidad de industrias ha conducido al desarrollo de diferentes sistemas. Adicionalmente, estudios han demostrado que la captura de geometrías proporciona ventajas en campos de aplicación tales como paleontología [1], antropología [2], biología [3], arte escultórica [4] y sitios históricos [5].

El campo científico dedicado a partes del cuerpo humano es bastante extenso. Los estudios de investigación incluyen no solamente el problema geométrico, sino también la biomecánica, la expresión, el comportamiento y el reconocimiento [6, 7, 8].

### OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo fue crear el busto de una persona por medio de diferentes metodologías para capturar, editar e imprimir en prototipos rápidos. Aunque esta tecnología no podría reemplazar la originalidad y nivel de detalle que podría lograr un escultor, tiene la ventaja de ser un proceso rápido y con buen nivel de precisión. Adicionalmente presenta la ventaja de que una vez capturada la geometría, es posible fabricar réplicas de diferentes tamaños y materiales.

Los objetivos particulares fueron:

- Detallar todas las fases de post-procesamiento.
- Convertir la información geométrica en formato para imprimir en prototipos rápidos.
- Utilizar las geometrías en aplicaciones de fotorealismo y realidad virtual.

Para la captura y digitalización geométrica se usó equipo de las instalaciones de la División de Mecánica de la FIME/UANL.

### METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo se siguió un método que consta de los cuatro procesos que se muestran en la figura 2.

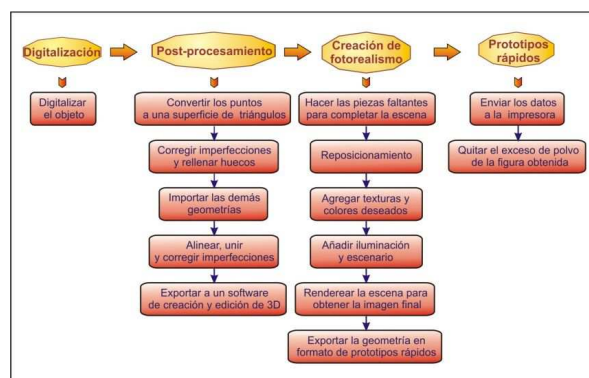


Fig. 2. Esquema de procedimientos.

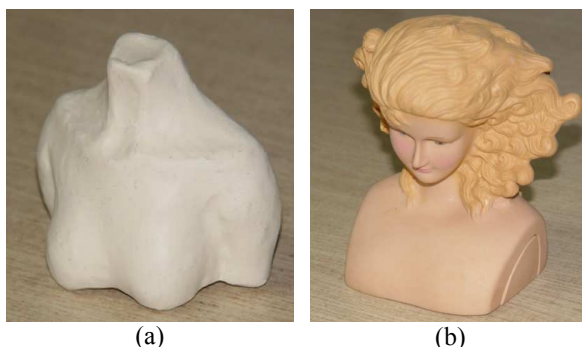
A continuación se detallan brevemente cada uno de los procedimientos.

### 1) DIGITALIZACIÓN

Se captura la geometría de la cara de la persona (figura 3), así como el torso hecho de plastilina (figura 4a) y el cabello de una muñeca (figura 4b); para esto se utilizó un digitalizador 3D que funciona por medio de triangulación láser. Las escalas se muestran en la tabla I. Para los diferentes materiales fue necesario calibrar los parámetros ópticos del digitalizador.



**Fig. 3.** Digitalización del rostro.



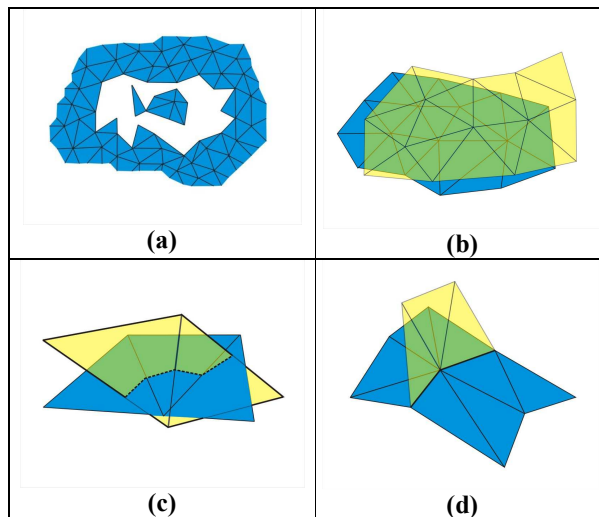
**Fig. 4.** Objetos que componen la estatua (a) busto hecho en plastilina y (b) cabellera de una muñeca de plástico.

Tabla I.- Digitalización geométrica		
Geometrías que componen el modelo	Tamaño (mm)	Material
Digitalización facial	230	Piel
Digitalización del cabello de la muñeca	140	plástico
Creación y digitalización del busto de plastilina	56	Plastilina

A menudo sucede que las geometrías deban digitalizarse en diferentes sesiones de captura. Como consecuencia de ello (y aún también con procesos automáticos de captura, pero en proporción menor) existen defectos –o situaciones naturales del proceso– en las mallas resultantes de la interpolación de los puntos capturados. Algunos de los más importantes son:

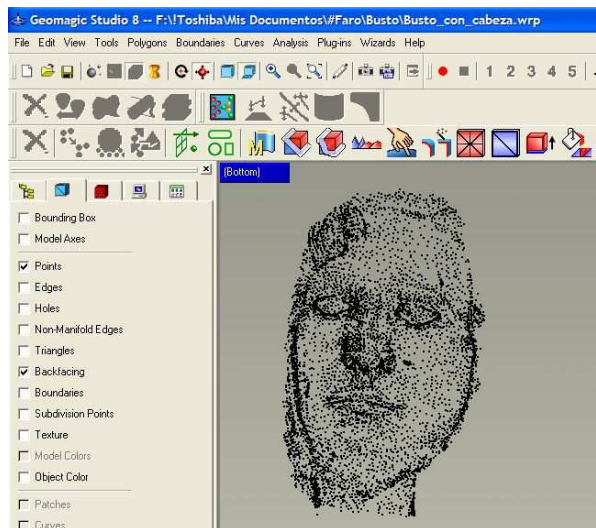
- agujeros e islas,
- traslapes,
- intersecciones,
- orillas complejas,
- vértices singulares,
- dobleces,
- grietas,
- orientaciones inconsistentes.

Los más significativos se muestran en la figura 5.

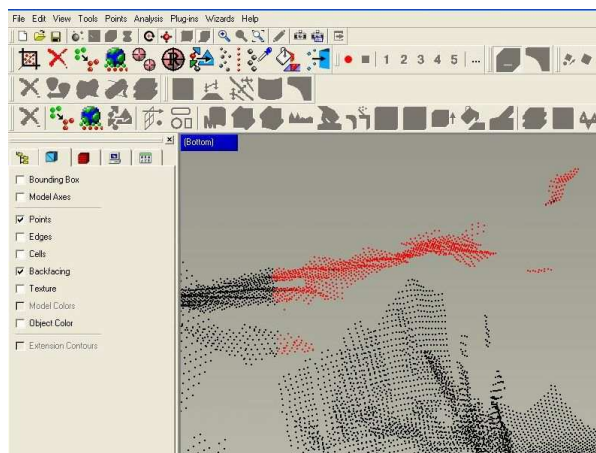


**Fig. 5.** Defectos de digitalización debido a la manipulación del scanner. (a) agujeros con islas, (b) traslapes, (c) intersecciones y (d) orillas complejas.

Una vez obtenida la nube de puntos, ésta se procesa [9, 10] por medio de computadora para corregir y editar. La figura 6 muestra el proceso de edición de la nube de puntos, mientras que la figura 7 un detalle en donde se borran puntos medidos que no forman parte del rostro, sino de los apoyos que utilizó la modelo para evitar moverse.



**Fig. 6** Nube de puntos del rostro digitalizado.



**Fig. 7** Edición básica de la nube de puntos. Borrado de muestreo indeseado.

## 2) POSTPROCESAMIENTO

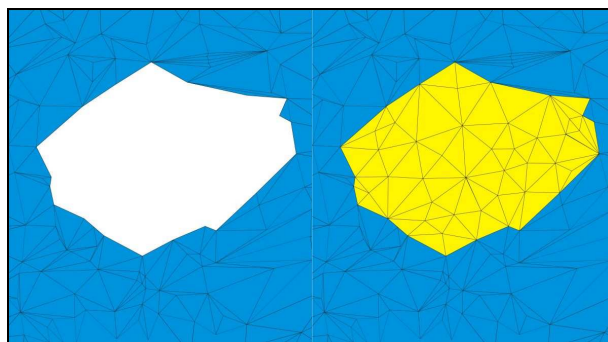
La forma más simple de representar mallas es por medio de triángulos individuales. Algunos formatos de intercambio de datos usan esta representación como un común denominador (por ejemplo el formato STL). Sin embargo, esta forma no es suficiente: la información de interconectividad no se puede acceder explícitamente [11].

Dependiendo de la aplicación en donde será utilizada la geometría, es necesario adicionar elementos o agregar operaciones de conversión. El formato utilizado en este trabajo fue VRML; las razones se explicarán en la sección de impresión del prototipo rápido.

### ***Reparación del modelo***

Es remover todos los defectos de un modelo geométrico para producir un modelo adecuado para su procesamiento posterior en otras aplicaciones que tienen el requisito de calidad en los datos de entrada. Los algoritmos de reparación pueden clasificarse en orientados a superficie (rellenar agujeros, reparar orillas, delinear islas) y orientados a volumen (registro global y local). Vea la figura 8.

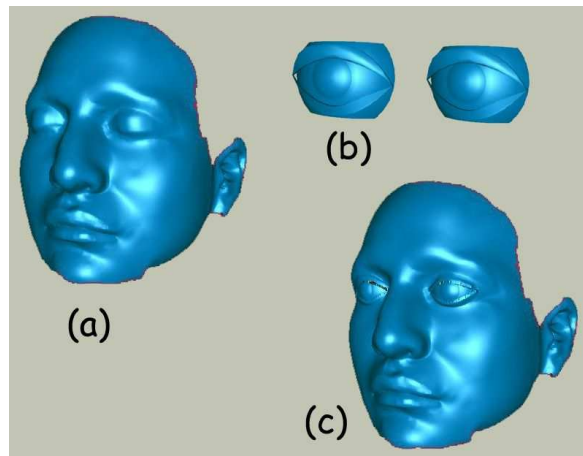
Suavizar la malla es la herramienta central en el procesamiento geométrico que incluye el quitar el ruido (típico de las mediciones hechas con un digitalizador) y las perturbaciones (por ejemplo las posiciones de los vértices que no corresponden a la forma de la geometría original).



**Fig. 8.** Triangulación de un agujero que minimiza la variación normal y el área total. Note la diferente forma de triangulación del algoritmo.

Registrar rangos digitalizados (***Registered Range Scans***).- Son conjuntos de mallas triangulares que representan secciones de traslapamiento de una superficie  $S$  de un objeto. Estas secciones deben fundirse en una sola malla (véase en la figura 9 el caso de la inserción de los ojos en la cara). El principal problema geométrico es que cada sección mantiene su información propia de interconectividad y ésta no necesariamente es compatible con la de las demás secciones [12].

No es posible escanear los ojos abiertos de la persona. Para reemplazar los ojos cerrados, éstos fueron modelados en un programa de CAD (figura 9b) y se agregaron a la geometría de la cara (figura 9c) utilizando registro local.



**Fig. 9.** Inserción de los ojos artificiales. (a) rostro digitalizado, (b) ojos modelados en CAD y (c) rostro con los ojos abiertos.

### ***Escalamiento***

Se escaló la cara digitalizada, el torso hecho de plastilina y el cabello de la muñeca a la misma proporción. Vea la tabla I. El resultado se muestra en la figura 1.

### **3) CREACIÓN DE LA ESCENA DE FOTOREALISMO**

Una superficie puede ser suave en el sentido matemático, pero ser no satisfactoria desde el punto de vista estético. La superficie puede parecer adecuada desde el punto de vista estético si se tiene un contorno visualmente suave, (libre de detalles innecesarios tales como ruido u oscilaciones), lo cual es difícil de definir en términos técnicos. La forma más sencilla de probar la suavidad de una superficie es observarla bajo un programa de realismo virtual aplicando luz y sombreado. La iluminación local de un vértice depende de la posición de la fuente de luz, de la normal de la superficie y de la localización del punto de vista del usuario.

Se utilizó un programa de CAD para hacer el pedestal. Se unieron el pedestal y el busto, y se importaron las geometrías en un programa de fotorealismo. Los aspectos ópticos y estéticos que se incorporaron fueron:

- Creación de materiales virtuales (reflectancias, sombreado, etc.)
- Mapeo (texturizado) sobre las superficies del modelo
- Inserción de objetos de fotorealismo tales como fuentes de luz y cámaras
- Creación de la escenografía (pisos, paredes, etc)

Finalmente se exportó la escena como archivo de imagen digital. (Ver figura 10) y en formato VRML para conservar las propiedades de textura.





**Fig. 10.** Versión final de la escultura virtual.

#### **4) IMPRESIÓN 3D EN PROTOTIPO RÁPIDO**

La forma más directa y natural de entender la realidad virtual es transformarla en un objeto físico. Los sistemas de manufactura 3D hacen posible la conversión de modelos virtuales (usualmente en formato VRML) en contrapartes físicas, transformando archivos 3D en algo más complejo y familiar: objetos geométricos, texturas de superficies, cámaras (puntos de visualización). El archivo VRML del modelo de la escultura se fabricó en una máquina de prototipos rápidos ZCorp. 510. El procedimiento de impresión incluye las siguientes operaciones: importar la geometría en el formato adecuado, rotar, escalar y justificarla para optimizar el tiempo y uso de la impresora; imprimir, extraer, limpiar, curar, y finalmente hornear para obtener propiedades mecánicas mejoradas.

Como modelo de prueba, se imprimió la geometría final en una dimensión pequeña como se muestra en la figura 11.





Fig. 11. Fotografía de la escultura a pequeña escala impresa en prototipos rápidos.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó la factibilidad de crear bustos utilizando un escáner 3D para obtener la geometría del rostro de una persona, y utilizando diferentes objetos para crear la escultura completa. Se demostró que es posible realizar este tipo de trabajos con un resultado aceptable, con un buen nivel de detalle y fidelidad con respecto a los modelos originales. En la pieza resultante de la impresora de prototipos rápidos se puede observar un nivel de detalle aceptable.

Los modelos 3D pueden ser usados como medio de soporte para archivar e integrar la información de restauración de piezas arqueológicas [13]. Cuestiones emergen al determinar cómo utilizar la información multimedia en estos casos para presentar los objetos, visualizarlos y ponerlos a disposición no solamente de los restauradores, sino también al público en general. Esta información relaciona la localización espacial con el valor cultural y permiten indexar, almacenar, relacionar y visualizar valores sociales [14].

Uno de los objetivos de la digitalización de objetos es generar una variedad de creaciones de arte tales como dibujos, pinturas, esculturas y animaciones. Desarrollar técnicas y métodos requiere de un buen entendimiento de abstracción, simplificación y -¿por qué no?- exageración.

## AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo se han presentado los resultados preliminares de una propuesta de proyecto UANL-PAICYT 2008. Fue realizado en el marco de la línea de generación y aplicación de conocimiento LGAC L2: "Optimización geométrica de productos" del Cuerpo Académico Sistemas Integrados de Manufactura de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL con el apoyo financiero de la misma.

Los autores agradecen especialmente a la estudiante Maribel Escobedo por su colaboración como modelo del rostro. También se agradece a Daniela Correa de León por su apoyo en las gestiones de convenio con personal del *Museo del Desierto de Coahuila*.

### EQUIPO UTILIZADO

La digitalización geométrica fue realizadas con una máquina de coordenadas manual certificada marca FARO modelo "Platinum Arm P0805" de 19,200 mediciones/segundo, con una exactitud de 50µm (0.002 pulgadas) y repetibilidad  $\pm 50\mu\text{m}$ ,  $2\sigma$  ( $\pm 0.002$  pulgadas). Las licencia de software para el tratamiento de puntos fué Geomagic Studio v9 y para el fotorealismo 3DMAX v8.

Para la fabricación en prototipo rápido se utilizó una impresora 3D de la compañía ZCorp, modelo Spectrum Z510 con capacidad de construcción de 2 capas por minuto y un volumen de trabajo de 254 x 356 x 203 mm, con resolución de 600 x 540 dpi.

### REFERENCIAS

- [1] R.A. Johnston, K. Barnes, T. Lovell-Smith and N.B. Price. "*Use of a Hand-held Laser Scanner in Palaeontology: A 3D Model of a Plesiosaur Fossil*". Image and Vision Computing '04 New Zealand 21-23 November 2004 Akaroa, New Zealand
- [2] Y.L.A. Lam. "*3D Scanning of Cuneiform Tablets: Capture and Interactive Delivery*". Technical report, University of Birmingham, June 2001.
- [3] López, Carmelo; Alcalá, Luis; Berges, Luis; Yoldi, Víctor; Cobos, Alberto; Royo, Rafael. "*Nuevas perspectivas en la reconstrucción de dinosaurios 3D*". XVII CONGRESO INTERNACIONAL INGEFRAF – ADM, Junio de 2005.
- [4] R. Fontana, M. Greco, M. Materazzi, E. Pampaloni, L. Pezzati, C. Rocchini, R. Scopigno, "Three-dimensional modelling of statues: the Minerva of Arezzo", J. of Cultural Heritage, vol. 3 n. 4, p.325-331, 2002
- [5] P. K. Allen, I. Stamos, A. Troccoli, B. Smith, M. Leordeanu and Y. C. Hsu, "*3D Modeling of Historic Sites using Range and Image Data*", International Conference of Robotics and Automation, Taipei, September 2003, pp. 145-150
- [6] C. Wallraven, M. Breidt, D. Cunningham, And H. Buelthoff. "*Evaluating the Perceptual Realism of Animated Facial Expressions*". ACM Transactions on Applied Perception, Vol. 4, No. 4, Article 23, January 2008.
- [7] K. Kähler, J. Haber, H. Seidel. "*Reanimating the Dead: Reconstruction of Expressive Faces from Skull Data*". SIGGRAPH conference proceedings 22(3):554–561, July 2003.
- [8] Marco Andreetto, Nicola Brusco. "*Automatic 3D modeling of palatal plaster casts*". Proceedings of the Fourth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM'03) 2003 IEEE.
- [9] M. Hofer and H. Pottmann. "*Orientierung von Laserscanner-Punktwolken*". Vermessung & Geo-information, 91:297–306, 2003.
- [10] B. Merry, P. Marais, J. Gain. "*Compression of dense and regular point clouds*". AFRIGRAPH 2006, Cape Town, South Africa, 25-27 ACM 1-59593-288-7/06/0001 January 2006.
- [11] Katz, S., Tal, A., Basri, R. 2007. "*Direct Visibility of Point Sets*". ACM Trans. Graph. 26, 3, Article 24 (July 2007)..
- [12] N. Mitra, N. Gelfan, H. Pottmann, L. Guibas. "Registration of Point Cloud Data from a Geometric Optimization Perspective". Eurographics Symposium on Geometry Processing, p22-31. (2004)
- [13] Hao-tian Wu, Yiu-ming Cheung. "*Public Authentication of 3D Mesh Models*". Proceedings of the 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence. 0-7695-2747-7/06.
- [14] Lesk, M. "*Managing 3D: Our Next Problem*". MIR'07, September 28-29, 2007, Augsburg, Bavaria, Germany. ACM 978-1-59593-778-0/07/0009.

## **AUTORES**

### **López Guerrero, Francisco Eugenio**

Ingeniero Mecánico Electricista e Ingeniero en Control y Computación de la UANL, Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en Sistemas por la misma Universidad, durante estos estudios participó en la Universidad Técnica de Hamburgo, Alemania en donde desarrolló su tesis de maestría. Doctor en Ingeniería de materiales en la Universidad Autónoma de Nuevo León trabajando en conjunto con el Departamento de Materiales y Automatización de la Universidad Técnica de Hamburgo, Alemania. Profesor de tiempo completo de la División de Ingeniería Mecánica de la FIME. Miembro del Cuerpo Académico “Sistemas Integrados de Manufactura”, así como también de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica SOMIM. [elopez@mail.uanl.mx](mailto:elopez@mail.uanl.mx)

### **Angel Iván Márquez García**

Pasante de la carrera de Ingeniero Administrador de Sistemas con especialidad en software de la UANL. Entre sus principales habilidades se encuentra el manejo de software de diseño, redes computacionales, así como programación en los lenguajes C/C++ y SQL. Actualmente se encuentra realizando sus prácticas profesionales y servicio social en el Departamento de Sistemas Integrados de Manufactura de la FIME.

### **Franco Puebla, Dora Alicia**

Ingeniero Administrador de Sistemas de la UANL. Finalizó sus estudios de Maestría en la Facultad de Artes Visuales de la misma universidad. Profesor de Asignatura en la academia “Diseño de Prototipos y Productos” de la División de Ingeniería Mecánica de la FIME, UANL. Actualmente trabaja en su tesis de Maestría sobre objetos estéticos utilizando programas de CAD/CAM. [dfranco@masonite.com](mailto:dfranco@masonite.com)

### **Ramírez Cruz, Francisco**

Ingeniero Mecánico Electricista, Maestro en Ciencias de la Mecatrónica en la Universidad Técnica de Hamburgo, Alemania. Dirigió el Departamento de Somatoprótesis de la Facultad de Medicina de la UANL. Profesor de la División de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Miembro del Cuerpo Académico “Sistemas Integrados de Manufactura”. Actualmente trabaja en su tesis doctoral sobre optimización para elemento finito con criterio de crecimiento biológico. [ramirez@mail.uanl.mx](mailto:ramirez@mail.uanl.mx)