

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE TIPO PLATAFORMA CAMA ALTA DE DOS EJES CON CAPACIDAD DE 15 TONELADAS PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

Ing. Félix Javier Manjarrés Arias¹
Ing. Guillermo Mauricio Cruz Arcos²
David Alejandro Narváez Zurita
Henry Paúl Tibán Freire

^{1,2}*Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Extensión Latacunga, Quijano y Ordoñez y hermanas Páez, Latacunga, Ecuador*

fxmanjarres@espe.edu.ec
gmcruz@espe.edu.ec
davidnarvaez90@gmail.com
paultfreire@gmail.com

RESUMEN

El diseño y construcción de una estructura para una plataforma tipo cama alta de dos ejes con capacidad de 15 toneladas pretende aprovechar al máximo la función que puede brindar un semirremolque de estas características al tener capacidad de acoplarse a cualquier tipo de cabezal. La teoría de dicho diseño se basará principalmente en analizar la resistencia de los materiales, en lo cual se halla implícito la geometría y dimensiones necesarias para el soporte de casos de carga, para este propósito se usa softwares especializados de versión estudiantil.

Se ha constituido en una memoria técnica que fundamente el proceso de diseño y por ende garantiza la construcción de una plataforma tipo cama alta, basado en normas y leyes de transporte establecidas en el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas).

Palabras Claves: Transporte Pesado/ Plataforma Tipo Cama Alta/ Semirremolque.

ABSTRACT

The design and construction of a structure for a high platform bed type with two-axis, with a capacity of 15 tons pretend to

maximize the function that can provide a semitrailer of these characteristics to be able to adapt to any type of head. The theory of this design will be mainly based in analyzing the strength of materials, which is implied the geometry and necessary dimensions to support freight cases, the purpose is applied a specialized student software version. It constitutes in a technical memory that establish the design process which guarantees the construction of a high platform bed type, based on transport rules and laws established in the MTOP “Ministerio de Transporte y Obras Públicas”.

Keywords: Heavy Transport/ High Platform Bed Type/ Trailer

I. INTRODUCCIÓN

El transporte por semirremolque reduce el esfuerzo del motor del vehículo y permite transportar mayores cantidades de carga, además de contar con el acople y desacople inmediato del vehículo. En la actualidad al momento de elegir un semirremolque existe un gran porcentaje de construcciones realizadas sin un previo diseño por parte de las empresas constructoras; lo que consecuentemente podría desencadenar en sobrecargas,

accidentes, selección inapropiada de materiales y problemas con permisos de operación.

II. DESARROLLO

A. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS

Se identifica las cargas que van a actuar sobre la estructura a las que se encuentra sometido el semirremolque.

Para el diseño de la estructura se toma en cuenta los siguientes tipos de carga:

- Carga Muerta.
- Carga Viva.
- Carga Transportada.
- Cargas accidentales.

A.1. CARGA MUERTA

Consiste en todos los elementos que forman parte de manera constante sobre la estructura.

$$CM = \text{Carga muerta (Peso propio total)}$$

$$CM = 5372,42 \text{ [Kg]}.$$

A.2. CARGA VIVA

Es el resultado de sumar la carga transportada más una sobrecarga que corresponde al 10% de la carga transportada y es un rango de seguridad para evitar accidentes por sobrecarga.

$$CV = CT + SC$$

$$CV = 15.000[\text{Kg}] + 0,1 * 15.000[\text{Kg}]$$

$$CV = 15.000[\text{Kg}] + 1.500[\text{Kg}]$$

$$CV = 16.500[\text{Kg}]$$

Dónde:

CV: Carga viva.

CT: Carga a transportar.

SC: Sobrecarga.

A.3. CARGA TRANSPORTADA

Es la carga a ser transportada independientemente al peso del semirremolque.

Para este caso el valor máximo es de:

$$CT = 15.000[\text{Kg}]$$

A.4. CARGAS ACCIDENTALES

Son cargas ajenas a la carga viva y carga muerta, estas pueden ser producidas por efectos climáticos, geográficos, entre otros, los cuales se detallan a continuación:

A.4.1. CARGAS DE VIENTO

Es una fuerza que se opone al movimiento de cualquier objeto, esta va a ser aplicada de manera horizontal se usa los datos de la ubicación geográfica en donde vaya a ser usada la estructura es también conocida como “resistencia aerodinámica”.

$$R_a = \frac{1}{2} * C_x * \rho * A_f * V^2$$

Dónde:

R_a : Resistencia aerodinámica, en [N]

ρ : Densidad del aire en [Kg/m^3]

V : Velocidad en [m/s]

A_f : Superficie frontal del vehículo, en [m^2]

C_x : Coeficiente aerodinámico del vehículo.

Conjunto cabezal HINO 700-semirremolque.

$$A_f: (\text{Alto} * \text{Ancho})\text{vehículo}$$

$$A_f = 3\text{m} * 2,5\text{m}$$

$$A_f = 7,5\text{m}^2$$

Coeficiente aerodinámico Conjunto cabezal-semirremolque:

$$C_x = 0,7.$$

Densidad del aire en la ciudad de Latacunga:

$$\rho = 1,2 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

La velocidad máxima del vehículo:

$$V = 70 \left[\frac{\text{Km}}{\text{h}} \right] \therefore 19,44 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Remplazando:

$$R_a = \frac{1}{2} * 0,7 * 1,2 * 7,5 * (19,44)^2$$

$$R_a = 1,190.42 \text{ [N]} \therefore 121.47 \text{ [kg]}$$

$$R_a = 121.47 \text{ [kg]}$$

A.4.2. CARGA DE IMPACTO

Esta fuerza se aplica en un tiempo corto a un cuerpo en movimiento que se ve afectado por irregularidades de la vía.

$$CIM = 0,3 * CV$$

$$CIM = 0,3 * 16,500 \text{ [Kg]}$$

$$CIM = 4,950 \text{ [Kg]}$$

Dónde:

CIM = Carga de impacto

Teniendo este resultado se puede calcular la carga total viva que es valor total a ser transportado y el valor para los respectivos cálculos.

Esta dada por la siguiente ecuación:

$$CTV = CV + CIM$$

Dónde:

CTV: Carga total viva

$$CTV = 16,500 \text{ [Kg]} + 4,950 \text{ [Kg]}$$

$$CTV = 21,450 \text{ [Kg]}$$

B. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERFILES

Se consideraran las condiciones extremas a las que la estructura puede ser sometida

B.1. ESCENARIOS DE TRABAJO

Se propone 4 hipótesis que simulan los posibles usos que se le dará a la estructura, en estos 4 ensayos se utiliza el valor correspondiente a la carga total viva en diferentes posiciones, en la primera hipótesis se distribuye el peso en toda la superficie de la estructura y en las siguientes tres se procede a dividir en partes iguales a la plataforma. Para el análisis se considera la hipótesis desde el punto de vista ingenieril más extremo.

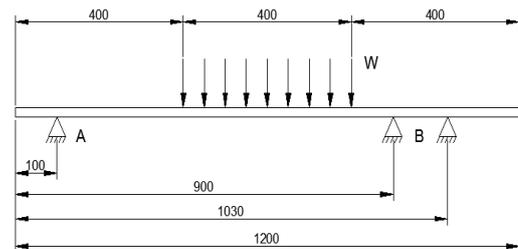


Figura 1 Caso extremo de hipótesis.

B.2. SELECCIÓN DE MATERIAL

Para determinar el tipo de material se utiliza el software CES Edupack 2009 que muestra al diseñador las posibles soluciones de manera rápida y efectiva, a través de los requerimientos de diseño.

Tabla 1. Características de material

Parámetros	Valor mínimo	Valor máximo	Unidades
Resistencia a la cadencia	240	345	Mpa
Resistencia Máxima	400	483	Mpa
Elongación	20	23	Porcentaje (%) en 2 in
Radio Poisson	0.29	0.29	
Módulo de Young	200	250	Gpa

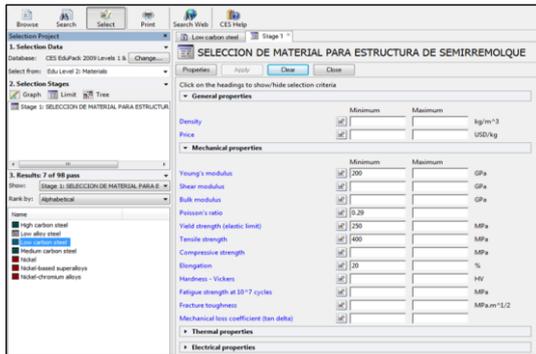


Figura 2 Selección de material para estructura

B.3. CÁLCULO MOMENTO FLECTOR MÁXIMO

El software RISA 3D permite observar el momento flector sobre toda la estructura como se indica en la fig.3 dicho caso corresponde a la hipótesis con carga uniformemente distribuida.

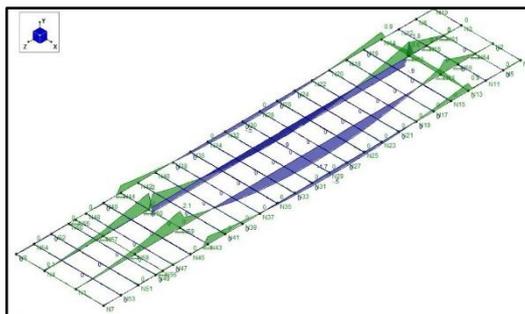


Figura 3 Momento Flector en toda la estructura.

Además el software determina el momento flector máximo en cada uno de sus elementos, como se indica en la fig.

4.

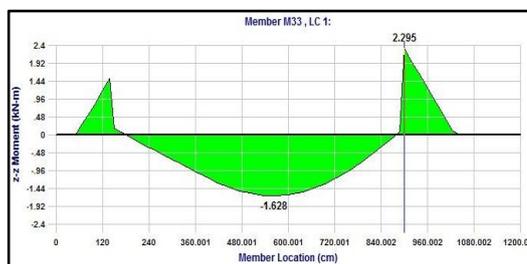


Figura 4 Análisis del momento flector máximo en el larguero respecto al eje Z.

El valor del momento flector máximo producido en el larguero con respecto al eje Z es de 2.295KN.m localizado a una distancia de 9m.

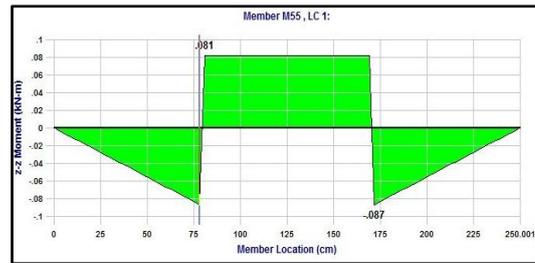


Figura 5 Análisis del momento flector máximo en el travesaño respecto al eje Z

El valor del momento flector máximo producido en el travesaño con respecto al eje Z es de 0.087KN.m localizado a una distancia de 0.78 a 1.71 m.

B.4. CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD DEL LARGUERO

$$\sigma_c = \frac{M * c}{I}$$

Dónde:

M: Momento flector máximo (software RISA).
c: Distancia desde el eje neutro a la fibra más externa del material.

I: Momento de inercia de la sección transversal con respecto al eje neutro.

$$S_y = 248 \text{ MPa (Acero ASTM A-36)}$$

$$I_y = 5,501 * 10^{-6} \text{ m}^4.$$

$$C = 0,2525 \text{ m.}$$

$$\sigma_c = \frac{2,295 \text{ KN.m} * 0,2525 \text{ m}}{5,501 * 10^{-6} \text{ m}^4} = 105342,2 \text{ KN/m}^2 \rightarrow 105,34 \text{ MPa}$$

Esfuerzo normal para cargas estáticas.

$$\sigma_y = \frac{248}{2} = 124$$

$$n = \frac{124 \text{ MPa}}{105,3 \text{ MPa}} = 1,17 > 1$$

Tabla 2 Análisis de las fuerzas resultantes en el larguero

Hipótesis	Fuerza (kN/m)	"Y" Fuerza Cortante (kN)	"Z" Momento Cortante (kN*m)	Factor de Seguridad (n)
1	0,3	-1,593	1,771	1,52
2	0,368	-1,228	0,997	2,7
3	0,368	-0,572	0,9	3
4	0,338	-1,826	2,295	1,17

Tabla 3
Análisis de las fuerzas resultantes en el travesaño

Hipótesis	Fuerza (kN/m)	"Y" Fuerza Cortante (kN)	"Z" Momento Cortante (kN*m)	Factor de Seguridad(n)
1	0,079	0,32	0,093	5,81
2	0,23	0,093	0,099	5,46
3	0,23	0,106	-0,095	5,69
4	0,211	0,111	-0,87	6,21

B.5. MODELADO DE LA ESTRUCTURA.

Con ayuda de un software de Diseño Asistido por Computador (CAD) se realiza el modelado de la estructura con el fin de que sirva para el posterior análisis en un software (CAE) y además obtener los planos para la construcción.

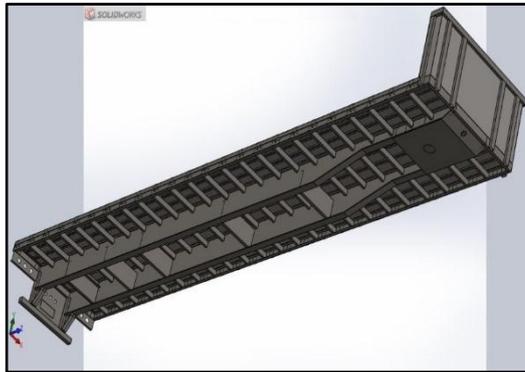


Figura 6 Diseño de la plataforma.

Se estima que la plataforma con todos sus sistemas implementados y en funcionamiento se visualice como se indica en la fig.7

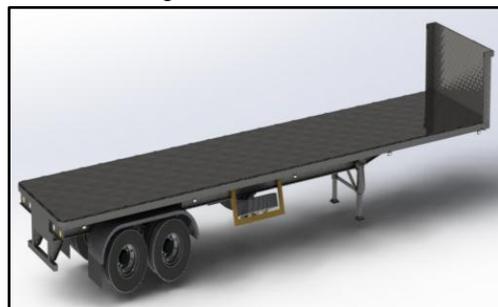


Figura 7 Diseño de la plataforma con accesorios

B.6. SIMULACIÓN EN EL SOFTWARE COMSOL MULTYPHYSICS 5.0

La modelación del elemento la cual consiste en dividir el mismo en cuerpo más pequeños a los que se denomina *elementos finitos*, y se realiza con la

ayuda de este software de la gama (CAE).

Se usa la malla del tipo tetraédrico libre por las perforaciones y contornos presentes en la pieza, El tamaño mínimo de elemento será de 0,01m.

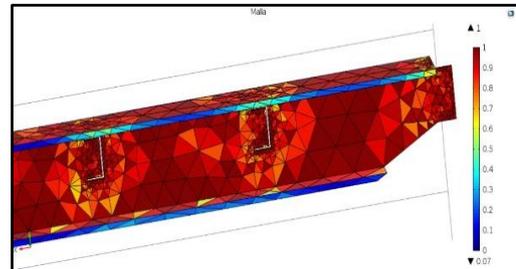


Figura 8 Mallado del larguero

Además el software permite obtener el valor de tensión de von Mises el cual se utilizará para comprobar su factor de seguridad.

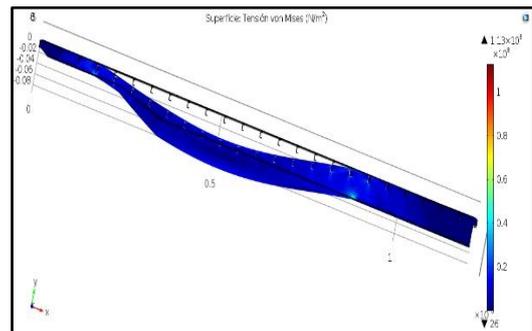


Figura 9 Análisis de tensión von Mises en el larguero.

El valor obtenido de la tensión de von Mises en el larguero es $1.13 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

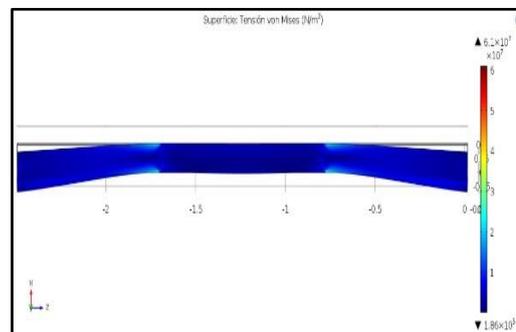


Figura 10 Análisis de tensión von Mises en el travesaño.

El valor obtenido de la tensión de von Mises en el travesaño es $6.1 \times 10^7 \text{ N/m}^2$.

Tabla 4
Análisis de tensión von Mises en el larguero

Hipótesis	Fuerza (kN/m)	Resistencia a la cadencia (Mpa)	Tensión von Mises (N/m ²)	Factor de seguridad (n)
1	0.3798	248	1.11 * 10 ⁸	2.2342
2	0.3685	248	1.09 * 10 ⁸	2.2752
3	0.3685	248	3.51 * 10 ⁷	7.0655
4	0.3383	248	1.13 * 10 ⁸	2.1946

Tabla 5
Análisis de tensión von Mises en el travesaño

Hipótesis	Fuerza (kN/m)	Resistencia a la cadencia (Mpa)	Tensión von Mises (N/m ²)	Factor de seguridad
1	0.0791	248	2.28 * 10 ⁷	10.87
2	0.2303	248	6.64 * 10 ⁷	3.7349
3	0.2303	248	6.64 * 10 ⁷	3.7349
4	0.2114	248	6.1 * 10 ⁷	4.0655

B.7. PLATO DE GIRO

El plato de giro es un elemento que va a estar sujeto a grandes esfuerzos al momento de acoplarse al vehículo, ya que este elemento es la base de sujeción del King Pin.

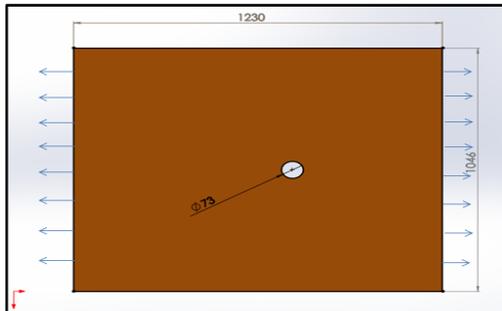


Figura 11 Plato de giro y sentido de fuerzas.

Fuerza horizontal máxima:

$$F = 2 * (CV + CM)$$

$$F = 2 * (16500\text{kg} + 5372,42\text{kg}) = 43744,84\text{kg}$$

Para el cálculo del área se considera el largo del plato de giro restando el orificio para el King pin multiplicándola por su espesor.

$$A = 10\text{mm} * (1046 - 73)\text{mm}$$

$$A = 9730\text{mm}^2$$

Cálculo de esfuerzo generado en el plato de giro:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{43744,84\text{kg}}{9730\text{mm}^2}$$

$$\sigma = 4,5 \text{ kg/mm}^2$$

Resistencia a la cadencia acero ASTM A-36

$$S_y = 248\text{MPa} \therefore 25,30 \text{ kg/mm}^2$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$n = \frac{25,30 \text{ kg/mm}^2}{4,5 \text{ kg/mm}^2}$$

$$n = 5,6$$

B.8. DISEÑO DE SOLDADURA

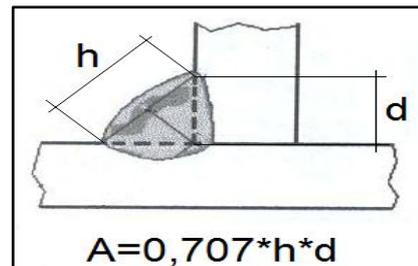


Figura 12 Dimensiones para área de garganta

Datos:

$$S_y = 393\text{MPa} \therefore 40,10 \text{ Kg/mm}^2 ; \text{E70XX}$$

Dónde:

$$h = 8\text{mm}$$

$$d = 5,65\text{mm}$$

$$A = 0,707 * h * d$$

$$A = 0,707 * 8 * 5,65$$

$$A = 31,95\text{mm}^2$$

Factor de seguridad de la suelda en largueros:

$$F = \frac{0,676\text{KN}}{\text{m}} * 4\text{m} = 2704\text{N} \therefore 275,9\text{Kg}$$

Esfuerzo cortante medio:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{275,9\text{Kg}}{31,95\text{mm}^2} = 8,6 \text{ Kg/mm}^2$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\tau} = \frac{40,10 \text{ Kg/mm}^2}{8,6 \text{ Kg/mm}^2} = 4,6$$

Suelda del King pin con el plato de giro

Fuerza horizontal máxima

$$F = 43744,84\text{kg}$$

El área para el cordón de soldadura circular:

$$A = 1,414 * h * r * \pi$$

$$A = 1,414 * 9 * 101,6 * \pi$$

$$A = 4061,95\text{mm}^2$$

Esfuerzo cortante medio:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{43744,84\text{Kg}}{4061,95\text{mm}^2} = 10,77 \text{ Kg/mm}^2$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\tau} = \frac{40,10 \text{ Kg/mm}^2}{10,77 \text{ Kg/mm}^2} = 3,72$$

Tabla 6
Análisis de diseño de soldadura en largueros

Hipótesis	Fuerza(Kg)	Resistencia a la cadencia E70XX (Mpa)	Esfuerzo cortante medio (Kg/mm ²)	Factor de seguridad
1	734,69	393	22,99	1,74
2-3	300,4	393	9,4	4,26
4	275,9	393	8,6	4,6

Tabla 7
Análisis de diseño de soldadura en travesaños

Hipótesis	Fuerza(Kg)	Resistencia a la cadencia E70XX(Mpa)	Esfuerzo cortante medio (Kg/mm ²)	Factor de seguridad
1	74,16	393	5,937	6,75
2	75,1	393	6,012	6,67
4	77,51	393	6,2	6,47

III. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Se estableció un protocolo de pruebas para verificar el correcto funcionamiento de la plataforma bajo condiciones para las cuales fue diseñada.

A. PRUEBA DE DIMENSIONES

Tiene que ver con todas las medidas que forman parte de la estructura.

Tabla 8
Dimensiones controladas por (MTO)

DIMENSION	VALOR(mm)	CUMPLE	NO CUMPLE
Largo Total	12171	X	
Ancho Total	2600	X	
Alto	2634	X	

B. PRUEBAS DE SOLDADURA

Esta prueba se realiza de manera visual, se verifica la calidad del cordón, el ancho y profundidad del mismo.

Tabla 9
Pruebas de soldadura

ELEMENTO	BUENO	REGULAR	MALO
Soldadura de largueros	X		
Soldadura de Separadores	X		
Soldadura de travesaños	X		
Soldadura de talanquera	X		
Soldadura de base para King pin	X		
Soldadura de plancha antideslizante	X		
Soldadura en guardachoque	X		
Soldadura sujetadores de carga	X		

C. PRUEBAS DE CARGA

Se realiza esta prueba para observar el comportamiento de la estructura.



Figura 13 Prueba de semirremolque con carga

IV. CONCLUSIONES

- Mediante el programa Risa 3D se puede modificar la distancia entre travesaños para así concluir en la opción ideal de diseño.
- En el método de elementos finitos es indispensable seleccionar el tipo de malla correcto para optimizar el gasto computacional y lograr un resultado aproximado al real.
- Mediante el programa Comsol se obtiene el valor de tensión de von Mises el cual sirve para calcular el factor de seguridad de la plataforma el cual fue mayor de 1 en todas las hipótesis.
- Las soldaduras utilizadas sobre la estructura deberán resistir varias repeticiones de carga durante su vida útil, y se diseñaron tomando en cuenta la posibilidad de falla por fatiga.
- La resistencia a la cadencia del material utilizado para la construcción como de los electrodos empleados soportara la carga para la cual está diseñada la estructura.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fitzgerald, R. W. (2007) *Mecánica de materiales*. (Decimosexta reimpresión) México: Alfaomega Grupo Editor.
- [2] Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales*. (5ta Ed.) México D.F.: Pearson Educación.

- [3] RIBA, C. (2002) *Diseño Concurrente*; España: Ediciones Upc.
- [4] Rodríguez, P. (2001) *Manual de soldadura*. Buenos Aires: Librería y editorial Alsina.
- [5] Shigley, J & Budynas, R. & Keith, J. (2008) *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. (8° Ed) México: McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- [6] Singer, F. & Pytel, A. (1982) *Resistencia de materiales*. (3° Ed.) México: Harla.

VI. BIOGRAFÍA



Ing. Félix Javier Manjarrés Arias nació

el 02 de Marzo de 1975 en la ciudad de Guayaquil, realizó estudios de bachillerato técnico en electrónica

en el Colegio Técnico Industrial Hermano Miguel, efectuó estudios de nivel tecnológico en mecánica de aviación, mención motores en el Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, tiene estudios de tercer nivel correspondientes a Ingeniero automotriz de la Escuela Politécnica del Ejército, Ingeniero Industrial de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, es magister en gestión de empresas mención PYMES en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, actualmente es maestrante del programa de Diseño, Producción y Automatización Industrial en la Escuela Politécnica Nacional. Desarrolla consultoría de proyectos en las áreas de la ingeniería mecánica e industrial.



Ing Guillermo Mauricio Cruz Arcos nació en Latacunga, Ecuador, es ingeniero Automotriz, dispone estudios de

Posgrado en Autotrónica, Gestión del Aprendizaje Universitario, Docente Tiempo Parcial en la Escuela Politécnica del Ejército desde 2009. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica básica y manejo de software de dibujo asistido.



Sr. Henry Paúl Tibán Freire, nació en Ambato provincia Tungurahua en Ecuador. Egresado de la carrera Ingeniería Automotriz en la

Universidad de las Fuerzas Armadas. Propietario de la empresa Pulp´Sandwich, Networker rango Oro de la compañía Fuxion Prolife. Áreas de Interés: Gerencia de empresas, Márketing, Emprendimiento y Liderazgo, Franquicias, Networkmarketing, Bienes raíces.



Sr. David Alejandro Narváez Zurita, nació en Ambato provincia Tungurahua en Ecuador. Egresado de la carrera de Ingeniería Automotriz en la

Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, Áreas de Interés: Sistemas de inyección electrónica y maquinaria pesada.