

DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010

Ing. Félix Javier Manjarrés¹, Ing. Ernesto Ramiro Santillán², Ph. D. Víctor Guerrero³, Ing. Víctor Pachacama⁴

Universidad de Fuerzas Armadas ESPE

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Quijano y Ordoñez y Marqués de Maéza s/n

Email: fxmanjarres@espe.edu.ec¹, ersantillan@espe.edu.ec², victor.guerrero@epn.edu.ec³, ingvictorpachacama@hotmail.com⁴

Latacunga – Ecuador

RESUMEN

El proyecto; "diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta Mazda BT50 2010" se lo realizó en base a la investigación, estudio teórico y experimental de los materiales compuestos orgánicos.

Proponiendo una alternativa eficiente con un diseño simulado y la obtención final de un prototipo que minimice la contaminación ambiental. La geometría del elemento de carrocería "capot" se lo realizó mediante un software de diseño y simulación especializado que permitió anticipar conceptos de ingeniería sobre los materiales seleccionados y si estos eran aplicables y funcionales en escenarios reales para posteriormente pasar al proceso de manufactura del capot y someterlo a un protocolo de pruebas en el que se documentó la selección de las fibras orgánicas que mayor prestaciones mecánicas proporcionaron y los resultados de someter el elemento a esfuerzos mecánicos.

Palabras Claves: Camioneta Mazda BT50, Industria Automotriz, Camioneta, Capot, Compuesto orgánico.

ABSTRACT

The present project "Design, characterization and application of a composite material with epoxy resin and reinforcement of organic fibers for use in a prototype hood of the truck Mazda BT50 2010" was made based on the research, theoretical and experimental study of the organic composites.

Proposing an efficient alternative to a simulated design and obtaining a final prototype to minimize environmental pollution. The geometry of the bodywork element "hood" is what made using a specialized software design and simulation that allowed anticipate engineering concepts on the selected materials and whether they were applicable and functional in real scenarios then move to the manufacturing process and the hood subjecting it to a test protocol in which the selection of organic fibers provided higher mechanical properties and the results of subjecting the element to mechanical stress was documented.

Keywords:

Van Mazda Bt50, Automotive Industry, Pickup Truck, Capot, Organic Compound.

I. INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente preocupación por el actual deterioro del medio ambiente, existe una tendencia mundial enfocada a promover el desarrollo de tecnologías limpias, el empleo de recursos renovables y la optimización del uso de la energía. En el campo de la ciencia e ingeniería de los materiales, el investigador o ingeniero tiene la obligación de conocer y analizar el impacto ambiental que causan los nuevos materiales y sus procesos de manufactura. Asimismo, es de vital importancia que se analicen cuantitativamente los efectos colaterales que implican el diseño y la construcción de un nuevo material.

Por otra parte, las fibras naturales generalmente presentan una buena resistencia mecánica, poco peso y bajo costo. Esto hace que las fibras naturales sean atractivas a la vista de varias

industrias. En Europa, la industria automotriz está utilizando aproximadamente 80.000 toneladas de fibras naturales al año para reforzar los paneles termoplásticos, mientras que en la India se han desarrollado láminas de material compuesto hechas de fibra de coco. Estas láminas son más resistentes que la madera de teca a las condiciones ambientales, asimismo, en Brasil se está desarrollando material de techumbre reforzado con sisal. CICO. (2009, Noviembre) "Perfil de las demás cuerdas y cordajes del género agave", [Agosto, 2015]. [Online]. "<http://www.pucesi.edu.ec/pdf/cabuya.pdf>"

En el Ecuador el desarrollo de materiales compuestos se encuentra en sus etapas iniciales, por ende, el uso de fibras naturales todavía es limitado. En general, la extracción de fibras vegetales ha tenido un desarrollo incipiente en el país, lo que puede cambiar tomando en cuenta el gran potencial que el Ecuador ofrece para la producción de fibras naturales y la necesidad de desarrollar aplicaciones de mayor valor agregado para las mismas. Si bien en algunos casos esta extracción se ha industrializado, las fibras obtenidas han sido empleadas en productos de escaso valor agregado (como en el caso de las fibras de abacá y cabuya), mientras que en otros, se ha aprovechado tan sólo el recurso alimenticio de las plantas sin considerar siquiera la posible utilización de la parte fibrosa de las mismas, como sucede con el coco, cuya cáscara (que corresponde al 80% del fruto y donde se encuentra la fibra) es considerada un desecho sólido. Así, con la ejecución del proyecto PIC-08-493 se pretendió incorporar fibras vegetales como refuerzo de materiales compuestos de matriz polimérica biodegradable como paso previo a la obtención de productos con un valor agregado significativo.

Los principales mercados de los plásticos biodegradables y reforzados con fibras vegetales están orientados a la fabricación de empaques, envases, películas para alimentos y aplicaciones agrícolas, como geomembranas. Una de las nuevas tendencias es utilizar estos polímeros para la elaboración de artefactos, juguetes, bandejas, partes de equipo electrónico y de interiores de automóviles. Por ejemplo, en el sector automotriz,

han primado los termoplásticos; creciendo el interés por el uso de polímeros biodegradables reforzados con fibras naturales debido a que, al final de su vida útil estos podrían ser enterrados y degradados naturalmente por los microorganismos, sin causar mayores impactos medioambientales. En Europa se han desarrollado proyectos de investigación para la elaboración de biocompuestos basados en ácido poliláctico (PLA) en combinación con fibras vegetales, como la fibra de lino, para la manufactura de productos prototipo a un nivel pre-competitivo, teniendo a la industria automotriz como principal mercado potencial. Paneles para interiores de automóviles, techos, gabinetes cerrados o abiertos y porta-vasos, son algunas de las aplicaciones que se darían a estos nuevos materiales. La filial de Toyota en Japón construyó una planta piloto para la producción de PLA (1.000 toneladas anuales) para su empleo en componentes del interior de vehículos. Toyota también pretende ampliar el uso de estos productos ecológicos a la vida cotidiana].

II. DESARROLLO

A. CAPOT.

El capot es un elemento estructural de la carrocería que tiene como objetivo proteger del medio ambiente los elementos constitutivos del motor, además de mantenerlo seguro de la delincuencia y dar acceso para realizar mantenimiento del mismo. En condiciones de funcionamiento real soporta cargas aerodinámicas por efecto del desplazamiento del vehículo.

a) DISEÑO ASISTIDO DEL PROTOTIPO.

Con la ayuda de herramientas CAD se diseñó un prototipo con el fin de realizar un protocolo de pruebas y ensayos destructivos simulados por software.

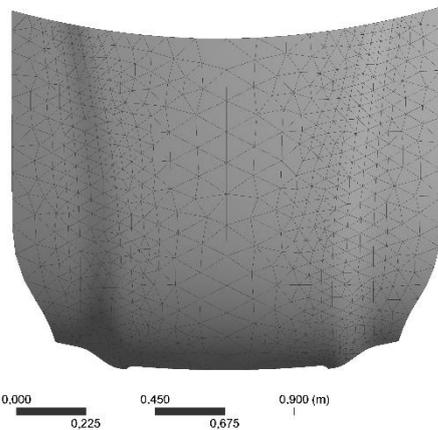
En la siguiente imagen se observa la configuración del capot que sirve para el estudio.



Fuente: Autor

Figura 1. Capot diseñado en software CAD

Se realiza un mallado tetraédrico al prototipo para iniciar con el solver.



Fuente: Autor

Figura 2. Mallado del capot

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se obtuvo un material compuesto de matriz polimérica biodegradable, como materiales compuestos de ésta matriz reforzada con fibras naturales de cabuya, en diferentes configuraciones, disposiciones y cantidades. Estos materiales fueron procesados mediante moldeo por compresión manual, de donde se destacan los parámetros de procesamiento, tales como presión, tiempo y temperatura, para obtener un laminado con las mejores características.

Como matriz se utilizó resina epoxi CRETONBON 52YN distribuida por Pinturas América, que es una matriz polimérica termoplástica que tiene como características: baja densidad, excelentes propiedades a temperatura ambiente, facilidad de conformado y costos relativamente bajos. En

la Tabla 1, se presenta un resumen de las propiedades más importantes entregadas por el fabricante en su hoja técnica.

Resist. Temperatura:	100°C (Seco, continuo)
Resist. a la Compresión	800 Kg / cm ² = 78 MPa
Resist. a la flexión	980 kg / cm ² = 96 MPa
Tiempo de secado	A 25°C y 50% de H.R. Tacto: 1/2 hora Duro: 1 hora

Fuente: Pinturas América

Tabla 1. Ficha técnica de la resina epoxi

El material que se empleó como refuerzo para la elaboración del material compuesto fue la fibra de cabuya. Estas fibras fueron suministradas por un productor de la zona de Ambato.

Las propiedades mecánicas de esta fibra se obtuvieron del programa CES Selector 2013 y se encuentran tabuladas en la Tabla 2.

Densidad	1.45e3 - 1,5 kg/m ³
Composición	Celulosa 70 wt% y lignia 12 wt %.
Material Natural	100%
Módulo de Young	9,4 - 22 GPa
Módulo de flexión	9.4 - 22 GPa
Módulo de corte	3.67 - 9,17 GPa
Coefficiente de Poisson	0,359 - 0,374
Limite elástico	460 - 576 MPa
Resistencia a la tracción	511 - 640 MPa
Elongación	2 - 7 %
Tenacidad a la fractura	19,6 - 101 MPa

Tabla 2. Propiedades de la fibra de cabuya CES Selector 2013

Para la elaboración de los materiales se definió dos estrategias metodológicas. La primera fue para la obtención de las probetas mediante estratificación manual y moldeo por compresión. Esta metodología se muestra en la Figura 3. A continuación, y una vez definidos los parámetros

de moldeo de las láminas para los ensayos de laboratorio, se procedió a definir la estrategia metodológica para la obtención del prototipo de capot.

Este proceso inició con el tratamiento de la fibra mediante mercerización con hidróxido de sodio al 0.5% durante 4 horas, para después secarlo al ambiente. Se elaboraron materiales con diferentes fracciones volumétricas para precisar la fracción volumétrica máxima y mínima de fibra a introducir en la matriz, siendo al final 70 – 30 la fracción volumétrica a utilizar. Esta metodología se presenta en la Figura 4.

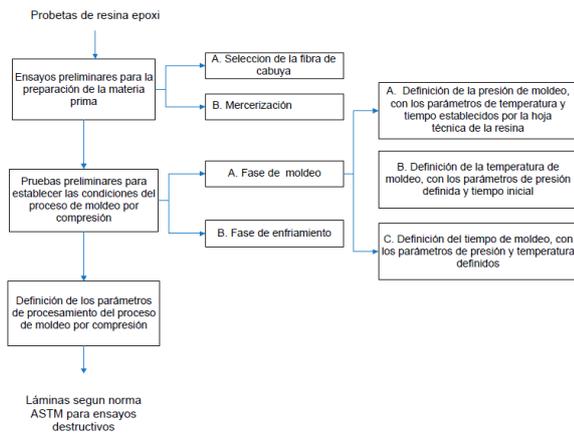


Figura 3. Estrategia metodológica para la obtención de las probetas

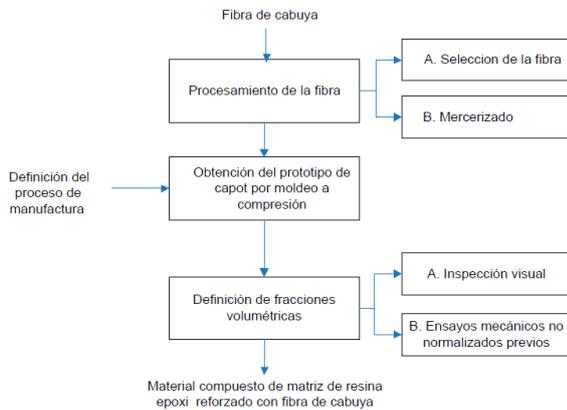


Figura 4. Estrategia metodológica para la elaboración de materiales compuestos.

IV. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Al final del proceso de moldeo por compresión se obtuvieron láminas de la matriz de resina epoxi con refuerzo de cabuya en una concentración de 70% de matriz y 30% de refuerzo.

Estas probetas fueron sometidas a ensayos de tracción y flexión de acuerdo a la norma ASTM D3039-08 para tracción y ASTM D7264M-07 para la flexión. Las dimensiones nominales de las probetas para ensayos de tracción fueron 2.5x25x250 mm y para los ensayos de flexión 4x13x160 mm.

En las Figs. 5 y 6 se presentan la geometría de las probetas de acuerdo a la norma aplicada. Por cada ensayo el número de probetas fabricadas fue de 10.

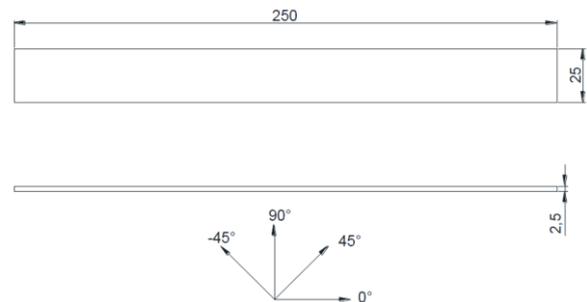


Figura 5. Dimensiones de la probeta para el ensayo de tracción, según norma ASTM D 3039-08.

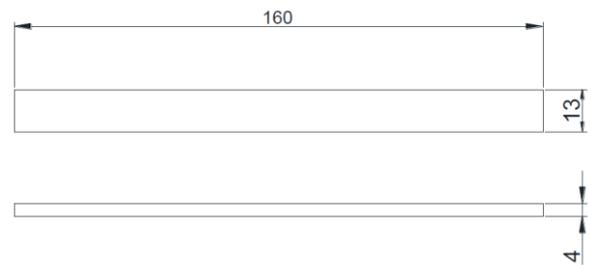


Figura 6. Dimensiones de la probeta para ensayo de flexión, según la norma ASTM D 7264/ -07.

V. RESULTADOS

En este punto se realizó un análisis de los resultados obtenidos después de llevada a cabo la estrategia metodológica para la selección de los parámetros de moldeo más eficaces, como también de los resultados de la caracterización mecánica de las probetas normalizadas elaboradas con los materiales.

A continuación, se presentan los resultados alcanzados para cada uno de los ensayos mecánicos realizados en el proyecto.

2.1 Ensayo a tracción.



Figura 7. Esfuerzo máximo a tracción

De acuerdo con lo observado en la Figura 7, no existen diferencias significativas en los valores de esfuerzo máximo, este fenómeno se debe a que la mayoría de las fallas producidas en las probetas se originaron en la matriz de resina epoxi, ya que al momento que esta se fracturaba se perdía el medio para transferir la carga. Por lo tanto, estos tipos de falla evidenciaron una adhesividad media entre la matriz y los refuerzos de fibra. Ya que en general el refuerzo si permitió el mejoramientos de la propiedades.

En la Figura 8 se muestra un ejemplo de la fractura producida sobre los materiales ensayados a tracción. Estas fracturas en su totalidad empezaron en la matriz de epoxi por ser el componente frágil compuesto.



Figura 8. Probetas de material compuesto de fibra continua de cabuya al 30vol% ensayadas.

2.2 Ensayo a flexión.

En la figura 9, se evidencia una baja resistencia a la flexión lo que confirma un comportamiento esencialmente frágil de estos materiales. Esto se

debió principalmente por el tiempo de curado. Además, no existen diferencias significativas en los valores de deformación máxima, esto se debe a que al igual, que el ensayo de tracción, las fallas se produjeron en la matriz de epoxi dejando las fibras sin daño alguno. Sin embargo, nuevamente estas si fueron importantes para la mejora de las propiedades.



Figura 9. Esfuerzo máximo a flexión

En la Figura 10 se muestra un ejemplo de la fractura producida sobre los materiales ensayados a flexión. Estas fracturas en su totalidad empezaron en la matriz de epoxi.



Figura 10. Probetas de material compuesto de fibra continua de cabuya al 30vol% ensayadas a flexión.

VI. ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO.

En este apartado se describe el prototipo elaborado en el estudio. Este prototipo buscaba conocer las facilidades que presenta el procesamiento tanto de la matriz como de los compuestos. Inicialmente, se ejecutó un análisis funcional de la matriz del material, lo cual permitió reconocer las fortalezas y debilidades de la misma.

El prototipo de capot fue fabricado mediante estratificación manual y compresión con un

elmento estructural de concreto de 817kg en promedio.

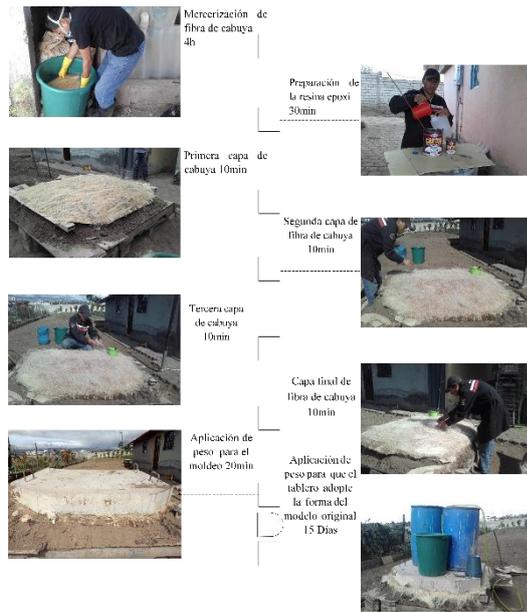


Figura 11. Esquema de procesamiento del prototipo.

En cuanto al costo de fabricación, el prototipo tiene un valor promedio de \$337 dólares americanos, que implica un ahorro de \$95.65 dólares ya que un capot original de repuesto tiene un valor comercial de \$432.65

VII. CONCLUSIONES

Mediante la revisión de la fundamentación teórica y el análisis de los datos recolectados, principalmente de la caracterización mecánica a tracción y flexión del material compuesto con los que se fabricó un prototipo de capot, se obtienen las siguientes conclusiones:

- La aplicación de las normas para materiales poliméricos ASTM D3039-00 y ASTM D7264-07 para caracterización a Tracción y Flexión respectivamente se pudieron aplicar también al material compuesto propuesto.
- La estratificación a compresión por ajuste normal de las probetas permitió establecer una buena compactación del refuerzo con la matriz, por el pobre poder de absorción de la cabuya, estableciendo además que siempre será necesario

ubicar como aglutinante inicial una capa de resina epoxi.

- La mercerización de la fibra de cabuya con hidróxido de sodio al 0.5% de concentración durante 4 horas adiciono a la fibra una mejor textura y adherencia con respecto a la matriz

- Para la elaboración del prototipo se utilizaron los mismos parámetros utilizados en la fabricación de los especímenes de ensayo, excepto en la cantidad de catalizador, el cual fue del 0,5%, que se disminuyó con la finalidad de retrasar el tiempo de curado y conseguir laminar el prototipo de dimensiones mucho más grandes que las probetas. Además se cambió la presión de moldeo por una superior con la finalidad de obtener una buena adherencia del refuerzo con la matriz.

- Se caracterizaron mecánicamente las probetas de materiales compuestos obtenidas a través de ensayos de tracción y flexión, las curvas esfuerzo deformación de los compuestos presentaron un comportamiento lineal en tracción y en flexión mostraron un comportamiento no lineal. La mayoría de los datos recabados en los ensayos siguieron una distribución normal

En base a los ensayos mencionados se determinó la formulación con la mejor combinación de propiedades, la cual presentó los siguientes resultados.

Tracción

- El compuesto reforzado con cabuya y matriz de resina epoxi presentó una resistencia a la tracción de aproximadamente 85.92 MPa, valor que es superior en un promedio del 44.84% con respecto a las referencias bibliográficas de compuestos de cabuya y resina poliéster (Guerrero, 2011)

- En cuanto al módulo de elasticidad, el compuesto mencionado presentó con relación a los compuestos de fibra de cabuya y poliéster un incremento en promedio de 8.66% con respecto a las referencias bibliográficas (Guerrero, 2011)

Flexión

- El compuesto de fibra de cabuya y resina epoxi ensayado presentó un decremento en promedio de 26% respecto al compuesto de fibra de cabuya

y resina poliéster. Dato que sirvió para poder corregir el tiempo de curado del compuesto.

VII. RECOMENDACIONES

Con la culminación de las pruebas realizadas en el presente estudio se ha considerado establecer las siguientes recomendaciones:

- Por proceso de manufactura es óptimo comenzar con una capa de resina epoxi para la aplicación de la configuración de las fibras que se decida aplicar para que sirva como aglutinante.

- Se debe tomar en cuenta que el espesor de los materiales de refuerzo en las configuraciones de mejor comportamiento ayudan a aproximar el espesor final del capot o pieza cualquiera; ya que la sumatoria de las capas de refuerzo multiplicado por dos será el espesor final que se obtenga.

- Ensayar por lo menos dos probetas más al número que establecen las normas correspondientes, pues se dan este rango como ayuda para no tener datos incorrectos en la evaluación.

- Considerar siempre que la capa de inicio debe ser de resina, pues esto ayuda a la adherencia de las fibras además de presentar mejor mojabilidad y humectación, provocando una configuración regular de la superficie de servicio de la parte fabricada.

- La presión de compresión es la que ayuda a moldear el prototipo y obtener un modelo igual al original por lo que a mayor peso aplicado será óptimo el espesor y su forma.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M. (1971). "Los Bosques del Ecuador y sus Productos". Editorial Ecuador.

Alemon, B. (2003). Ensayo sobre reemplazo de componentes metálicos de automóvil por polímeros o materiales compuestos. Maestría en Sistemas de Manufactura, Universidad Autónoma de Guadalajara, Guadalajara.

Bendezú, J. (2002). "Los plásticos reforzados en fibra de vidrio, sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional". Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial.

Callister, W. (2007). *Materials Science and Engineering: An introduction*. Séptima edición. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Chand, N., (2008). *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*, CRC Press. Donald, R. & Askenland. (1998). *Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Tercera Edición. International Thomson Editores.

Gomez, A., Gálvez, L., & De la Osa, O. (1997). *Sugar Cane Bagasse. Utilization for Production of Composites. The State of the Art in Cuba*, ICIDCA.

Hoa, S. (2009). "Principles of the manufacturing of composite materials". Estados Unidos: DEStech Publications.

Jijón, S. & Gabela, E. (1986). "Estudio de plásticos reforzados con fibra vegetal nacional". Quito. Tesis EPN.

Kessler, R., Kohler, R., Nebel, K. & Tubach, M. (2000). *Natural Fibers. Special Jubilee Edition 2000. Perspectives of Fibers In High Level Applications For The New Century*. Publikacja dofinansowana przez Komitet Badán Naukowych.

Levy Neto, F. & Pardini, L. C. (2006). *Compósitos estruturais: ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher.

Maguyo, J. (2003). *Estudio constitutivo de materiales compuestos laminados sometidos a cargas cíclicas*. Tesis Doctoral, Departamento de Resistencia de Materiales y

Estructuras a Ingeniería, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña.

BIOGRAFÍA.

Félix Manjarrés, nació en Guayaquil – Ecuador, Ingeniero Automotriz e Ingeniero Industrial, Egresado de maestría en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, en el programa de Diseño, Producción y Automatización industrial. Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde el 2010. Consultor de proyectos en el área de Ingeniería Industrial y Mecánica.



Victor Patricio Pachacama, Nació en Quito – Ecuador. Ingeniero Automotriz en la Universidad de las Fuerzas Armadas. Tiene 25 años. Áreas de interés: Mecánica Automotriz, Diseño Mecánico y Estructural, Sistemas Automotrices, Simulación CAD.



Ernesto R Santillán M. nació en Riobamba, Ecuador, Ingeniero Mecánico, dispone estudios de Posgrado en Dirección de Empresas Mención Proyectos, Docente Tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en la ciudad de Latacunga desde 2010. Egresado de maestría en el programa de Diseño Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional. Miembro de la ACCE. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en Elaboración, Control y Evaluación de Proyectos.



Ph. D. Victor Hugo Guerrero

Investigador - Profesor Jefe de laboratorio de nuevos materiales de la Escuela Politécnica Nacional Quito - Ecuador
Experiencia de investigación
Universidad de Buffalo, la Universidad Estatal de Nueva York · Departamento de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial. EE.UU. · Buffalo



DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELECTRO-ÓPTICO MX-15i EN HELICÓPTEROS BELL 430

Capt. Ing. Roberto Narváez Aguilar
