

# CULCyT

Cultura Científica y Tecnológica

Mayo-Agosto. 2013. Año 10, N° 50: Especial No 2.

**ISSN: 2007 – 0411**

## DIRECTORIO

### CARTA DEL EDITOR

- 3 [Cambio climático y techos verdes](#)

### ARTICULOS ORIGINALES

#### TECNOLOGÍA

- 4 [Rediseño de terminal para batería automotriz](#)  
D Atayde Campos, J Flores Garay, D Cornejo Monroy, MA Zalapa Garibay, L Rico Pérez
- 11 [Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico](#)  
CL González Pinzón, C Ponce Corral, RA Valenzuela Najera, D Atayde Campos
- 27 [Implementación del método analítico-jerárquico en la selección de la batería que se integrará al sistema fotovoltaico autónomo de un vehículo solar](#)  
C Ponce Corral, CL González Pinzón, R Ñeco Caberta, CF Ramírez Espinoza
- 36 [Dispositivo con autoposicionamiento a los rayos solares en un vehículo](#)  
R Ñeco Caberta, C Ponce Corral, CF Ramírez Espinoza, CL González Pinzón, RA Valenzuela Najera, J Rodarte Dávila, D Atayde Campos, J Romero González, L Gonzalo Guillen Anaya
- 57 [Diseño de chasis para un monoplaza formula SAE](#)  
RA Valenzuela Najera, D Atayde Campos, CF Ramírez Espinoza, C Ponce Corral, CL González Pinzón, R Ñeco Caberta, J Rodarte Dávila, J Romero González

88 Sistema neuro-difuso para el control de atributos de calidad en inyección de plásticos  
A Alvarado Iniesta, R Romero López, RD Molina Arredondo, S López Jiménez Rascón

99 Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica  
JL Peinado Martínez, R Vidal Herrera, JA Grado Díaz, JA Gándara Fernández

#### MATEMÁTICAS

108 Errores matemáticos más comunes de los alumnos de nuevo ingreso en las clases de física y matemáticas de las carreras de ingeniería de la UACJ  
José Valente Barrón López, Oscar Ruiz Chávez, Juan Luna González, Jesús Estrada Cabral, Eduardo José Loera Ochoa

# Carta del Editor

## *Cambio climático y techos verdes*

El cambio climático es un fenómeno que se manifiesta en un aumento de la temperatura promedio del planeta. Para el caso específico de la vivienda, el cambio climático acarreará una mayor propensión a la incomodidad térmica en nuestros hogares y edificaciones. Los techos verdes (las superficies con vegetación en el techo) son cada vez más comunes en las ciudades debido a que son una estrategia importante para algunos de los principales problemas ambientales urbanos. Los techos verdes mejoran el aislamiento de los edificios y a su vez mejoran la eficiencia de energía. Los objetivos específicos de las instalaciones de un techo verde varían, pero el principal es la reducción y/o mejora de la eficiencia energética de los edificios y viviendas. Los techos verdes son cada vez más reconocidos como una moderna y respetuosa tecnología para el medio ambiente para hacer frente al cambio climático.

*Jaime Romero González*

(Editor Invitado y Responsable del presente número)

---

---

## Rediseño de terminal para batería automotriz

David Atayde Campos, Jorge Flores Garay, Delfino Cornejo Monroy, Manuela Alejandra Zalapa Garibay, Lázaro Rico Pérez

Dpto. de Ingeniería Industrial y Manufactura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

Se presenta un rediseño de la terminal para batería automotriz siendo un producto innovador y útil para las mujeres. La propuesta de rediseño tiene la ventaja de ajustar la terminal en el poste utilizando únicamente la presión de la mano. Como resultado final la terminal cumplió con la mejora propuesta, aumentó la estética y la manejabilidad de este producto comúnmente llamado terminal para batería.

**Palabras clave:** Cero herramienta; Postprocesador; Técnica del Sistema de Análisis Funcional; Transferencia a código G.

### INTRODUCCIÓN

Actualmente la remoción o colocación de las terminales convencionales se realizan con dos tipos de llaves (de 1/2" y de 7/16") una de ellas, la llave española de media es la más utilizada, además las personas recurren a el uso de pinzas o herramienta que no son recomendables para el uso o manejo de las terminales, al momento de aflojar o apretar las tuercas se produce lo que comúnmente se conoce como la tuerca barrida. El rediseño será enfocado principalmente a las mujeres para facilitarles el trabajo que resulta el cambio y remoción de las terminales, se utilizara un software de simulación para el maquinado, además se presentara un análisis funcional del rediseño para comprobar su efectividad, y cumplir con el objetivo general de no utilizar herramienta para la colocación o la remoción de la terminal para batería automotriz.

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### *Descripción del problema*

A lo largo de los años las terminales para batería automotriz se han quedado rezagadas en el área del diseño, además las propiedades con las que cuentan las hace muy corrosivas y a la vez quebradizas, estos dos problemas repercuten en el sistema de encendido del automóvil liberando una serie de fallas por mal ajuste al poste o por la corrosión excesiva acumulada entre el poste y la terminal. Otro problema al momento de reponer una de estas terminales, por el ajuste dado a las tuercas, no es necesario retirarlas, tiene que recurrir a palancas para abrirlas, al hacer el cambio de acumulador, los postes no tienen desgaste y se recurre a separar los dos extremos de la terminal, esta tarea es muy difícil por ser demasiado rígido el material de las terminales. En la Fig. 1 se enumeran las artes de la terminal convencional de bronce.



Fig. 1. Partes de la terminal de bronce: 1) Tornillo largo; 2) Lamina sujetadora; 3) Tornillo chico; 4) Cuerpo de terminal; 5) Tuerca del tornillo largo.

Una de las desventajas de las terminales es la oxidación, este problema ataca a la mayoría de los metales que se exponen al aire libre y a la humedad del medio ambiente, afectando directamente a la apariencia del metal y a la conductividad de la electricidad.

Existe otro diseño de terminal en el cual se utiliza únicamente la llave de (7/16") llamado "terminal cero herramienta", fue lanzado por la empresa EAST PENN manufacturing co., inc.

Lo interesante de este modelo de terminal es una palanca de ajuste que le da el torque necesario utilizando simplemente la mano por otra parte tenemos las desventajas de este modelo: espesor grueso palanca grande.

Estas desventajas se presentan al momento de la instalación, dependiendo del tipo de batería se aumenta la problemática, en la Fig. 2 se muestra una terminal de plomo tipo "cero herramienta", colocada en una batería con los espacios muy reducidos donde van colocadas las terminales, en estos espacios es imposible mover la tuerca con los dedos.



Fig. 2. Terminal "cero herramienta".

Cuando se procede a la tarea de ajustar con la palanca, como se muestra en la Fig. 3, nos enfrentamos al problema del tamaño de la palanca, por sus dimensiones topa con una de las paredes de la batería y la sujeción es defectuosa. Con las vibraciones la terminal se afloja y pierde contacto con el poste de la batería.



Fig. 3. Posicionamiento de terminal.

En el siguiente diseño analizado se encontró una variante en cuanto a la longitud de la palanca de sujeción, como se muestra en la Fig.4. La palanca sobrepasa el cuerpo de la terminal lo cual no la hace funcional para el tipo de batería de islas, además el dispositivo de sujeción de cable sigue utilizando herramienta para su fin que es el de sujetar el alambre hacia el poste terminal.



Fig. 4. Terminal cero herramienta delgada

Como se puede observar en la Fig. 4, la sujeción del cable es incómoda, no cumple con los principios básicos de funcionalidad que es el fácil manejo por lo que se tomarán en cuenta estos dos

problemas de diseño y se tratarán de solucionar a la terminal y hacer más funcional. El sujetador del cable tipo terminal de ojo tiene la ventaja de tener una estructura rígida por lo que es molesto y difícil ajustar el cable en dicho elemento, además de no cumplir con la cavidad ni la forma adecuada para su finalidad.

En la Tabla 1, se muestran las especificaciones de los elementos de la terminal, así como el esfuerzo al que están sometidos los componentes de la terminal cero herramienta.

Tabla 1. Fuerzas y esfuerzos de los componentes.

No. Parte	Descripción	Tipo de movimiento	Fuerza aplicada en libras	Tipo de esfuerzo
1	Palanca	Circular	3	Tensión
2	Tornillo Posterior	Fijo	4	Torsión
3	Terminal tipo ojo	Circular	6	Compresión

### *Propuesta de la mejora*

Analizando la geometría de la terminal para batería tipo cero herramienta marca Lynx se plantean los siguientes cambios, al ver los componentes que presenta esta palanca se optó por cambiar el espesor del cuerpo sin cambiar el fin del dispositivo como se muestra en la Fig 5. Este tipo de terminal está compuesto solamente de un cuerpo de material

conductor junto con sus accesorios que se muestran en la Tabla 2.

El rediseño se realizó pensando en dar solución a los problemas propuestos, como se puede observar el espesor del área de contacto es delgado pero a la vez resistente. En la parte posterior se diseñó un área especial para sujetar el cable, que es uno de los fines que se buscan, sujetar el cable sin necesidad de utilizar herramienta.

Tabla 2. Accesorios de la terminal y sus funciones.

Movimiento aplicado	Componente	Acción realizada
Circular		Sujetar cable a la parte posterior de la terminal
Circular		Enroscarse al tornillo de la palanca de sujeción
Circular		Ajustar la terminal al poste de la batería

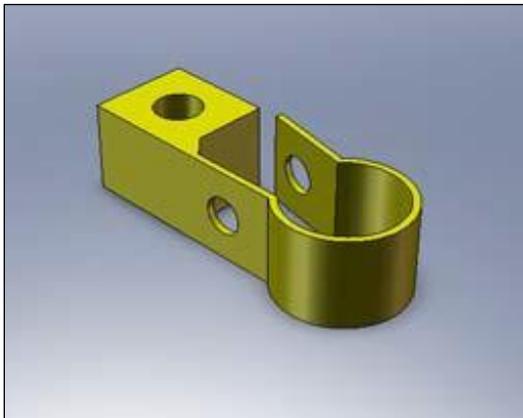


Fig. 5. Cuerpo de terminal.

El espesor de la terminal fue pensado de tal manera que diera solución al uso excesivo de material conductor sin descuidar las propiedades térmicas y a la vez que la pieza fuera maquinable y costeable. Como se puede observar en la Fig. 6 la parte que más sufre de esfuerzo es la que se indica con color naranja y rojo la cual indica el esfuerzo que sufre el cuerpo de la terminal no es considerable, ya que solo es de  $1.23 \text{ Nm}^{-2}$  con escala de deformación de 400.

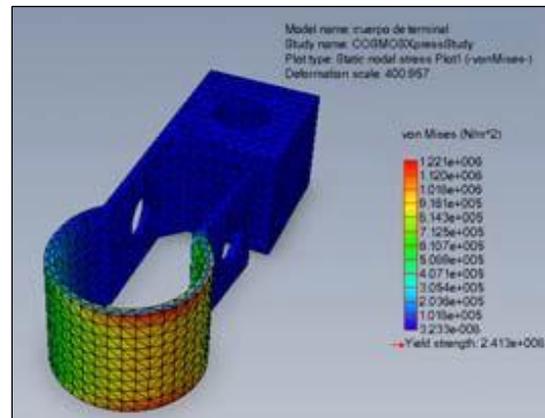


Fig. 6. Esfuerzo de corte

### *Técnica del Sistema de Análisis Funcional*

El método consiste en identificar las funciones que se aplican al conjunto del producto y relacionarlas al margen del diagrama. Para evitar recargarlo, las funciones conocidas como generales pueden dejar de constar en el mismo. Por ejemplo: resistir a la corrosión, tener buena apariencia, resistir a las variaciones de temperatura. Este tipo de funciones no entra en la lógica funcional, pero es bueno no olvidarlo el hecho de tenerlas anotadas al

margen permite recurrir a ellas en caso de ser necesario

*Ordenar las funciones identificadas*

- Conducir la corriente eléctrica.
- Sujetar el cable.
- Permitir el ajuste.
- Ceñirse al poste de la batería.
- Soportar al ácido.
- Soportar la temperatura y
- Capaz de soportar vibraciones

Tanto si el usuario como la corriente que genera la batería no se encuentra en el entorno de la terminal esta conserva su capacidad para cumplir satisfactoriamente

las funciones. Estos dos elementos son externos al límite de certidumbre. (Rosenthal, 1995).

La Fig. 7, indica las funciones primordiales de la terminal práctica para batería, como se puede observar no es funcional sin la existencia del contacto con el usuario ni el contacto con la batería del automóvil. El diagrama incluye a la izquierda y a la derecha dos líneas rectas verticales (trazos discontinuos). Estas dos líneas marcan el límite de “certidumbre”, o sea, la zona donde se incluyen las funciones propias del producto. Las funciones anotadas por fuera de estos límites o elementos del entorno, no pertenece al producto.

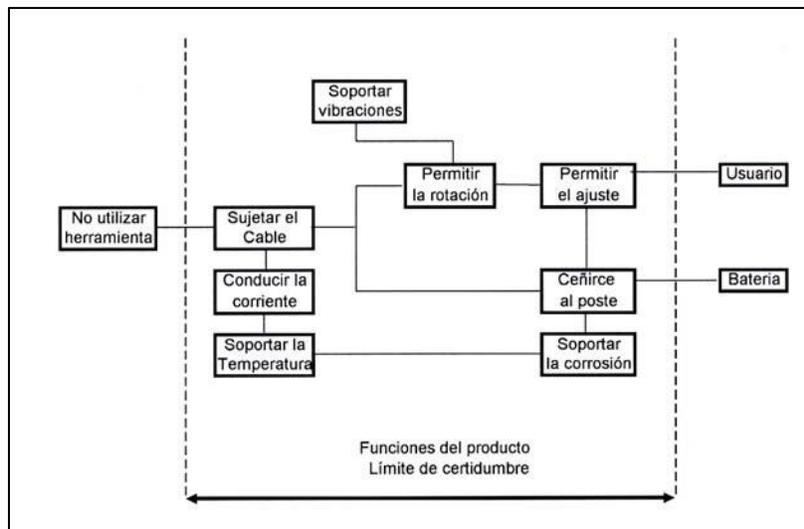


Fig.7. FAST para una terminal de batería.

*Transferencia de diseño a código G*

Una vez teniendo el dibujo en cualquier programa de simulación se tiene que transferir a una extensión que reconozca

mastercam x®, una de las extensiones que la mayoría de los programas de diseño reconoce es “parasolid.xt”. El archivo es guardado con esta extensión. Para trabajar

abra el archivo en mastercam x®, por medio del programa de simulación mastercam x®, se simula el maquinado de la pieza en diferentes planos. Con la ayuda de un postprocesador (Anilam 1400) se transfiere a formato de códigos G para maquinar en una fresadora o en un torno, claro, que soporte el postprocesador Anilam 1400. Para el maquinado de las partes es necesario utilizar las herramientas de corte que se ofrecen en este programa de simulación, es un menú donde se ofrece las tareas más importantes del fresado. Por medio del postprocesador se desarrolla el código g que servirá para el maquinado de las partes de la terminal práctica para batería, se recomienda que en el cuadro de extensión aparezca la letra G, ya que, de lo contrario, no arrojará los resultados esperados.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el diseño final fueron satisfactorios, se llegó a la eliminación y remodelación de componentes sin descuidar las funciones que estos tenían, las piezas que se eliminaron o se rediseñaron de la terminal convencional fueron los siguientes: Los dos tornillos posteriores de ajuste del cable, El tornillo frontal, La tuerca del, tornillo frontal, Espesor grueso del cuerpo de la Terminal. Los dos tornillos y la base de ajuste del cable fueron retirados, en lugar de ellos, se hizo más espacio en el área de contacto del cable y se realizó un barreno con rosca de 3/8" – 20 NC esta parte cuenta con un barreno en forma de ovalo para introducir el cable. Una vez introduciendo el cable se sujeta con un tornillo tipo "L", este ajuste se hace de forma manual sin necesidad de utilizar algún tipo de herramienta. El tornillo frontal se cambió por completo, en lugar de tornillo con cabeza hexagonal se pensó en uno tipo ojo

para completar la articulación de la palanca sujetadora y así poder mover en cualquier posición la palanca de ajuste a 90° o 180° según convenga. Dando como resultado un ajuste manual en lugar de la tradicional llave de ½" que tanto se usa en la actualidad para aflojar o sujetar la terminal en el poste de la batería. El espesor se redujo como se planteó en la propuesta de diseño sin descuidar el área de contacto. Únicamente se aumentó el área de contacto con el cable aumentando así la confianza del cuerpo de contacto, ya que, la temperatura la toma el cable y la transmite hacia la terminal por lo que el espesor de contacto con el cable resistirá la temperatura y la disipará para no poner en riesgo el espesor de contacto con el poste. (Fig. 8).

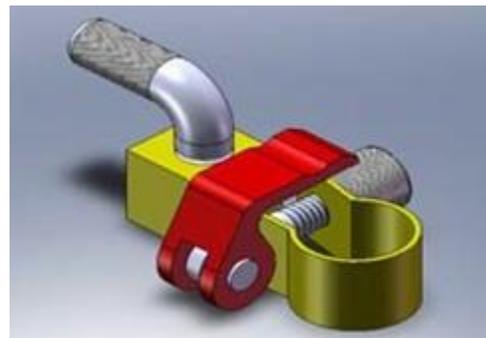


Fig. 8. Rediseño final de la terminal automotriz.

## CONCLUSIONES

La terminal cumplió con la mejora propuesta y además disminuyendo la rigidez y aumentando la manejabilidad de este dispositivo comúnmente llamado terminal para batería. Además se cumplió con la finalidad del proyecto que es no utilizar herramienta para sujetar o aflojar las terminales para batería automotriz

## REFERENCIAS

Tassinari, R. (1995). *El producto Adecuado - Práctica del análisis funcional*. Editorial Alfaomega, 2<sup>da</sup> edición México.

Rosenthal S.R. (2005). *Diseño y Desarrollo Eficaces del Nuevo Producto, Cómo disminuir el tiempo de producción y tener clientes más satisfechos*. McGraw-Hill, México.

Cross, N. (1999) *Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos*. Limusa/Wiley, México.

Borja, V. Ramírez, A. Corona, M. López, M. (2005). *Estudios comparativos para la innovación de productos*. Memorias XI Congreso Internacional Anual SOMIM p. DMM267–DMM276.

Dieter G.E. (2000). *Engineering Design a Materials and Processing Approach*. McGraw–Hill, New York.

Ulrich, K. Eppinger, S. (2004). *Product Design and Development*. McGraw–Hill.

Akao, Y. (2000). *Despliegue de funciones de calidad QFD, integración de las necesidades del cliente en el diseño del producto*. Productivity press.

Otto, K. Wood, K. (2001). *Product Design Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. Prentice Hall.

Ulrich, K. Randall, T. Fisher, M. Reibstein, D. (1998). *Managing Product Variety: A Study of the Bicycle Industry*. In: *Managing Product Variety*. Teck–Hua Ho and Chris Tang (Eds). Kluwer Academic Publishers.

---

---

## Selección de un sistema solar fotovoltaico para un vehículo eléctrico

César Leonardo González Pinzón, Carlos Ponce Corral, Rene Alberto Valenzuela Nájera, David Atayde Campos

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del diseño de un sistema solar-fotovoltaico, con el objetivo de ofrecer el requerimiento energético necesario a un vehículo eléctrico participante de la competencia *American Solar Challenge*. En la actualidad los vehículos solares son fabricados solo para competencias debido a los altos costos de producción que implican. La alta demanda energética, los problemas ambientales y el agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles, vuelven a los vehículos solares una alternativa para solucionar esta problemática. Por esta razón el sol es una fuente de energía inagotable, que se aprovecha en muy baja medida, de allí porque la opción de diseñar un sistema fotovoltaico capaz de absorber la mayor cantidad de radiación solar posible, para generar suficiente cantidad de energía eléctrica y lograr abastecer un vehículo eléctrico. Por consiguiente este artículo trata los siguientes aspectos: Una investigación sobre vehículos solares y su reglamentación. Estudio sobre tipos de arreglos de celdas fotovoltaicas y su eficiencia energética. Estudiar metodologías de selección sobre arreglos fotovoltaicos y su eficiencia energética. Analizar los resultados obtenidos y generar por último el arreglo fotovoltaico necesario.

**Palabras clave:** Eficiencia energética, Energía solar, Vehículo eléctrico

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria automotriz ha cambiado su perspectiva hacia la eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovable (*Schoettle y Threin, 2000*), esto debido a la problemática de contaminación por el uso de combustibles fósiles y el agotamiento de las reservas del mismo a nivel mundial.

Para esto se han creado diferentes soluciones tales como los vehículos eléctricos, vehículos híbridos, y con otros tipos de fuentes de alimentación para la generación de movimiento de los mismos (*ibíd.*).

Por ahora no es claro cual de estas tecnologías serán las dominantes para un futuro, donde baje el consumo de

combustibles fósiles. Pero harán parte de tecnologías viables para los sistemas de transporte sustentable en el futuro (*Sperling, 2001; Black y Sato, 2007*)

Los nuevos sistemas de vehículos eléctricos están promovidos por la necesidad de la economía de combustible y la reducción de la contaminación. Al igual que por las nuevas condiciones de mejoras en: seguridad, confort, fiabilidad y autonomía (*Likar, 2008*). Por tal razón los sistemas de poder y control eléctrico para todos los elementos del vehículo que necesitan energizarse como motores, frenos, direcciones, computadores a bordo, etc.; necesitan fuentes de energía eléctrica fiable (*ARPA-E, 2009*).

Es entonces la importancia que radica en la búsqueda y selección de fuentes de energía alterna para ser transformadas y almacenadas en forma eléctrica para su posterior consumo.

Dentro de nuestro ecosistema encontramos fuentes de energía aprovechable y abundante como es el sol, que a través de paneles solares o celdas fotovoltaicas transforma la energía lumínica en energía eléctrica (Fernández, 2010), que puede ser directamente llevada a los elementos motrices o almacenada mediante baterías para su posterior uso dándole la capacidad de autonomía a un vehículo eléctrico (Larrode, 1997).

## **ENERGIA SOLAR Y SU APLICACIÓN EN VEHICULOS**

### **A. Energía solar**

La energía solar, es una de las energías renovables más importantes que existen, debido a que esta constituye prácticamente toda la energía que llega a la tierra. Su uso puede dividirse en dos rubros: el primero puede ser como fuente de calor de calor para sistemas solares térmicos y el segundo como fuente de electricidad para sistemas fotovoltaicos.

El uso de la energía solar tiene en gran medida como objetivo el ahorrar energías no renovables sobre todo la energía fósil y la energía nuclear, además de amortiguar el impacto ambiental de estas (Centro de Estudios de Energía Solar, 2001). Alrededor del mundo se están implementando cada vez más este tipo de sistemas de generación de energía eléctrica (ver Fig. 1).



Fig. 1. Paneles solares

El uso de este tipo de sistemas ya sea el solar-térmico o el fotovoltaico tiene un gran número de aplicaciones, en el primero podemos obtener el calentamiento de agua ya sea para uso doméstico o industrial o simplemente para dar calefacción a los hogares. El segundo sistema tiene una aplicación de mayor importancia que es el proveer de energía eléctrica, sus aplicaciones van desde la electrificación de una comunidad rural hasta su uso en un vehículo eléctrico

### **B. Radiación Solar**

La superficie solar se encuentra a una temperatura media de 5,000 °C, la energía liberada por el sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. La radiación en el sol es de 63,450,720 W/m<sup>2</sup>. A la tierra solo llega un tercio de la energía total interceptada por la atmósfera y de este tercio el 70% cae en el mar aun así, es miles de veces el consumo energético mundial. Existen tres tipos de radiación solar; la directa, difusa y albedo. La primera es la recibida desde el sol sin que se desvíe en la atmósfera, la segunda es la que sufre cambios en su dirección principalmente por la reflexión y difusión en la atmósfera, y la tercera es la radiación directa y difusa que se

recibe por reflexión en el suelo u otras superficies (Méndez y García, 2011).

En la siguiente figura se muestra la incidencia en la que caen los diferentes tipos de radiación solar, en los diferentes cuerpos situados en la superficie terrestre.

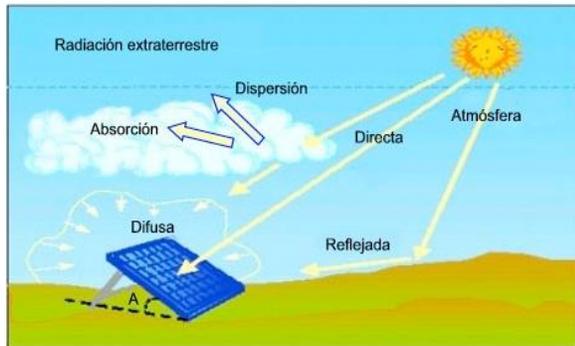


Fig. 2. Tipos de radiación.

Las proporciones de radiación directa y de albedo recibida por una superficie determinada dependen de tres factores: las condiciones meteorológicas, de la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal y de la presencia de superficies reflectantes.

En función del lugar, además varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permita maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar (Fernández, 2010).

En un día despejado la radiación directa es mucho mayor que la difusa. Esta última será evidentemente la única forma posible de radiación en los días nublados, filtrándose más o menos uniformemente a través de la capa nubosa (Rosell et al.,

2005). A continuación se muestra la tabla 1 donde se describe la radiación de acuerdo a las condiciones climatológicas.

Tabla 1. Irradiancia global y difusa en diferentes condiciones.

Condiciones Climatológicas	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Componente Difusa (%)
Cielo claro	750-1000	10-20
Parcialmente nublado	200-500	20-90
Completamente nublado	50-150	10-20

Aunque las tres están presentes en la tierra, la radiación directa es la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas (Larrode 1997).

Para elaborar mapas de radiación solar, es común emplear métodos de esta en su forma más difusa, aun cuando existen otros tipos de mediciones meteorológicas que se relacionan con la energía solar, siendo los datos de radiación la mejor fuente de información, sin embargo en ausencia de estas se pueden emplear relaciones empíricas para estimar la radiación global a partir de las horas de insolación. Otra alternativa que se puede utilizar para la estimación de radiación en un lugar en particular, sería mediante datos existentes de otras localidades con altitud topografía y climas semejantes al deseado. Al emplear datos de insolación para obtener la radiación total, se estima su aproximación con un error dentro de un  $\pm 10\%$  (Almanza y Muñoz, 1994).

Una expresión que permite calcular la constante solar para cada día del año es:

$$C = 1367[1 + 0.033 \cos(0.973N)] \quad 1$$

La constante solar es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmosfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del sol y donde N es el número secuencial del día considerado (*Grupo NAP, 2002*).

La radiación emitida La radiación emitida por el sol, junto con sus condiciones geométricas respecto de la tierra, dan por resultado que, sobre la atmosfera terrestre incide una cantidad de radiación solar casi constante.

Por otro lado, la órbita de la tierra alrededor del sol no es circular, sino cuasi-elíptica. Esto genera que, alrededor del 4 de enero, cuando la tierra se encuentra en el perihelio (mínima distancia al sol) la radiación solar es máxima y por el contrario, alrededor del 1 de julio la tierra se encuentra situada en el afelio (máxima distancia al sol) y entonces la radiación es mínima (*Fernández, 2008*).

### C. Irradiación sobre una superficie

La irradiación es la cantidad total de energía radiante que llega a una superficie determinada en un tiempo determinado. Se trata, pues, de una medida de la energía incidente sobre dicha superficie, expresándose en cualesquiera de las unidades habituales usadas para medir la energía. Otro término utilizado es la irradiancia que no debe confundirse con la irradiación. La irradiancia, es la energía

incidente por unidad de tiempo y de superficie (ver ecuación 2)

$$I = \frac{E}{St} \quad 2$$

Donde  $I$  es la irradiancia, la  $E$  es la irradiación,  $S$  es la superficie y  $t$  es la unidad de tiempo.

La cantidad de energía que una superficie expuesta a los rayos solares pueda interceptar dependerá del ángulo formado entre los rayos solares y la superficie, si la posición de la superficie es totalmente perpendicular a los rayos solares el valor será máximo e ira disminuyendo conforme este ángulo también lo haga (*Rosell et al., 2005*). En la fig. 3 se muestra la formula en basa a la cual se puede calcular la intensidad directa sobre una superficie.

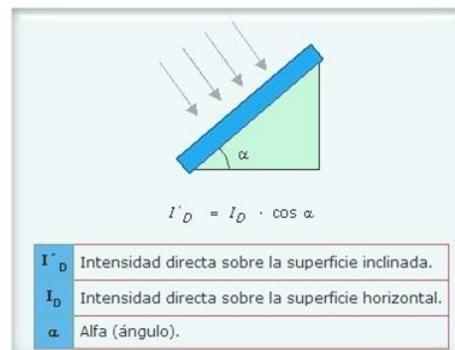


Fig. 3. Radiación sobre una superficie.

### D. Posición del Sol

Cotidianamente se observa que el Sol sale por el Este y hace su recorrido hasta llegar a ocultarse por el Oeste. Se sabe que el Sol no es el que se mueve si no que su aparente movimiento se debe a que la tierra gira sobre si misma, efectuando una revolución cada 24hrs.

Existe otro factor aparte de las condiciones atmosféricas que determina la incidencia de la radiación sobre un captador solar. El movimiento aparente del sol a través de la bóveda celeste, a lo largo del día del año. La tierra tiene una trayectoria alrededor del sol que sugiere una forma de elipse, con una excentricidad del 3%. La línea imaginaria que representa la órbita descrita se llama eclíptica. En su movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma siempre un mismo ángulo de  $23.45^\circ$ , con respecto a la perpendicular al plano de la eclíptica. El ángulo que forma la eclíptica con el plano del ecuador varía a lo largo del año, esto lo podemos apreciar en la Fig. 4.



Fig. 4. Ángulo de declinación del Sol.

Los trópicos de cáncer ( $23.45^\circ$  Norte) y de capricornio ( $23.45^\circ$  Sur) corresponden a los lugares extremos de latitud tal que el sol se sitúa en la perpendicular al plano del horizonte un instante al año, al medio día del solsticio de verano y de invierno, respectivamente.

#### E. Vehículo solar

Dentro de los diferentes modelos de vehículos solares se encuentra el "Sunraycer" (Fig. 5), vehículo desarrollado por general motors (GM). Este vehículo se caracteriza principalmente por: el bajísimo coeficiente de penetración aerodinámica de su carrocería, el poco peso de chasis, el alto

rendimiento del motor eléctrico, sus células solares y el arreglo de baterías para su la autonomía de trabajo.

La carrocería en forma de lágrima, ha sido perfeccionada con la ayuda de un ordenador desarrollado por la NASA. Cuenta con aditamentos aerodinámicos que mejoran la estabilidad del vehículo y reducen su coeficiente de resistencia al viento.

El vehículo solar de GM utiliza 7,200 células solares, que son del mismo tipo que las empleadas en los satélites de comunicación. Cada célula mide  $2 \times 6$  cm. Y tiene un espesor de 0.2 mm. Estos arreglos, están dispuestos en 20 cadenas de 360 células cada una.

El panel solar funciona normalmente a 150 voltios, generando 1,000 watts de potencia máxima al mediodía.



Fig. 5. Vehículo solar "Sunraycer".

#### F. El efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se descubrió por primera vez en 1839, por el físico francés Alexandre-edmond Becquerel. Sus estudios fueron fundamentales para el desarrollo del aprovechamiento de la energía fotovoltaica (Fernández, 2008).

La conversión fotovoltaica de la energía solar es hoy en día una de las formas

más desarrolladas del aprovechamiento de ese recurso, se trata de una conversión directa de energía solar a eléctrica. El efecto fotovoltaico consiste en la aparición de una diferencia de potencial en un dispositivo cuando este es iluminado (Méndez, 2011) y consiste en que algunos materiales tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados se produce una corriente eléctrica y esta puede ser utilizada como electricidad (Larrode, 1997).

La generación de electricidad a partir de paneles fotovoltaicos constituye una de las aplicaciones más conocidas del efecto fotovoltaico. En la Fig. 6 se puede observar el efecto fotoeléctrico.

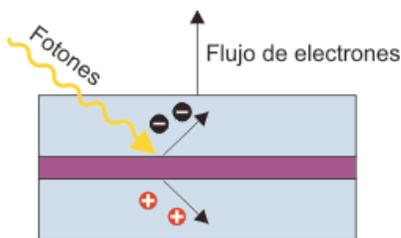


Fig. 6. Efecto fotovoltaico.

El silicio como elemento químico cuenta con catorce electrones. Cuatro son de valencia; lo que significa que están disponibles para unirse con otros electrones de valencia de otros átomos. De este modo dentro de un cristal de silicio cada átomo estará unido de forma covalente con otros cuatro átomos por lo que dentro del cristal no habrá electrones libres.

En la realidad algunos átomos de silicio serán sustituidos por átomos de fósforo que cuentan con cinco electrones de valencia, así que, cuatro de estos cinco, serán utilizados para realizar enlaces químicos, con los átomos de silicio

adyacentes y quedará uno libre que podrá separarse del átomo de fósforo, mediante una estimulación hecha por una fuente externa de energía térmica, con lo que obtendrá libertad de movimiento en el interior del retículo del cristal (Fernández, 2010).

De manera contraria si la sustitución del átomo de silicio se hiciera con uno de boro, que solo cuenta con tres electrones de valencia, se llegaría a una situación en la que se necesitaría un electrón adicional, para completar los enlaces químicos con los átomos adyacentes. Este electrón faltante es llamado “hueco”, y produce un efecto contrario como si se tratara de un electrón positivo. Por lo tanto en el caso del fósforo, los portadores de carga libres poseen potencial negativo y el material es llamado semiconductor de “tipo n” y en el caso del boro, los portadores de carga son positivos y el material es llamado semiconductor de “tipo p” (ibíd.).

Uniendo una barra de material de tipo p con una barra de material de tipo n se constituye lo que se denomina diodo o enlace “p-n”.

#### G. Las celdas solares

Las celdas solares, son dispositivos donde se convierte la energía solar en eléctrica, gracias a las propiedades de los semiconductores y a las estructuras que permiten extraer los electrones excitados de las celdas antes de que regresen a su estado de equilibrio térmico.

Una celda solar utiliza un haz de fotones a 6000K, es decir opera como una máquina térmica. Las celdas más utilizadas

son las de silicio cristalino y las de silicio multicristalino.

En las que se ha realizado una unión p-n y contactos en ambas caras, son capaces de brindar  $0.5\text{ V}$  y una corriente de  $35\text{ mA/cm}^2$ , cuando son iluminadas por el sol a  $1000\text{ W/m}^2$  que se toma como irradiancia de referencia estándar (Gonzales, 2009). En la Fig. 7 se puede observar la estructura de una celda solar.

La celda solar es el elemento básico y sin duda, el más sofisticado y costoso de un panel fotovoltaico. Una celda convencional está formada por un sustrato de silicio dopado con fósforo y boro hasta formar lo que se denomina unión p-n (Valero, 1998).

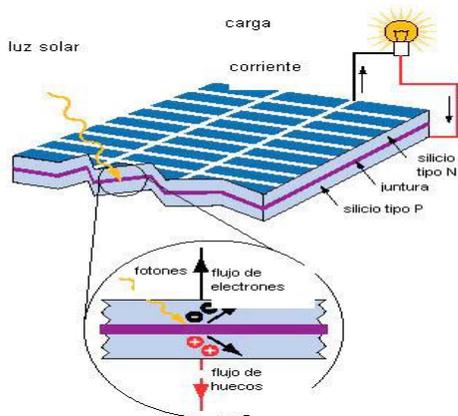


Fig. 7. Estructura de una celda solar

#### H. Tipos de celdas solares

Existen diferentes tipos de celdas solares entre ellas existen las celdas de silicio amorfo, que se han comenzado a comercializar recientemente, extendiendo su uso para dispositivos de muy baja potencia, como calculadoras, relojes, radios portátiles entre otros, y han aparecido tecnologías más

sofisticadas, como las películas delgadas de semiconductores, o las combinaciones de diversos semiconductores (Fernández, 2010).

Los diferentes tipos de celdas solares son los siguientes:

- Silicio monocristalino: material de silicio caracterizado por una disposición ordenada y periódica de átomos, de forma que solo tiene una orientación cristalina, es decir, todos los átomos están dispuestos simétricamente. Alcanzan rendimientos de hasta el 17%.
- Silicio policristalino: silicio depositado sobre otro sustrato, como una capa de 10-30 micrómetros y tamaño de grano entre  $1\ \mu\text{m}$  y  $1\text{ mm}$ . Las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Alcanzan rendimientos de hasta el 12 %.
- Silicio amorfo: compuesto hidrogenado de silicio, no cristalino, depositado sobre otra sustancia con un espesor del orden de  $1\ \mu\text{m}$ . No existe estructura cristalina ordenada, y el silicio se ha depositado sobre un soporte transparente en forma de una capa fina. Presentan un color marrón y gris oscuro. Las células de silicio amorfo (no cristalino) parecen tener unas perspectivas de futuro muy esperanzadoras. Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor y fabricación más simple y barata, aunque con eficiencia del 6-8 %. Su principal campo de aplicación en la actualidad se encuentra en la alimentación de

relojes, calculadoras, etc. Son muy adecuadas para confección de módulos semitransparentes empleados en algunas instalaciones integradas en edificios (Sperling, 2001). (ver tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento de celdas solares.

Tipos de Celdas	Rendimiento Laboratorio	Rendimiento Directo
Silicio Monocristalino	24 %	15-18 %
Silicio Policristalino	19-20 %	12-14 %
Silicio Amorfo	16 %	< 10 %

Se han desarrollado también celdas bifaciales, con el fin de aprovechar la radiación por sus dos caras, y además se experimenta con dispositivos concentradores de las radiaciones, para aumentar la cantidad de radiaciones que inciden sobre la celda, generalmente utilizando lentes de Fresnel (Fernández, 2010).

### I. Sistemas fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos están formados por un cristal o lámina transparente superior y un cerramiento inferior. Entre ellos queda el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas.

Un sistema fotovoltaico comprende un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que convergen para captar la energía solar disponible y transformarla en energía eléctrica. Estos sistemas pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Aislado: con baterías o sin baterías
- Conectados a red
- Híbridos: combinados con otro tipo de generación de energía eléctrica.

Los componentes utilizados para la construcción de un sistema fotovoltaico generalmente son los siguientes (ver tabla 3)

Tabla 3. Componentes de un sistema fotovoltaico.

Tipos de Celdas	Rendimiento Laboratorio
Generador fotovoltaico	Encargado de captar la radiación solar para posteriormente convertirla en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.
Baterías o acumuladores	Almacenan la energía eléctrica generada para después ser utilizada en periodos en que la demanda exceda la capacidad del generador fotovoltaico
Regulador de carga	Encargado de proteger y garantizar el mantenimiento de la carga en la batería(s) y evitar sobrecargas.
Inversor	Encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna
Elementos de protección del circuito	Como interruptores de desconexión, diodos de bloqueo, etc., para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o sobrecarga

La Fig. 8 muestra los componentes de un sistema fotovoltaico

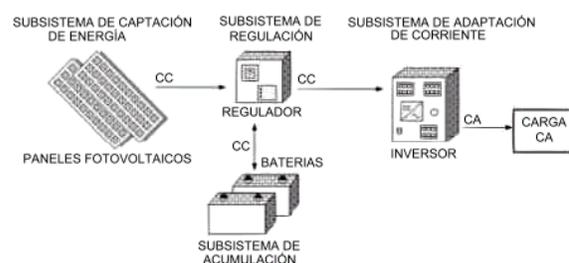


Fig. 8. Componentes de un sistema fotovoltaico

## DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El dimensionado de un sistema fotovoltaico se refiere al proceso de cálculo y selección de los diferentes componentes y subsistemas que constituyen una instalación fotovoltaica.

Todos los elementos que se utilizaran deben tener una relación entre si equilibrada. Para el correcto funcionamiento del sistema en conjunto, se debe tener en cuenta que los componentes utilizados sean adecuados para la tarea que deben cumplir.

### A. Métodos para el dimensionado

Existen diversos métodos para el cálculo y dimensionado de las instalaciones fotovoltaicas, dentro de todos estos se utilizara el denominado método del peor mes o del mes más desfavorable por ser, el que ofrece resultados suficientemente precisos, con una metodología intuitiva y fácilmente entendible (*Grupo NAP, 2002*).

Este método consiste en dimensionar el sistema para satisfacer las demandas de energía eléctrica en el mes más desfavorable, con el proposito de que el resto del año el sistema podrá suministrar de manera sobrada la energía eléctrica demandada. Podría pensarse a primera vista que el peor mes corresponderá a algunos de los meses de invierno, por ser estos en los que menos radiación solar se recibe. Aunque esto puede ser frecuentemente correcto, se debe tener en cuenta también la aplicación para la cual se utilizara el sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta el uso que se le dará a este cada mes.

Debe por consiguiente, evaluarse el cociente entre la energía demandada y la

energía solar incidente para cada mes para el que el valor obtenido es mayor.

Los pasos que deben seguirse para aplicar el método del peor mes son los siguientes:

- 1- Determinación del promedio de la energía eléctrica diaria solicitada por la instalación receptora.
  - 2- Determinación del promedio de irradiación diaria disponible en el lugar de ubicación de los módulos fotovoltaicos, para cada mes.
  - 3- Calculo del cociente mensual entre los dos valores anteriores  $Y = E_{elec} / H_s$ .
  - 4- Determinación del peor mes o del mes mas desfavorable: el que corresponda el valor  $Y_{max}$ , valor máximo de Y.
  - 5- Elección del tipo de panel fotovoltaico, y, en especial la potencia pico del panel  $P_{mod}$ , expresada en  $W_p$ , watts-pico.
  - 6- Calculo del número de módulos o paneles fotovoltaicos necesarios,  $N_{s,mod}$ , y de la potencia total instalada en el sistema de captación.
  - 7- Calculo del número de paneles conectados en serie,  $N_s$ , mod, y del número de módulos conectados en paralelo  $N_p$ , mod.
- B. Determinacion del promedio de la energía eléctrica diaria solicitada por la instalación receptora

El primer pasa para el dimensionado, es calcular la energía del consumo eléctrico según los requerimientos del lugar donde se implementara el sistema, el valor de

consumo será un promedio, y serán las potencias consumidas por el tiempo en sean utilizadas. En la tabla 4 se muestra un ejemplo de consumo.

Tabla 4. Consumo de los aparatos electricos.

Aparato	Número de unidades	Potencia	Horas de Funcionamiento	Energía de Consumo
Telefono	2	15	1	30
Radio	1	35	3	105
Television	1	110	6	660
Total				795

Donde la energía total de cada aparato está dada por la ecuación 3

$$Energia E = N \cdot P \cdot hr(Wh) \quad 3$$

Y el consumo total diario está dado por la ecuación 4

$$Ecc = \sum e_i \quad 4$$

donde Ecc es la energía total de consumo diario en corriente directa.

#### C. Determinacion de la irradiación solar disponible en el lugar de ubicación de los módulos fotovoltaicos

El siguiente paso consiste en estimar, para cada mes el promedio de la irradiación solar que incide durante un día, sobre un metro cuadrado de una superficie situada en el lugar donde se utilizaran los mismos.

La estimación puede realizarse mediante datos estadísticos del lugar o con el uso de aparatos de medición, para fines de

esta investigación se utilizaran datos estadísticos del lugar.

#### D. Calculo del cociente mensual entre los valores anteriores

Para cada uno de los meses del año, se calcula el cociente entre el consumo medio total de energía eléctrica, Eelec y el promedio de la radiación diaria disponible en el lugar de uso de los módulos fotovoltaicos. Este cálculo dará como resultado la superficie total requerida para cumplir con la demanda de potencia, el cálculo se realizara mediante la ecuación 5

$$Y = \frac{Eelec}{Hs} \quad 5$$

#### E. Determinacion del peor mes

El sistema fotovoltaico se dimensiona para cubrir las necesidades del mes más desfavorable del año en el lugar de uso de los módulos fotovoltaicos, es decir, el mes en que el cociente entre el consumo total diario y el promedio de la radiación correspondiente al valor de Y sea máximo.

#### F. Elección del tipo de panel fotovoltaico

Llegando este punto ya debe de estar determinado el panel fotovoltaico a utilizar, para calcular la energía pico producida por un único panel fotovoltaico, de la potencia pico escogida, Pmod (Wp), durante un día cualquiera. Debe tenerse en cuenta que la potencia pico de un panel es la potencia que produce en condiciones estándar que suponen una radiación incidente de  $1 kW m^{-2}$ .

Según lo anterior, la energía producida durante una hora por un panel de potencia pico  $P_{mod}$  ( $W_p$ ) sobre el que incide una radiación solar de intensidad de  $1 kW m^{-2}$ , incide sobre el panel durante  $H_s$  horas (horas pico de sol), la energía solar producida por el panel será igual a: (ver ecuación 6)

$$H_s(kWhm - 2dia - 1) \cdot P_{mod}(W_p) \quad 6$$

G. Cálculo del número de módulos o paneles fotovoltaicos

El cálculo del número de módulos vendrá dado por la ecuación 7 y 8

$$N_{mod} = ST_{mod}/S_{mod} \quad 7$$

Tomando en cuenta un factor de seguridad del 10%, queda finalmente:

$$N_{mod} = 1.1 \cdot ST_{mod}/S_{mod} \quad 8$$

H. Cálculo de la conexión de los módulos

En esta fase del dimensionado, debe estar definida la tensión del subsistema de acumulación,  $V_{T,acu}$ . Si la tensión del módulo es  $V_{cel}$ , entonces el número de módulos fotovoltaicos que deberán conectarse en serie vendrá dado por la ecuación número 9

$$N_{s.mod} = V_{T.acu}/V_{cel} \quad 9$$

El número de módulos conectados en paralelo,  $N_{p,mod}$  viene dado por la ecuación 9.

$$N_{p.mod} = N_{mod}/N_{s.mod} \quad 10$$

Por último el número total de celdas solares,  $N_{mod}$ , es igual a la ecuación 11

$$N_{mod} = N_{s.mod} \cdot N_{p.mod} \quad 11$$

## RESULTADOS

En esta sección se llevará a cabo el dimensionado de las celdas fotovoltaicas, siguiendo el método del peor mes como se explicó en el capítulo anterior, para un vehículo solar de competencia a realizarse en Austin TX.

A. Cálculo de la conexión de los módulos

Como ya se explicó en la metodología el primer paso para el dimensionado, es calcular la energía del consumo eléctrico del vehículo solar.

Se deben tomar en cuenta los componentes que se alimentarán, agrupándolos en los que se alimentarán en CD y los que lo hacen en CA. El vehículo solar solo lleva componentes que funcionan con corriente directa CD como se mostrara a continuación en la tabla 5. Los componentes del vehículo se tomaron en base al reglamento de la competencia American Solar Challenge, y se hizo un estimado de su consumo en watts.

B. Determinación del promedio de radiación solar diaria

La radiación directa global en Texas se puede observar en la Fig. 9 la cual nos muestra un mapa solar del estado.

Tabla 5. Potencia requerida para el vehiculo cd

Tipo de receptor	Número de unidades N	Potencia P(W)	Horas de funcionamiento diario (hr)	Energia E=NxPxhr (Wh)
Motor electrico	1	1800	13	23400
Seguidor solar	2	4.22	13	109.72
Luces	5	12	13	780
Claxon	1	36	0.5	18
Data logger	1	14.4	13	187.2
Consumo total en CC(Wh) $E_{cc} = \sum e_i$				24494.92

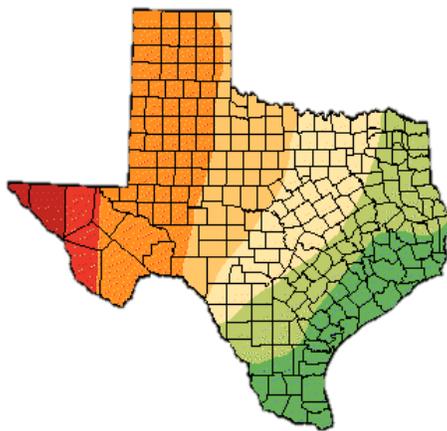
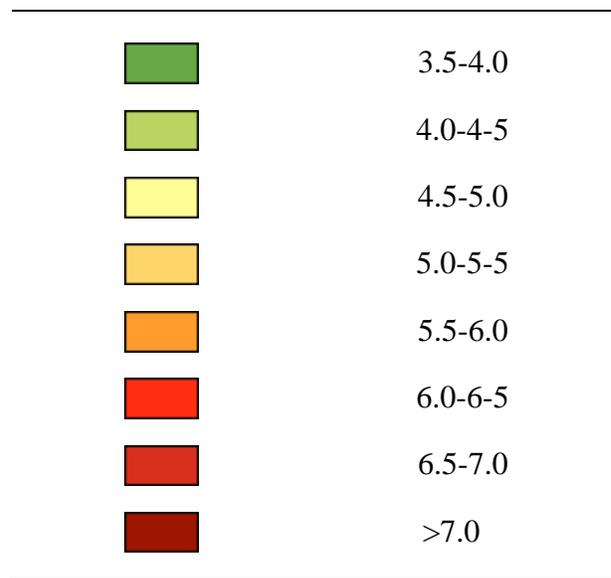


Fig. 9. Mapa solar de Texas

En la tabla 6 se explica la cantidad de radiación según el color de la figura 9.

Tabla 6. Radiación media diaria en ciudades Texasas



En la Fig. 10 se muestra la radiación solar media diaria para algunas ciudades de Texas. Los esquemas parciales de la radiación solar global (de color azul y naranja) en sus componentes directa (naranja) y difusa (azul).

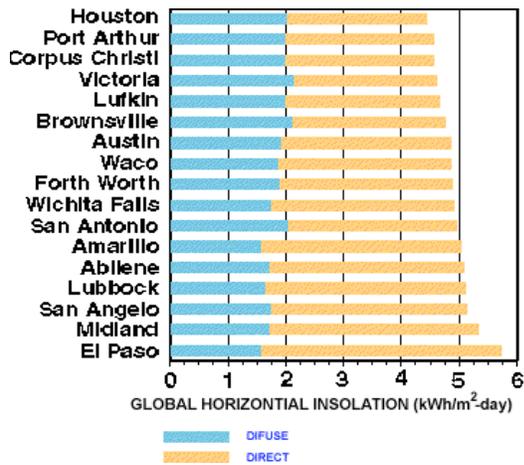


Fig. 10. Radiación solar por ciudad.

La Fig. 11 muestra el comportamiento de la radiación global en la región de Austin donde se ve que el mes con menos radiación es el mes 12 (Diciembre).

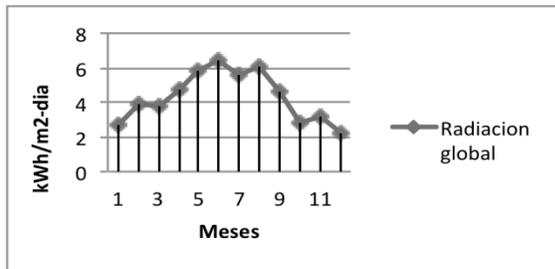


Fig. 11. Radiación por mes.

La competencia se realizó en los días 26 al 29 de junio, mas sin embargo no se tomara este mes en cuenta para el dimensionado sino el mes más desfavorable del año en este caso diciembre.

### C. Determinación del peor mes

Para cada uno de los meses del año, se calcula el cociente entre el consumo medio total diario de energía eléctrica,  $E_{elec}$  y promedio de la radiación diaria disponible

en el lugar de ubicación de los módulos fotovoltaicos  $H_s$ .

El cociente  $Y = E_{elec} / H_s$ , expresado en  $m^2$ , representa mil veces la superficie necesaria para que la energía media diaria de la radiación solar incidente sobre esta sea igual a la energía diaria consumida por los receptores, o lo que es mismo, el cociente  $Y = E_{elec} / H_s$ , expresado en  $m^2$ , representa mil veces la superficie que debería tener un panel fotovoltaico ideal, de rendimiento al 100%, para satisfacer la necesidades diarias de energía eléctrica de la instalación receptora (tecnología solar). El sistema fotovoltaico se dimensiona para cubrir las necesidades durante el mes peor, o sea, el que le corresponda el valor  $Y_{max}$ , valor máximo de los valores de  $Y$  de cada mes (ver tabla 7).

Tabla 7. Determinación del peor mes

$E_{elec}$ (Wh·día <sup>-1</sup> )	$H_s$ (kWh·m <sup>-2</sup> ·día <sup>-1</sup> )	$Y = E_{elec} / H_s$ (m <sup>2</sup> ·10 <sup>3</sup> )
24,994.92	2.67	9174.127341
24,994.92	3.89	6296.894602
24,994.92	3.81	6429.112861
24,994.92	4.72	5189.601695
24,994.92	5.89	4158.730051
24,994.92	6.44	3803.559006
24,994.92	5.58	4389.770609
24,994.92	6.08	4028.769737
24,994.92	4.67	5245.164882
24,994.92	2.89	8475.750865
24,994.92	3.15	7776.165079
24,994.92	2.28	10743.38596

El valor máximo de  $Y$  lo tenemos en el mes 12 con un valor de  $10.743m^2$  de superficie necesaria para cubrir la demanda

diaria requerida del vehículo (ver Fig. 12), con la limitación en superficie de celdas solares establecida en la competencia, la cual es de  $6m^2$ , se dimensionara en base a este valor máximo de superficie.

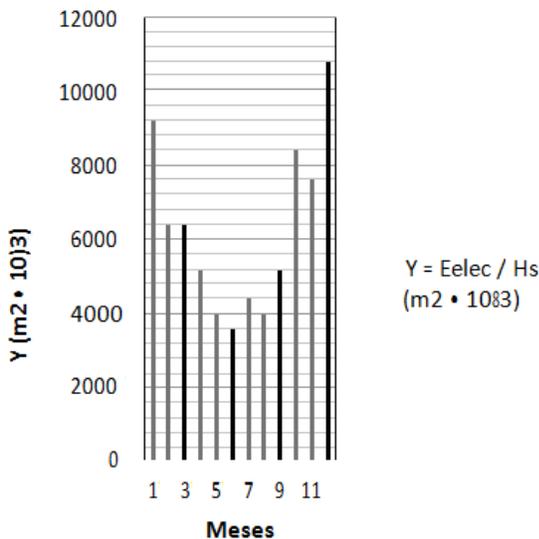


Fig. 12. Grafica del valor de Y

#### D. Elección del tipo y número de paneles fotovoltaicos

Según las normas de la competencia las celdas solares aprobadas para ser utilizadas son las siguientes:

- SunPower C60 Bin I or lower (Bin J no aprobadas)
- Sunpower A300
- Solarworld A-262
- China SUNERGY CSUN-HP-S125-Dia165-BB2
- Sunpower C50
- SCHOTT Solar Main ISO PSG 15632 Bin 32

- Suniva, Inc. ARTisun Select, 18.80

De las cuales se realizara un cuadro comparativo con sus características para establecer cuál es la que ofrece mejor suministro de potencia.

En la Fig. 13, se puede ver que el tipo de celda que ofrece una mayor potencia es la Sunivia, por lo cual se seleccionó como la celda a utilizar en el vehículo debido a que este requiere del mayor suministro de potencia posible.

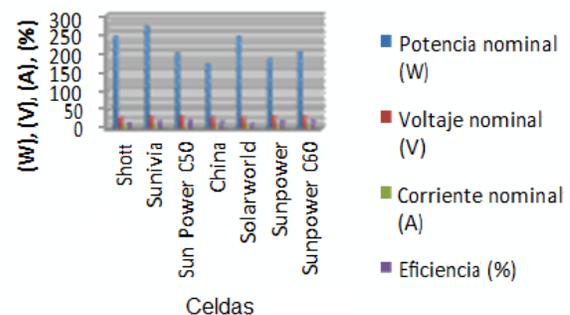


Fig. 13. Grafica comparativa entre celdas.

#### E. Elección del tipo y número de paneles fotovoltaicos

La celda se eligió por su potencia pico en este caso se utilizara la celda sunivia que tiene una potencia pico de  $4.5 W$ , debe tenerse en cuenta que la potencia pico de una celda es la potencia que produce en unas condiciones estándar que supone una radiación incidente de  $1,000 W m^{-2}$ .

De acuerdo con lo anterior, la energía producida por una celda durante una hora, es igual a  $P_{mod} (Wh)$ . Y si en lugar de una hora la radiación solar de un  $1,000 W m^{-2}$  incide sobre una celda durante  $H_s$

horas (horas pico de sol), la energía diaria producida por la celda será igual a la ecuación 12

$$Hs(kWh/m^2 \text{ dia}) \cdot P_{mod}(Wh) \quad 12$$

Tomando en cuenta que se utilizaran  $6m^2$  de paneles fotovoltaicos. La energía nominal para esta superficie de celdas sería de 1224 Wp para una radiación de  $1kW/m$  (ver tabla 8).

Tabla 8. Determinación del peor mes.

Hs(kWh/m <sup>2</sup> dia)	P <sub>mod</sub> (Wh)	Energía diaria Producida por el panel
6.44	1224	7882.56

Para el cálculo del número de celdas necesarias se realizara de la siguiente manera, la superficie útil de una celda es de (S<sub>mod</sub>) expresada en  $m^2$  es de  $0.0240m^2$ .

La superficie total de celdas (S<sub>T,mod</sub>) en este caso será de  $6m^2$  que es la máxima superficie que permite la competencia.

El número total de celdas (N<sub>mod</sub>) puede calcularse mediante las siguientes expresiones (ver tabla 9, 10, 11 y 12):

Tabla 9. Número total de celdas.

Factor de Seguridad del 10%	S <sub>T,mod</sub>	S <sub>mod</sub>	$N_{mod}=1.1 \cdot S_{T,mod} / S_{mod}$
1.1	6	0.0240	275

Tabla 10. Número de celdas conectadas en serie.

N <sub>s,mod</sub>	V <sub>T,acu</sub>	V <sub>cel</sub>
45	24	0.535

Tabla 11. Número de ramales conectados en paralelo.

$N_{p,mod}=N_{mod}/N_{s,mod}$	N <sub>mod</sub>	N <sub>s,mod</sub>
6	270	45

Tabla 12. Número total de celdas.

$N_{mod}=N_{s,mod} \cdot N_{p,mod}$	N <sub>s,mod</sub>	N <sub>p,mod</sub>
270	45	6

## CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta investigación fue generar una propuesta de un sistema capaz de suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de un vehículo solar, para ello se seleccionó una metodología de dimensionado de celdas solares, teniendo en cuenta que se tomó como base un vehículo para la competencia American Solar Challenge, y se debió cumplir con un reglamento de competencia.

Para alcanzar tal objetivo se realizó un estudio de radiación solar en lugar de la competencia, con lo que se logró establecer una aproximación de la cantidad de energía eléctrica que pudiera producir el sistema de captación fotovoltaico, tomando como base datos estadísticos de radiación en el lugar. El dimensionado de las celdas se realizó con base a una superficie de celdas establecida por el reglamento de la competencia, de la cual se utilizó el máximo de superficie permitida, con esto se pasó a calcular la conexión de las celdas basándose en los requerimientos del sistema de acumulación del vehículo. Considerando el sistema de acumulación en conjunto con el sistema de captación, se logró cumplir teóricamente con las horas de funcionamiento diario del vehículo.

Teniendo en cuenta que al sistema fotovoltaico se le instalara un sistema de seguimiento solar para mantener la perpendicularidad entre las celdas y los rayos solares, lo que aumentara la eficiencia de captación en un aproximado de 35%, puede asegurarse el abastecimiento de energía eléctrica en vehículo durante la competencia.

Durante el estudio de la radiación solar en la región de Austin TX, se encontró el problema sobre la falta de datos de radiación hora por hora ya que solo se encontraron datos de promedio diario en la región, lo que dificulto la estimación de suministro de energía en cada hora del día.

## REFERENCIAS

- Almanza, R. Muñoz, F. (1994). Ingeniería de la energía solar. México DF.
- ARPA-E. (2009). *Electrical Energy Storage for Vehicles*. Post Workshop Summary, Washington DC.
- Black, W.R. Sato, N. (2007). *From global warming to sustainable transport 1989–2006*. International Journal of Sustainable Transportation 1(2): 73–89.
- Centro de Estudios de Energía Solar. (2001). *Instalaciones de energía solar*. Tomo 2: energética solar. Sevilla, España: Progenza.

Fernández M. (2010). *Energía solar: Electricidad Fotovoltaica*. Liberfactory. Madrid España, pp 76.

Fernández J.M. (2008). Compendio de energía solar: fotovoltaica, térmica y termo eléctrica. Mundiprensa. Madrid, España.

Gonzales J. (2009). Energías renovables. Editorial Reverte. Madrid España.

Grupo NAP. (2002). *Energía solar fotovoltaica*. Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación. Madrid España.

Ibáñez, M. (2005). Tecnología Solar. Mundiprensa. 2005

Larode, E. (1997). Automóviles Eléctricos. Prensas universitarias de Zaragoza. Zaragoza España.

Likar, U. (2008). Proc IQPC Next Generation Electric Vehicles Automotive Conference, Wiesbaden, Germany.

Méndez, J.M. García, R.C. (2011). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal, D.L.

Rosell, J.R. Rosell, J.L. Ibañez, M. (2005). *Tecnología Solar*. Madrid, Mundiprensa.

Schoettle, R. Threin, G. (2000). *Electrical power supply systems: present and future*, En: VDI Berichte No. 1547, VDI Verlag, Du`sseldorf, p.449

Sperling, D. (2001). *Publicprivate technology R&D partnerships: lessons from US partnership for a new generation of vehicles*. Transport Policy 8: 247-256.

Valero, J.M. (1998). *Avances en energía solar*. Progenza. Sevilla España.

---

---

## Implementación del método analítico-jerárquico en la selección de la batería que se integrará al sistema fotovoltaico autónomo de un vehículo solar

Carlos Ponce Corral, Cesar Leonardo Gonzalez Pinzon, Raul Ñeco Caberta, Carlos Felipe Ramírez Espinoza

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

En este trabajo se plantea una estrategia que permita seleccionar el sistema de almacenamiento de energía eléctrica óptimo para un vehículo solar, que cubra los requerimientos de la competencia *American Solar Challenge*. La metodología utilizada para hacer la selección óptima es el método analítico-jerárquico. El vehículo solar cuenta además con un arreglo solar fotovoltaico, que será junto con el sistema de almacenamiento, el encargado de suministrar la energía eléctrica necesaria al vehículo durante la competencia. Una vez seleccionada la batería que cumpla con los requerimientos del vehículo solar, se lleva a cabo el dimensionado del sistema de almacenamiento del vehículo solar que soporte el consumo de energía durante la competencia. Existen muchos tipos de acumuladores, los cuales están contruidos por diferentes materiales, lo que determina su forma de funcionamiento, entre las cuales destacan las construidas de Acido-Plomo por ser las más comercialmente accesibles a ser utilizadas hoy en día. Existen también otros tipos de baterías que son tecnologías más avanzadas como las de Gel, las cuales ofrecen un mejor desempeño de almacenamiento, a un costo más elevado, las de Níquel, con electrodos de cadmio (Ni-Cd), o con Hidruro Metálico que cuentan con buenas características de almacenamiento de energía eléctrica, aunque sufren de poca eficiencia y su capacidad es limitada. El objetivo entonces de este trabajo es posibilitar la selección de una batería que se ajuste a las necesidades de un vehículo eléctrico.

**Palabras clave:** Método Analítico-Jerárquico, Sistema de almacenamiento, Ciclo carga-descarga, Vehículo solar.

### INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos más importantes en un sistema solar fotovoltaico autónomo, es el sistema de almacenamiento, así como la forma en que esta energía es utilizada por el sistema, en rendimiento y confiabilidad, sin embargo, cada diseño presenta sus propias necesidades, siendo la elección del sistema de almacenamiento complicado, al no contar, con un estudio que analice los diferentes casos. La selección de un acumulador de la energía eléctrica implica obtener la mayor eficiencia posible en su aplicación, así como una mayor confiabilidad. Esto también deberá servir

como punto de partida para futuras investigaciones encausadas hacia vehículos solares y prototipos. Los vehículos eléctricos (*Sen y Narayan, 2009*) han ganado popularidad debido al rápido aumento de las normas de emisión estrictas y las preocupaciones ambientales a nivel mundial. A diferencia de los vehículos convencionales, no hay la presencia de una alta carga de mantenimiento del sistema de almacenamiento de energía recargable (batería). El vehículo eléctrico está equipado con un motor de tracción de alta potencia que es alimentado por la batería o el generador y está directamente conectado a la transmisión. La presente industria del

automóvil está utilizando diferentes tipos de motores para la aplicación, dependiendo de la extensión de su uso y la necesidad de potencia. El rendimiento de la batería es una función de la operación del motor. El diseño del sistema de gestión de la batería depende del análisis detallado de la variación de carga y descarga para la determinación de los parámetros de la batería tales como límites de tensión y corriente y del estado de carga permitido (*Jalakas y Roasto, 2012*). Además se pretende concientizar en el uso de energías limpias en vehículos futuros, que a diferencia de los vehículos a gasolina, cuidan el medio ambiente (*Kee, 1992*). Se muestra el método analítico–jerárquico para la selección de un acumulador que sea óptimo en el almacenamiento de energía eléctrica, a ser utilizado en un vehículo solar. Al momento de seleccionar una batería es necesario evaluar la eficiencia y la capacidad que esta ofrece, puesto que son parámetros que demuestran el tiempo que puede suministrar energía y al mismo tiempo la energía que es alimentada por el sistema fotovoltaico instalado en el vehículo, respectivamente (*Neubauer et al., 2012*). Existen un sinnúmero de acumuladores que cuentan con características diversas, y es necesario un estudio que sirva para seleccionar el acumulador que ofrezca las necesidades específicas a la aplicación en cuestión (*Ibrahim et al., 2008*). La eficiencia del arreglo fotovoltaico depende de un seguidor solar (*Pastre et al., 2011*) para aumentar la eficiencia del sistema y que el sistema de almacenamiento sea menor. En *Lynch (2006)*, realiza un modelo de un sistema de almacenamiento utilizando baterías de Plomo-acido. También *Lynch (1997)*, realizó una evaluación del comportamiento de las baterías en un vehículo eléctrico. *Moon, J. Lee (2011)*,

utiliza un algoritmo basado en el estado de la carga para evaluar una batería en un vehículo eléctrico. *Price et al. (2012)*, utilizan un modelo de un sistema de almacenamiento para vehículos eléctricos, basado en los costos y el ciclo de vida de las baterías. Otras fuentes de almacenamiento han sido evaluadas en (*Sawan y Dickinson, 1995*), como son los ultra-capacitores.

## METODOLOGÍA

En el proceso de selección de las tecnologías de baterías que se investigaron, fue necesario elegir las que se encuentran en el mercado para los sistemas fotovoltaicos autónomos, como son: Electrolito Líquido, Electrolito Gelificado, Níquel–Cadmio, Níquel–Hidruro Metálico y Baterías de Iones de Litio. Una vez teniendo las baterías a considerar, fue necesario llevar a cabo una selección óptima por medio del método Analítico–Jerárquico, el cual por medio de la separación de los componentes, lleva a cabo pequeñas comparaciones, de los productos y sus características, y les asigna un valor para después poder tomar una decisión. El método se eligió por ser el más utilizado dentro de una amplia variedad de métodos para toma de decisiones con base en criterios de naturaleza cualitativa, gracias a su facilidad de comprensión y sencillez de implantación (*Doldan, 1994*). Esta metodología fue desarrollada por *Saaty (1980)* y sirve para facilitar la toma de decisiones en situaciones complejas. Durante el análisis el decisor debe realizar comparaciones por parejas, en primer lugar se comparan los elementos del mismo nivel y luego los sub criterios, y así hasta llegar a las comparaciones de las alternativas de decisión (*Zanazzi, 2003*). Para tomar la mejor decisión, el método requiere primero definir el problema o el objetivo que se

quiere alcanzar, enseguida se definen los actores los cuales deben ser elegidos cuidadosamente para que la opción sea representativa, después hay que jerarquizar las opciones donde se involucren todos los aspectos que se deben evaluar, enseguida se asignan juicios empezando por el nivel más bajo, que es donde se compara la importancia relativa, según el criterio

asignado. Después se hace una síntesis de los resultados. Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se procede a asignar peso a las prioridades de las diferentes alternativas, el cual representara la decisión a tomar. En la Tabla 1 (Saaty, 1980) se muestra una escala para las comparaciones a pares.

Tabla 1. Escala de Saaty para comparaciones a pares.

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen en igual medida al objeto.
3	Moderado	La experiencia y el juicio favorecen moderadamente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte o demostrado	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la practica.
9	Extrema	Las pruebas que favorecen a una actividad más que a otra son del nivel de aceptación más alto posible.
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores.	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción puesto que no hay una palabra apropiada para describirlo.
Reciproco de lo anterior	Si a la actividad $i$ se le ha asignado uno de los números distintos de cero mencionados cuando se compara con la actividad $j$ , entonces $j$ tiene el valor reciproco cuando se compara con $i$	Una comparación que surge de la elección del elemento más pequeño como unidad, para estimar el mayor como múltiplo de esa unidad.
Racionales	Coeficientes que surge de la escala	Si se forzara la consistencia obteniendo $n$ valores numéricos para abarcar la matriz.
1.1-1.9	Para actividades	Cuando los elementos son cercanos y casi no.

Para poder iniciar con el método Analítico-Jerárquico, fue necesaria la definición de algunas constantes que se llevarían a lo largo de las pruebas. Primeramente fue necesario realizar una investigación exhaustiva sobre las diferentes baterías que se encuentran en el mercado de los sistemas fotovoltaicos autónomos. Dada la importancia de poder realizar descargas

por largos periodos de tiempo, las baterías más utilizadas en estos sistemas son las llamadas de “ciclo profundo”, que son aquellas que presentan una mayor resistencia a la descarga. Para poder iniciar con el método Analítico-Jerárquico, es necesario asignar el nivel de importancia que cada objeto va a tener en la selección que se va a llevar a cabo, por lo que el peso

que se le asignara en esta caso será dado por las características investigadas de las baterías. Estas características, se resumieron para poder obtener los valores que a continuación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Familias de baterías según sus atributos.

Baterías	Características				
	Precios	Densidad energética	Auto descarga	Aplicación	Peso
Plomo-Acido	3	1	6	9	8
*Ni-Cd	6	3	7	8	7
**Ni-MH	5	4	8	6	5
***Li <sup>+</sup>	9	9	3	2	3

\*Niquel-Cadmio    \*\*Niquel-hidruro Metalico    \*\*\*Iones de Litio

En la Tabla 3 se muestran las características que se utilizaron para seleccionar la batería para el vehículo solar, por lo cual se asignó un valor en la escala del 1 al 10, tomando en cuenta las características encontradas en la literatura. Siendo el 10 el resultado más fuerte, y el 1 como el más débil.

Tabla 3 Atributos de las baterías utilizadas en sistemas fotovoltaicos

Baterías	Características				
	Ciclado	Contaminante	Efecto memoria	Durabilidad	Temperatura
Plomo-Acido	4	7	5	5	5
*Ni-Cd	5	7	7	6	4
**Ni-MH	7	2	6	6	6
***Li <sup>+</sup>	9	3	1	4	4

\*Niquel-Cadmio    \*\*Niquel-hidruro Metalico    \*\*\*Iones de Litio

Para llevar a cabo la metodología se utiliza un software denominado Expert Choice (*Jalakas y Roasto, 2012*). En la Fig.1

se muestran las características y atributos de las diferentes alternativas.

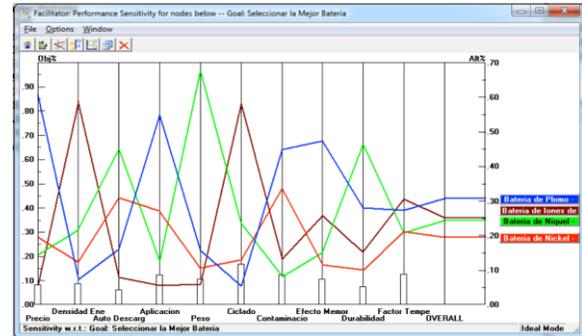


Fig.1 Características y atributos de las diferentes alternativas.

### Dimensionado del almacenamiento de energía eléctrica.

Una vez terminada la selección de la tecnología que mejor se acomoda a las necesidades del sistema vehículo solar, se lleva a cabo el dimensionado del sistema de almacenamiento, para lo cual es necesario considerar los siguientes datos:

- Las cargas eléctricas del vehículo  $E_{dia(mes)}$ .
- Datos de la radiación solar.
- Características eléctricas de la batería.
- Número de días de autonomía  $N_{d,aut}$  (que se desea que la instalación pueda funcionar en forma autónoma sin necesidad de que exista irradiación solar).
- Profundidad de descarga máxima permisible ( $PD$ ) y la eficiencia ( $E_{bat}$ ) para el modelo de batería seleccionado).

- Tensión de trabajo ( $V_n$ ) de la instalación.

Entonces, la capacidad nominal de las baterías  $C_{nom}$  se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$C_{nom} = E_{dia(mes)} \cdot N_{d.aut} / (V_n \cdot PD \cdot E_{bat}) \quad 1$$

En el caso de que la tensión de la batería sea menor que la nominal del sistema se deberá de colocar el número de baterías en serie siguiente:

$$N_{bs} = V_n / V_{nbat} \quad 2$$

## RESULTADOS

Para llevar a cabo el dimensionado del sistema de almacenamiento del vehículo solar fue necesario considerar, en primera instancia, un motor de la marca Csiro de magneto permanente, el cual es el más utilizado en esta competencia y tiene un consumo nominal de 1800 W, así como los diferentes componentes que consumen energía durante la competencia. En la Tabla 3.1 se muestran las cargas del vehículo y el tiempo estimado de su uso durante la competencia.

Tabla 4. Consumo de energía del vehículo solar

Tipo de Carga	Núm de unidades (N)	Potencia P (W)	Horas de funcionamiento diario t (Hr)	Energía N.P.t (Wh)
Motor eléctrico	1	1800	13	23400
Seguidor solar	2	4.22	13	109.72
Bocina de ayuda	1	36	0.5	18
Luces	5	12	6	360
Energía total del sistema				23887.72

Una vez obtenido el consumo total de energía, fue necesario tener en cuenta el sistema encargado de captar la energía

(paneles Solares). Para la selección de estos paneles fotovoltaicos, fue necesario investigar las diferentes fichas técnicas de los fabricantes, basándose en la lista proporcionada por el manual de reglas del “American Solar Challenge 2013”. La selección que se llevó a cabo dio como resultado el panel Sunivia. De este panel el cual cuenta con 60 celdas por panel, y cada celda mide  $.028 m^2$ . Basándose una vez más en el manual de reglas del American Solar Challenge, el cual indica que el área que puede cubrirse por paneles solares asciende a los  $6 m^2$ , da como resultado 275 celdas que se pueden acomodar en esa área. Dado que es imposible conectar las 275 celdas, es necesario disminuir hasta llegar a un número natural, por lo que se ajustó el número a 270 celdas, las que en total recolectaron una potencia de 1224 Wh trabajando al 20% de su capacidad. Una vez contando con los datos anteriores del sistema, fue necesario conocer algunas constantes para las baterías de Plomo - Acido, las cuales serían las utilizadas en este proyecto. Para la profundidad de descarga ( $Pd_{max}$ ) se utilizaría 0.8, mientras que para la profundidad de descarga diaria se utilizaría el valor de 0.2 [11]. Otro factor que tendría que tomarse en cuenta sería la tensión de trabajo con la que el sistema iba a trabajar (V), ya que el motor Csiro trabaja con 24 volts, y por lo tanto se decidió como voltaje nominal del sistema. De la misma manera, otro valor requerido fue el de “Días de Autonomía del Sistema”, dado que el sistema que se está evaluando, trabajará solamente por 13 horas, y estará en constante carga con las celdas solares, se hace una aproximación por 15 horas que equivale a .625 días. Asimismo, del manual del American Solar Challenge (ASC), se tiene otra restricción acerca de las baterías

de plomo-Acido, donde indica que el vehículo no puede exceder 110 kg de baterías de esta tecnología, por lo que fue necesario recurrir a la lista del fabricante de baterías Trojan, las cuales se seleccionaron por ser una marca comercial y de fácil adquisición. La batería seleccionada fue la batería marca Trojan J185P-AC, dado que tiene una capacidad de 205 Ah en un tiempo de 20 horas. Para obtener la capacidad del sistema de almacenamiento se utilizan las ecuaciones 2.1 y 2.2. La forma como se distribuye la energía producida a lo largo del día por lo que fue necesario extraer un modelo del comportamiento del panel solar, en el lugar donde se lleva a cabo la carrera, en este caso Austin, Tx. Así también fue necesario sacar el mes, en el que se lleva a cabo la carrera (Junio). Información obtenida de la página de la NASA. Lo que arrojó como resultado lo cual es mostrado en la Tabla 5.

Una vez obtenido el porcentaje que corresponde a cada hora del día, fue necesario calcular la potencia en W, producida por el arreglo fotovoltaico cada hora como se muestra en la Tabla 6.

Una vez obtenida la potencia producida en cada hora por los paneles en el vehículo, se obtiene un modelo donde se muestran las potencias que actúan en el vehículo a lo largo de la competencia, para lo cual es utilizada la expresión

$$P_{operación(t-1)} + P_{carga.t} - P_{descarga.t} = P_{operación.t}$$

dónde:

Tabla 5. Porcentaje de la energía producida en el día

Hora	Porcentaje de energía en el día
0	0%
1	0%
2	0%
3	0%
4	0%
5	0%
6	0%
7	1%
8	2%
9	6%
10	10%
11	9%
12	10%
13	11%
14	9%
15	13%
16	10%
17	6%
18	7%
19	5%
20	1%
21	0%
22	0%
23	0%
24	0%

$P_{operación(t-1)}$  Es la potencia operación del periodo anterior ( $t-1$ ) en Wh

$P_{carga.t}$  Es la potencia suministrada por los paneles solares en el periodo  $t$ , en Wh.

$P_{descarga.t}$  Es la potencia que se consume en el periodo  $t$ , en Wh.

$P_{operación.t}$  Es la potencia que resulta en el periodo  $t$ , en Wh.

En la Tabla 7 se muestran los valores de la potencia en operación en el vehículo

solar, tomando en cuenta los periodos de carga y descarga de las baterías.

Tabla 6. Energía producida por los paneles fotovoltaicos.

Hora	Energía (Wh)
7	78.82
8	157.65
9	472.95
10	788.25
11	709.43
12	788.25
13	867.08
14	709.43
15	1024.73
16	788.25
17	472.95
18	551.77
19	394.13
20	78.826

Es importante mencionar que los paneles solares con la radiación que se utilizó, se calcularon a una eficiencia del 26%, que es la existente en ese mes (Junio), en el sitio de la competencia. Otro factor que hasta el momento no se había tomado en cuenta, es el seguidor solar, el cual proporciona cerca de un 35% más de eficiencia, lo que eleva las prestaciones del vehículo considerablemente. A continuación en la Tabla 3.5, se muestra un cálculo, considerando el 35% de aumento en la eficiencia de los paneles solares.

## CONCLUSIONES

De la anterior investigación, se desprenden una serie de conclusiones no solo para entender el contenido, sino también para observar el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del

proyecto, así como en el desarrollo del mismo.

Tabla 7. Comportamiento de la potencia en el Vehículo Solar

Hora	$P_{operación(t-1)}$	$P_{carga.t}$	$P_{descarga.t}$	$P_{operación.t}$
6-7	9840	78.82	1375	8543.82
7-8	8543.82	157.65	1375	7326.47
8-9	7326.47	472.95	1375	6424.42
9-10	6424.42	788.25	1375	5837.67
10-11	5837.67	709.43	1375	5172.1
11-12	5171.1	788.25	1375	4584.35
12-13	4585.35	867.08	1375	4077.43
13-14	4077.43	709.43	1375	3411.86
14-15	3411.86	1024.73	1375	3061.59
15-16	3061.59	788.25	1375	2474.84
16-17	2474.84	472.95	1375	1572.79
17-18	1572.79	551.77	1375	749.56
18-19	749.56	394.125	1375	-231.315
19-20		78.82	1375	-1296.18

Se puede concluir que el método Analítico-Jerárquico es apropiado para la selección óptima del sistema de almacenamiento. Como objetivo general de mostrar el método analítico – jerárquico para la selección óptima de un acumulador para el almacenamiento de energía eléctrica, a ser utilizado en un vehículo solar.

Tabla 8. Comportamiento de la potencia en el Vehículo Solar utilizando un seguidor solar

Hora	$P_{operación(t-1)}$	$P_{carga.t}$	$P_{descarga.t}$	$P_{operación.t}$
6-7	9840	78.82	1375	8543.82
7-8	8543.82	157.65	1375	7326.47
8-9	7326.47	472.95	1375	6424.42
9-10	6424.42	788.25	1375	5837.67
10-11	5837.67	709.43	1375	5172.1
11-12	5171.1	788.25	1375	4584.35
12-13	4585.35	867.08	1375	4077.43
13-14	4077.43	709.43	1375	3411.86
14-15	3411.86	1024.73	1375	3061.59
15-16	3061.59	788.25	1375	2474.84
16-17	2474.84	472.95	1375	1572.79
17-18	1572.79	551.77	1375	749.56
18-19	749.56	394.125	1375	-231.315
19-20		78.82	1375	-1296.18

El método arrojó como resultado la tecnología de Plomo- Acido, ya que se encontró como la opción que cumple con los atributos deseados. Del objetivo planteado anteriormente, se obtienen resultados donde se investigan diferentes opciones de almacenamiento de energía eléctrica con las que cuenta el entorno automotriz y eléctrico, acción que se realizó. Para terminar, se procedió al dimensionado del sistema de almacenamiento de acuerdo con el acumulador obtenido por medio del software “Expert Choice” y teniendo en cuenta el arreglo solar fotovoltaico obtenido

anteriormente. Fue necesario, para cumplir con los requerimientos de la competencia, utilizar un seguidor solar, para aumentar la eficiencia del arreglo solar fotovoltaico.

## REFERENCIAS

- Doldan, F. (1994). Metodos de decisión basados en criterios cualitativos: Una comparación entre los métodos A.H.P y R.E.M.B.R.A.N.D.T. Universidad de La Coruña. pp.1289- 1297.
- Ibrahim H, Ilinca A, Perron J. (2008). *Energy storage systems characteristics and comparisons*. Renewable Sustainable Energy Rev. 12(5):1221–50.
- Jalakas, T. Roasto, I. (2012) *Analysis of Battery Charger Topologies for an Electric Vehicle*. 13th Biennial Baltic Electronics Conference. 216pp.
- Kee, W. (1992). *Conservation and Fusion as Solutions for the Greenhouse or Global Warming Effect*. International Institute for Energy and Environment. 93 pp.
- Lynch, W. (2006). *Electrical Component Model for a Nickel-Cadmium Electric Vehicle Traction Battery*. IEEE. pp. 1- 5.
- Lynch, W. Salameh, Z. (1997). *Realistic Electric Vehicle Battery Evaluation*. Department of Electrical Engineering. pp. 407- 412.
- Moon, J.S. Lee, J.H. (2011). In-Yong Ha; Taeck-Kie Lee; Chung-Yuen Won, *An efficient battery charging algorithm based on state-of-charge estimation for electric vehicle*. Electrical Machines and Systems (ICEMS), International Conference pp.1,6, 20-23 Aug. 2011.
- Neubauer, J. Brooker, A. Wood, E (2012). *Sensitivity of battery electric vehicle economics to drive patterns, vehicle range, and charge strategies*. Journal of Power Sources, 209(1): 269-277.
- Pastre, M. Krummenacher, F. Kazanc, O. Pour, N.K. Pace, C. Rigert, S. Kayal, M. (2011) *A solar battery charger with maximum power point tracking*. Electronics, Circuits and Systems (ICECS), 2011 18th IEEE International Conference on. pp.394-397.
- Price, B. Dietz, E. Richardson, J. (2012). *Life Cycle Costs of Electric and Hybrid Electric Vehicle Batteries and End-of-Life Uses*.

Electro/Information Technology (EIT), IEEE International Conference on, pp.1,7, 6-8 May 2012.

Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill. International.

Sawan, D. Dickinson, B. (1995) Construction and performance of a high voltage zinc bromine battery in an electric vehicle. University of California. 1995. pp. 135-140.

Sen, C. Narayan, C. (2009). *Analysis of the Battery Performance in Hybrid Electric Vehicle for Different Traction Motors*. IEEE. 6 pp.th.

Zanazzi, J. (2003) Anomalías y supervivencia en el método de toma de decisiones de Saaty. Universitas. pp. 148-170.

---

---

## Dispositivo con autoposicionamiento a los rayos solares en un vehiculo

Raúl Ñeco Caberta, Carlos Ponce Corral, Carlos Felipe Ramírez Espinoza, Cesar Leonardo González Pinzón, Rene Alberto Valenzuela Nájera, Jesús Rodarte Dávila, David Atayde Campos, Jaime Romero Gonzalez, Luis Gonzalo Guillen Anaya

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

En el presente trabajo se aborda un tema muy actual: el problema energético que se sufre en todo el mundo. Una contribución a solucionar la necesidad de energía renovable y de generación limpia se presenta en este trabajo, desarrollando el diseño de un seguidor solar de auto-posicionamiento mostrando el diseño en dos fases de manera detallada: el sistema electrónico y el sistema mecánico. En el diseño del sistema electrónico se utilizó el software *LIVEWIRE* versión 1.11, que permite hacer simulaciones virtuales teniendo la oportunidad de visualizar que ocurre con el desempeño del circuito cuando se realiza alguna modificación, también se muestra la selección de sensores el diseño del circuito electrónico que servirá como control y su simulación en el software *LIVEWIRE*. Dentro de esta misma fase se lleva a cabo la selección de los actuadores del sistema de seguidor. El diseño del sistema mecánico así como el diseño de toda la estructura, se llevó a cabo utilizando el software de *CAD SOLIDWORKS 2012* a partir de un bosquejo que surgió de una lluvia de ideas y un análisis de factibilidad basado en las características de requerimientos, posteriormente se desarrolla una integración de los modelos realizados en el software y se procede a efectuar la simulación del sistema mecánico, por último se realiza el ensamble de las estructuras del seguidor solar tomando en cuenta los resultados obtenidos en pruebas y el estudio de movimiento del seguidor solar que genero la simulación.

**Palabras clave:** Seguidor Solar, Auto-posicionamiento, Vehiculo.

### INTRODUCCIÓN

El mayor problema que se está presentando a nivel mundial, es la gran contaminación que se ha ido incrementado década con década, pero no solamente el nivel de contaminación fue incrementando, otro punto que se ha agravado fue la temperatura de la tierra que está subiendo, esto provocando que los polos se estén derritiendo y provoca que sucedan fenómenos naturales como: tsunamis de grandes magnitudes, grandes tormentas de lluvia e intensas nevadas. Estas causas abren una necesidad que lleva investigar sobre posibles fuentes de energía renovables como

la energía eólica, hidroeléctrica, energía solar o los biocombustibles.

La rama de las energías renovables que están teniendo más auge, es la energía solar, la cual ya se está implementando en viviendas sobre todo en áreas rurales, en donde lo están aprovechando al máximo teniendo grandes cantidades de paneles solares para alimentar de energía lo hogar y tener de reserva para la noche. Esto se realiza por medio de baterías donde esta energía se almacena, y al momento de usar algún electrodoméstico, la energía que sale de las baterías es convertido de corriente directa a corriente alterna (CD – CA), para

el uso adecuado de los artículos en el hogar, así como los focos, que a su vez, la tecnología también ha evolucionado haciendo que los focos sean de LED (Diodos Emisores de Luz, por sus siglas en inglés), con consumos de hasta una quinta parte de los focos ahorradores lo que requiere un bajo consumo de la energía almacenada en las baterías.

Pero no simplemente es de instalarse el panel solar, el seguidor solar es un sistema tecnológico, cuya función es posicionar el panel solar en posición perpendicular al rayo del sol, para que el panel solar tenga la mejor producción de energía aprovechando el sol, desde que sale hasta que se oculta. Esta tecnología se observó, en un sistema natural ya existente y que todos lo hemos observado, la idea del seguidor solar proviene de la planta *helianthus annuus*, comúnmente llamado Girasol, esta planta, gira sus hojas y su centro hacia la posición del sol, y conforme van pasando las horas donde el sol ya tiene diferente posición, esta planta lo va

siguiendo para aprovechar al máximo toda su fotosíntesis. La posición óptima para las celdas fotovoltaicas es que tienen que estar perpendicular al sol, para que los fotones provenientes del sol golpeen con gran fuerza a los electrones y estos sean separados de los átomos.

Para entender un poco como operan los diferentes tipos de seguidores solares, tenemos que entender como es el movimiento del sol con forme a nuestro planeta (Fig. 1). La Tierra realiza dos movimientos que inciden en la posición relativa de un punto en su superficie con respecto al Sol, el movimiento que más afecta esta posición es el de rotación, movimiento que realiza la Tierra sobre su propio eje con una duración de 24 horas 0 minutos y 57.33 segundos, que se ha sintetizado a 24 horas, con la compensación del año bisiesto. Así se da lugar al día y la noche ya que durante el giro la mitad de la Tierra está iluminada y la otra mitad en penumbra.

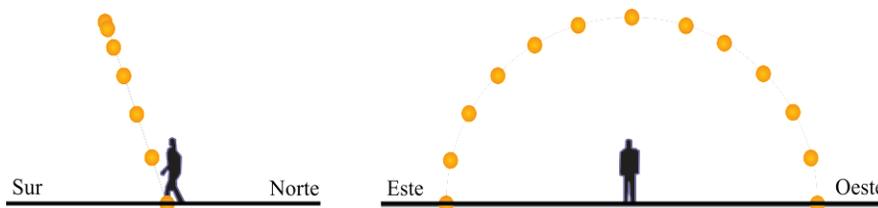


Fig. 1. Trayectoria del Sol

El intervalo de tiempo del día y la noche depende de la ubicación geográfica del punto considerado, solo en la línea del Ecuador los días y las noches duran 12 horas durante todo el año. El movimiento de rotación, genera que el Sol dibuje una

trayectoria circular en el espacio en el periodo que dura el día. El segundo movimiento que realiza la Tierra es el de traslación que se refiere al movimiento que realiza la Tierra alrededor del Sol. El movimiento de traslación tarda en realizarse

365.2422 días, que para efectos prácticos se toma de 365 y cada cuatro años (año bisiesto) se toma de 366 días. Durante el recorrido la Tierra presenta una trayectoria

elíptica alrededor del Sol. La trayectoria elíptica de la Tierra alrededor del Sol tiene un ángulo con respecto a la horizontal del Ecuador solar de  $23.45^\circ$  (Fig. 2).

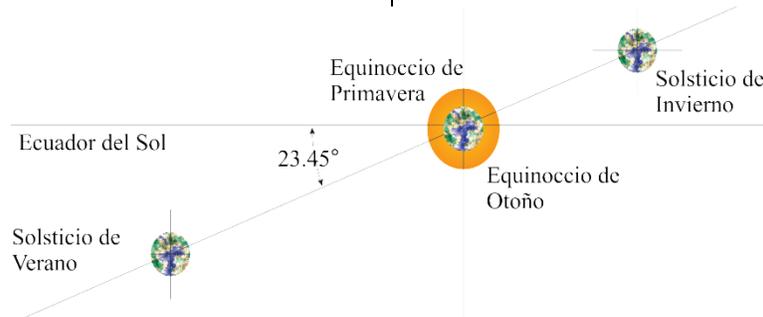


Fig. 2. Movimiento de Traslación de la Tierra.

El movimiento de traslación de la Tierra genera que la trayectoria aparente del Sol, ocasionada por el movimiento de rotación, presente una variación a lo largo del año, la trayectoria aparente del Sol a lo largo del día varía entonces en su

declinación con respecto al observador, esta variación en la declinación incide en la duración del día y la noche (Fig. 3). El Sol en su trayectoria pasa siempre por un punto central orientado hacia el sur a las 12 horas del día Solar.

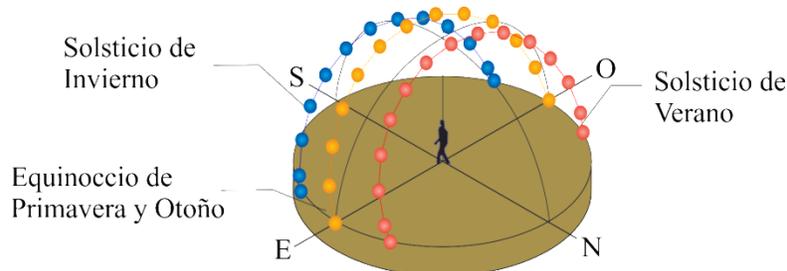


Fig. 3. Variación de Inclinación por la Traslación.

En los sistemas solares para la captación de la energía utilizan celdas fotovoltaicas en las cuales para tener una óptima eficiencia depende de los factores del ángulo, ya que las celdas fotovoltaicas tienen que estar siempre en perpendicular al rayo del sol. La Tierra va cambiando su ángulo de rotación durante los cambios de estación durante todo el año por lo tanto no siempre los rayos solares caen con el mismo ángulo y por supuesto no se tiene pensado

que el vehículo siempre va a ir en la misma dirección que el traslado del sol. Para ello se tiene que diseñar un soporte que tenga la capacidad de auto-posicionarse al Sol independientemente de la orientación del vehículo durante su trayecto. Surgiendo la problemática a resolver ¿cómo proponer un dispositivo de control con auto posicionamiento de un panel solar a los rayos solares con aplicación en los vehículos?

## SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema electrónico se encargara de enviar las señales correctas para que los actuadores realicen su función de mover el panel solar a la posición deseada.

Se analizaron alternativas para decidir el medio de obtener la intensidad de los rayos del sol que inciden en la superficie de la celda solar, durante la investigación se observó que gran parte de los seguidores solares utiliza sensores de luz, que son los que detectan diferencias de intensidades de luz provenientes de cualquier fuente.

### *Elección del Sensor*

Los sensores fotoeléctricos (también llamados ópticos) son dispositivos electrónicos que responden al cambio de la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz y un componente receptor que “ve” la luz generada por el emisor. Están diseñados especialmente para la detección, ausencia, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie incluso bajo condiciones ambientales extremas. Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida.

El sensor de luz más común es el LDR (Light Dependant Resistor o Resistor dependiente de la luz) (Fig. 4). Un LDR es básicamente un resistor que cambia su resistencia cuando cambia la intensidad de la

luz. También se le llama fotorresistencia. Cuando hay luz incidiendosobre el, su resistencia es tan baja como de  $50\Omega$  y muy alto cuando está a oscuras con un alcance de hasta varios Mega ohms.

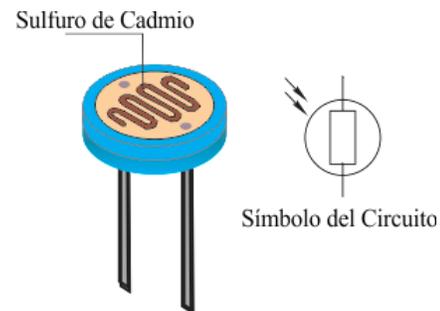


Fig. 4. Sensor LDR

Desde el punto de vista constructivo, las LDR están fabricadas con materiales de estructura cristalina, siendo los más utilizados el sulfuro de cadmio y el seleniuro de cadmio, aprovechando sus propiedades fotoconductoras. Una cuestión a tener en cuenta cuando diseñamos circuitos que usan LDR (Fig. 5) es que su valor (en Ohmios) no variara de forma instantánea cuando se pase de estar expuesta a la luz a oscuridad, o viceversa, y el tiempo que se dura este proceso no siempre es igual si se pasa de oscuro a iluminado o si se pasa de iluminado a oscuro. Igualmente, estos tiempos son cortos, generalmente del orden de una décima de segundo.

Esto hace que el LDR no se pueda utilizar en algunas aplicaciones, concretamente en aquellas que necesitan de mucha exactitud en cuanto a tiempo. Pero hay muchas aplicaciones en las que una fotorresistencia es muy útil.



Fig. 5. Muestra real de los fotoresistores.

Los fototransistores (Fig. 6) son los componentes más ampliamente usados como receptores de luz, debido que ofrecen la mejor relación entre la sensibilidad a la luz y la velocidad de respuesta, además responden bien ante luz visible e infrarroja.



Fig. 6. Fototransistor.

Los fototransistores están constituidos de manera muy análoga a los BJT convencionales, si bien no suelen tener conexión exterior a la base. Su funcionamiento se basa en el fotodiodo que existe en la unión colector-base. La configuración más común del fototransistor es la de silicio NPN.

La configuración electrónica es que usualmente el fototransistor se construye mediante el proceso de difusión, con una ventana transparente o una lente en la cubierta. La luz que incide sobre la unión colector-base crea portadores de carga adicionales. El fototransistor se hace funcionar con el emisor tipo n negativo respecto al colector tipo p. Con ello, la unión base-emisor (Fig. 7) queda polarizada

directamente, mientras que la unión colector-base lo está en sentido inverso. Si incide luz sobre la unión colector-base y los fotones tienen energía suficiente para crear portadores de carga libres adicionales, la polarización inversa en la unión hace que los electrones pasen a la zona de colector. De esta forma, dependiendo de dónde llegue el rayo de luz, este es cómo opera, haciendo compuertas dentro de el para dejar pasar la corriente.

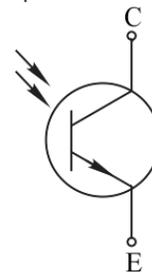


Fig. 7. Símbolo eléctrico de un fototransistor

Algunos sensores fotoeléctricos de pulso modulado responden únicamente a la luz emitida por su propia fuente de luz (Fig. 8). Modular la luz de un LED simplemente significa encenderlo y apagar en alta frecuencia lo que hace no factible utilizar este tipo de sensores, ya que son para uso en cortas distancias.

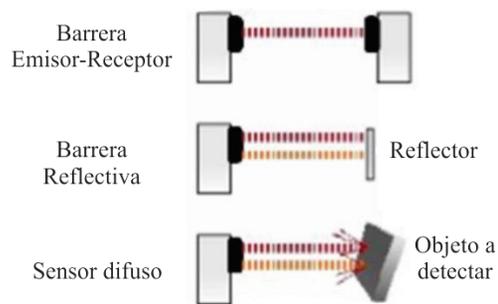


Fig. 8. Función de un Sensor Fotoeléctrico

La mejor selección que podemos realizar es de escoger el fotoresistor, ya que tiene gran amplitud de capacidad de resistencia, cuenta con una sola entrada y salida de energía, a comparación de los fototransistores, ya que ellos dependen de en punto cae el rayo para decidir en qué sentido distribuye la energía.

Como se describe en las características del fotoresistor, una de las desventajas es que no tiene un accionamiento rápido, pero es cuestión de décimas de segundo, pero en nuestro sistema no es tan necesario este tiempo de respuesta, ya que el vehículo cuenta con un almacenamiento para poder soportar un pequeño tiempo en lo que el seguidor solar posiciona el panel en la mejor opción.

### Sistema de Control

Teniendo seleccionado el elemento que detectara el rayo solar, proseguimos a diseñar el circuito electrónico quien será el responsable de mantener en control la posición del panel solar. Realizamos un bosquejo (Fig. 9) a mano sobre el circuito electrónico haciendo primero la idea de cómo sería el sistema electrónico y que componentes podrían utilizarse, para hacerlo lo más fácil en la construcción.

Se describe la forma en que se llevó a cabo la conexión de cada elemento así como su función dentro del sistema electrónico. El sensor se compone de dos LDR (Fig. 10) separadas por un tabique para que cuando reciban la luz del sol, lateralmente haga sombra a una de las LDR y su resistencia, al recibir menos intensidad de luz, se haga mayor que la otra, y pueda activar el movimiento hacía un lado del seguidor solar. Cada LDR está asociada en

serie con una resistencia de 10k, formando un divisor de tensión, de modo que si las dos reciben la misma intensidad de luz los dos puntos medios, tienen la misma tensión. Cuando el LDR de la derecha recibe menos luz, su valor de resistencia aumenta, por tanto la tensión en el punto 2 se hace más grande que la tensión en el punto 1. Cuando las tensiones en 1 y 2 están igualadas (porque ambas LDR reciben la misma luz) la salida de los operacionales es 0v, ya que un operacional en modo comparador amplifica la diferencia de tensiones entre sus dos puertas (+ y -).

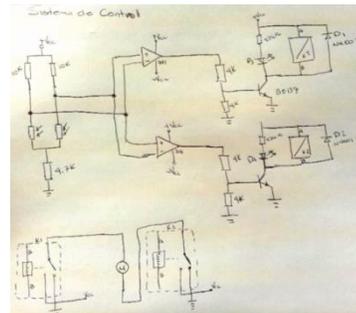


Fig. 9. Diagrama del control electrónico de nuestro seguidor solar

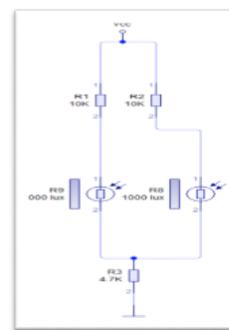


Fig. 10. Conexión entre LDR y Divisor de tensión

Cuando la tensión sea mayor en el punto 2 que el punto 1, el operacional de arriba tiene mayor tensión en la puerta no

inversora (+) que en la puerta inversora (-) y por tanto su salida va a ser +Vcc, y continuara fluyendo la corriente hacia enfrente. El operacional de abajo está conectado al revés, por tanto tendrá más tensión en la puerta no inversora que en la puerta inversora y su salida será -Vcc. Cuando la tensión en A sea mayor que la tensión en B ocurrirá al contrario.

Si se da el caso de que la tensión en el punto 2 sea mayor que la tensión que en el punto 1 (la salida del operacional de arriba será el +Vcc y la del de abajo -Vcc), el transistor de arriba está en saturación y el de abajo en corte, el transistor dejara pasar la corriente hacia el relevador 1 (k1) por tanto este se activara moviendo el motor hacia un sentido. Se contempló introducir unos diodo led (no importa el tipo de color) en cada circuito del relevador, solamente para identificar cual es el que estará activo.

Cuando las tensiones en los puntos 1 y 2 están igualadas, la salida de los operacionales será de cero volts, los transistores están en Corte, o sea, la unión Colector- Emisor no conduce, por lo tanto no abra corriente hacia enfrente.

En caso de que la tensión en el punto 2 sea menor que la tensión en el punto 1, ocurrirá lo contrario, pero el mismo efecto, el transistor de arriba en corte, lo cual no permite el paso de corriente y el de abajo en saturación, por tanto se activará el relevador 2 (k2), haciendo que el motor gire en otro sentido.

La configuración de los estados de los relevadores que son los que activaran al motor en diferentes sentidos será de la siguiente forma. Consiste en un inversor de giro realizado con dos relés de conmutación

simple. Cuando se activa uno de ellos el motor gira en un sentido; cuando se activa el otro, el motor cambia de sentido. Cuando no hay ninguno activo o se activan los dos el motor no se mueve. El sistema de relevadores esta aparte del circuito ya que es eléctricamente independiente al circuito de control, pero físicamente el relevador es un bloque con cinco terminales, dos para la bobina (que está en el circuito de control k1 y k2) y tres para los contactos que están conectados al motor eléctrico que lo hará girar en diferentes sentidos, dependiendo de cómo lo solicite el sistema de control.

#### *Simulación del circuito de control*

Después de haber diseñado en bosquejo el sistema de control que será responsable de poner en movimiento el seguidor solar, proseguimos con la simulación de nuestro circuito eléctrico con la ayuda del programa "LiveWire".

Introduciendo nuestros elementos que tenemos diseñado en el bosquejo, quedaría de la siguiente forma (Fig. 11).

Con la ayuda del programa, se realizara la simulación del movimiento giratorio del motor, así como también los diferentes puntos de teoría que se describieron anteriormente, con la ayuda de simuladores de equipo de medición, que mostraron los resultados de cuando voltaje está pasando y que corriente genera el circuito de control. También teniendo la posibilidad de detectar ciertas fallas o cortos circuitos que tuviera el sistema electrónico.

Como se explicó anteriormente, lo primero que se realizo es tomar los componentes en el programa y colocarlo en el cuadro de interface. Se selecciona los

LDR y las resistencias para hacer el divisor de tensión entre ellos.

El siguiente paso, es realizar la conexión del LDR, junto con las resistencias que harán el divisor de tensión, el valor en las dos resistencias del divisor de corriente

deberá ser del mismo valor para que emitan el mismo voltaje cuando se encuentre una diferencia, en este caso se seleccionaron dos resistores de 10 kΩ; se realiza también la conexión de la fuente de energía externa y conexión a tierra (Fig. 12). Quedando de la siguiente forma.

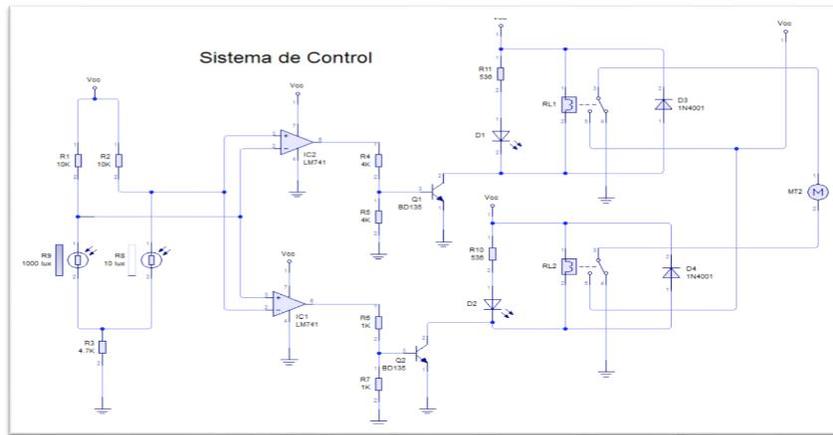


Fig. 11. Circuito Eléctrico en LiveWire.

Teniendo enlazados los LDR con los divisores, se seleccionó de la galería de elementos lo que sería los operadores de amplificación, que son los que van a recibir las diferentes tensiones que darán los LDR. El modelo que se manejó será el LM741 (Fig. 13), el cual lo fue seleccionado del sub-menú que tiene cada componente.

Se realiza la conexión según lo diseñado en el bosquejo, formando los puntos 1 y 2, diferenciando las tensiones entre cada LDR (Fig. 14).

Teniendo listo el amplificador conectado, según el diseño se procede a conectar el transistor que será quien deje pasar la corriente al relevador que se tendrá que activar (Fig. 15). Haciéndolo de la siguiente forma.

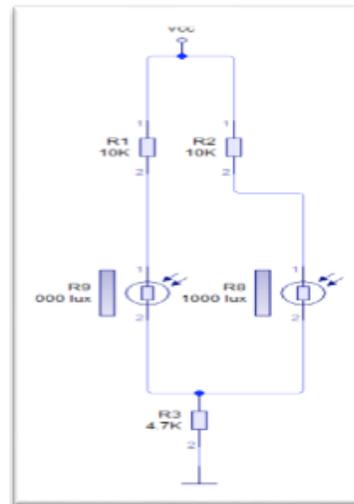


Fig. 12. Conexión entre LDR y Divisor de tensión

Los tipos de transistores que se están utilizando son NPN de modelo BD135, ya que este tipo de transistores es de estado sólido y consiste en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales.

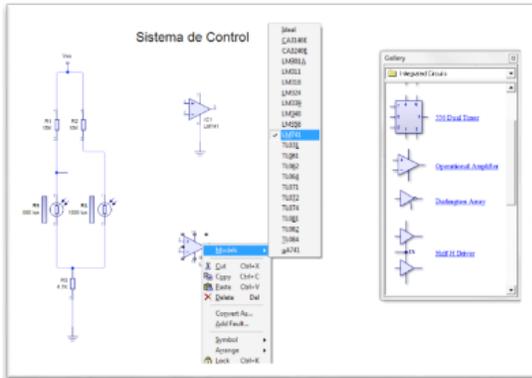


Fig. 13. Operador Amplificador con su submenú.

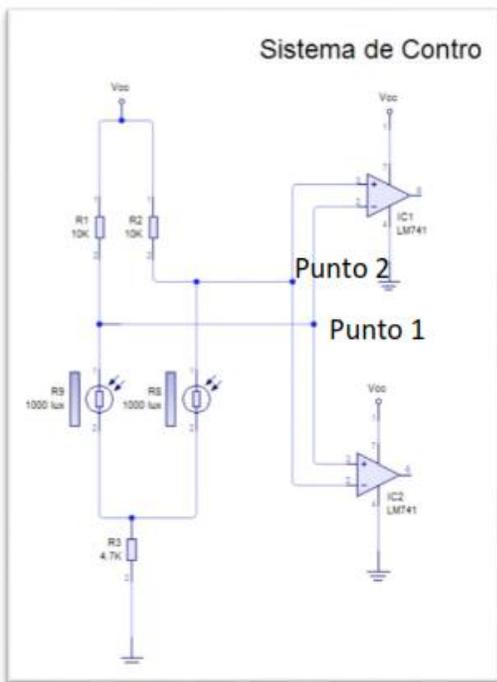


Fig. 14. Divisor de tension.

Se conecta una resistencia antes del transistor para controlar la señal enviada por el operador y se instala una tierra, para que la corriente se desviara hacia la tierra cuando el transistor no esté operando. Los dos transistores se conectan de la misma forma ya que realizaran el mismo trabajo en los relevadores.

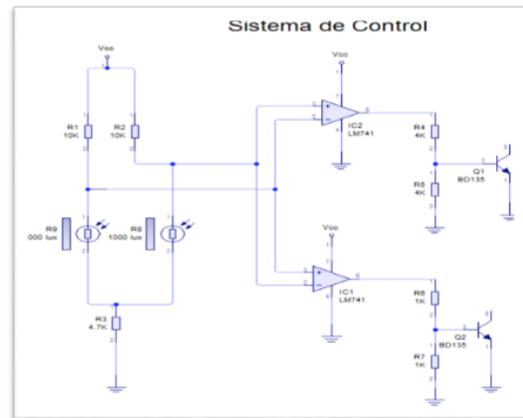


Fig. 15. Conexión de transistores en nuestro sistema de control

En la siguiente etapa se conecta el sistema de control que tendrá los relevadores activándolos o no, utilizando un diodo led sin importar el tipo de color; se utilizara solamente para identificar de forma visual cual es el relevador que va a estar activado y estará haciendo su función (figura 16.); al final del circuito se conecta un diodo ya que es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad.

Instalando este diodo de modelo 1N4001, se proporciona seguridad al relevador para que no vaya a recibir una

polaridad incorrecta o se active por una desviación de corriente

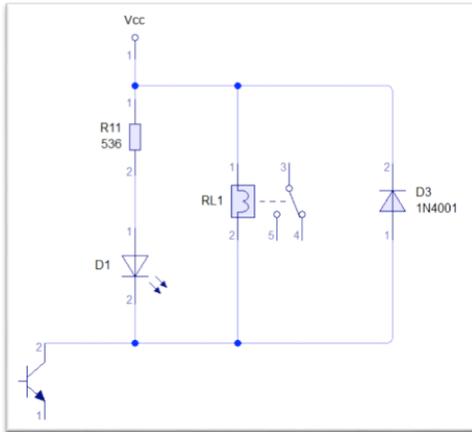


Fig. 16. Configuración de control de relevadores

El tipo de relevador que se utiliza es un relevador con bobina de corriente directa e interruptores de corriente directa de 12V. Se requiere que sea de esta forma ya que la bobina se excitara con corriente proveniente de las baterías y estas almacenan energía de corriente directa, y el interruptor tiene que ser también de corriente directa ya que el motor que se encargara de mover el seguidor solar será de corriente directa. Se selecciona de esta forma para evitarnos problemas de instalar un motor de corriente alterna y tener que realizar otro circuito para convertir la corriente de directa a alterna.

Se le instalo una fuente externa, que será la misma que energice todo el sistema de control (Fig. 17.), para que la bobina tome la energía directa de ese punto, haciendo un nodo junto con el LED, para indicar cuál es el que esta encendido.

Se instala una resistencia para no dañar el LED, ya que estos trabajan con cierta cantidad de corriente (Fig. 18.), si este

excede el led se daña dándonos cuenta cuando ya no encienda su luz que emite.

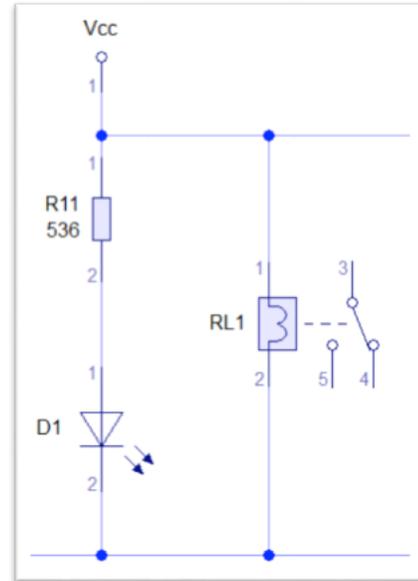


Fig. 17. Punto de conexión de energía del relevador.

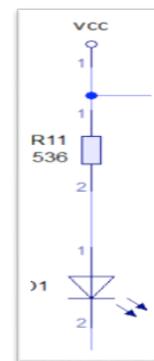


Fig. 18 Configuración de la resistencia con el LED.

De esta forma se quedaría el sistema de control que estará operando el seguidor solar (Fig. 19), recordemos que el sistema de relevadores con el motor que se encargara de posicionar el seguidor solar es otro circuitos

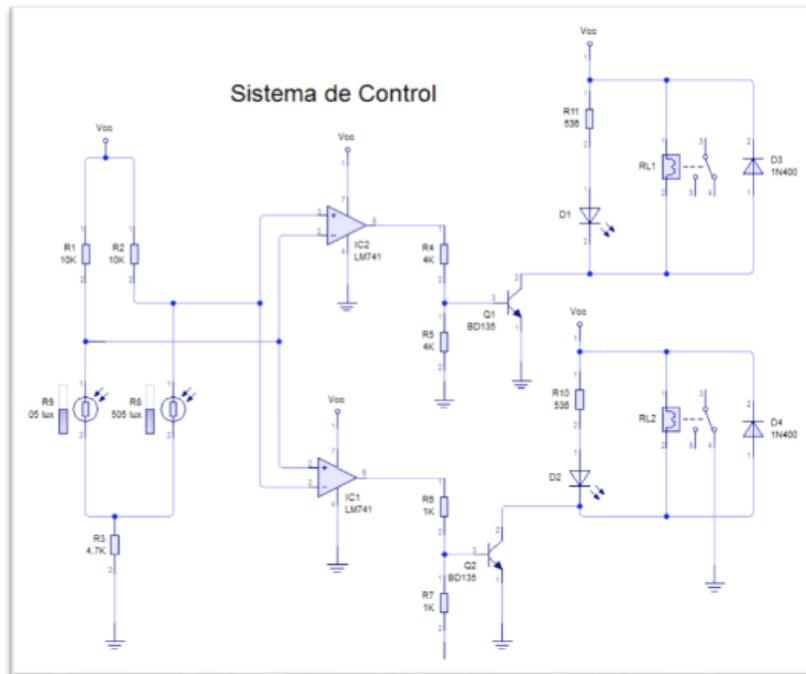


Fig. 19. Sistema de control terminado.

*Configuración de relevadores con el motor eléctrico*

Como ya se había explicado anteriormente, la configuración de conexión entre el sistema de control con el motor eléctrico que moverá el seguidor solar es independiente. Es muy sencilla su configuración, pero se decidió hacerlo en otra sección para no generar confusiones entre los lectores. Con las ilustraciones pasadas vimos cómo se conectara el sistema con las bobinas de los relevadores, en esta sección se explicará cómo se conectarán los interruptores con el motor que se encargará de girar hacia un lado u otro para posicionar el seguidor solar. La Fig. 20 muestra el circuito implementado.

Como se sabe el relevador cuenta con cinco terminales. Las terminales 1 y 2 son de la bobina, que esos están conectados

con el sistema de control como se ha ido viendo anteriormente, quedando libres 3 terminales.

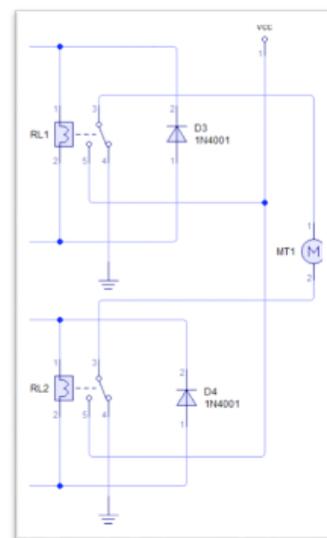


Fig. 20. Configuración de simulación de relevadores con el motor.

La terminal 3 es el punto común entre la terminal 4 y 5, por lo tanto en esa terminal se conecta un extremo del motor y en el otro relevador igual de la misma forma se toma la terminal 3 y se conecta en el otro extremo del motor (Fig. 21).

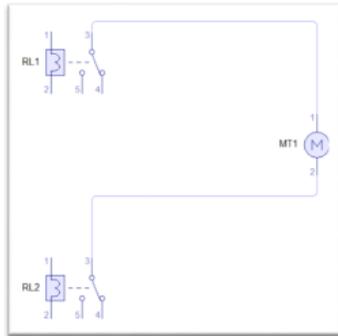


Fig. 21. Conexión de terminal 3 con el motor.

Más adelante cuando se tenga que conectar las demás terminales se describirá porque lo se conectó de esa manera. A continuación usaremos la terminal 4, en ella se instalará una tierra. En cada uno de los relevadores, como se sabe la tierra es común para todos, solamente para hacerlo más estético en la simulación se instalará un punto de tierra en cada relevador, como se demuestra en la Fig. 22.

Lo que se está realizando en la conexión, es de que el punto 3 y 4 siempre están normalmente cerrados, que significa esto, que su estado original, estas terminales siempre están conectadas, siempre y cuando la bobina no se encuentre excitada. Haciendo que no circule ninguna corriente hacia el motor, manteniéndolo apagado

A continuación en la terminal 5, la última que queda, se conecta la fuente de voltaje que energizara el motor, esta energía es directamente de la fuente de poder o de

almacenamiento, en este caso son las baterías, la energía no proviene del sistema de control, es por eso que son independientes los circuitos (Fig. 23)

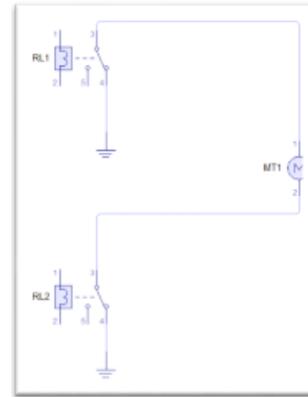


Fig. 22. Configuración de la tierra con los relevadores

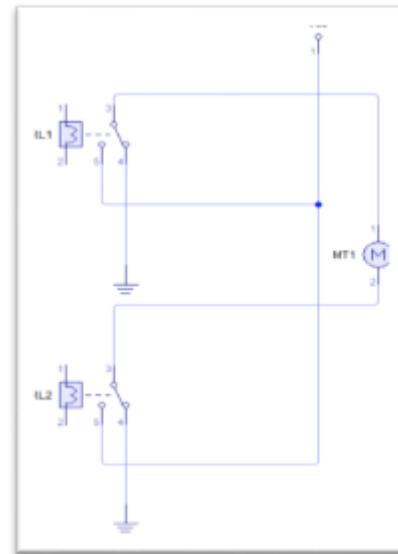


Fig. 23. Configuración final de relevadores con el motor.

La explicación de este circuito es, cuando los fotoresistores estén con la misma intensidad de luz o las resistencias sean iguales, el divisor de tensor estará igual por lo tanto no abra paso de corriente hacia una

de las bobinas, la corriente se desviara a algún punto de tierra más cercano. Cuando unos de los fotoresistores cambie, en donde su luz sea menor que la otra, este activara el relevador haciendo que mueva su contacto hacia la terminal 5, permitiendo que fluya la corriente en sentido favor al motor, activando a este; por lo tanto el otro relevador estará apagado y la corriente saldrá por su tierra ubicada en la terminal 4, haciendo que el motor tenga un solo sentido. Lo mismo sucederá cuando el otro fotoresistor cambie su luz, activando el otro relevador permitiendo que el motor gire en sentido contrario cambiando su polaridad, estando el otro relevador apagado.

De esta forma, uniendo el sistema de control con el sistema de activación de motor, el circuito eléctrico simulado queda como se demuestra en la Fig. 24.

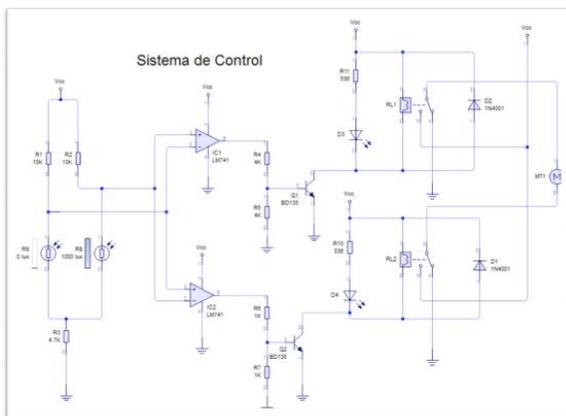


Fig. 24. Sistema de control final.

## SISTEMA MECÁNICO

Como se explicó al inicio de este capítulo, el programa que utilizado para la simulación es el software “SolidWorks versión 2012”. Se utiliza por su gran capacidad para simular y detectar problemas, así como la ayuda para aplicar

movimiento y verificar que él seguidor solar tenga la capacidad para realizar ese trabajo. Esta parte se presenta de igual manera como se realizó en el sistema de control, presentado paso a paso el desarrollo desde cómo se llevó a cabo el bosquejo hasta la simulación del sistema integrado.

### Diseño del sistema mecánico

Todo diseño empieza con una idea, y esta idea se plasma en una hoja de papel junto con un lápiz, viene de una idea vaga que se tiene en la mente, a esto se le llama bosquejo.

Teniendo en mente que el panel tiene que girar horizontalmente o verticalmente, se tiene la idea de diseñar una estructura capaz de girar 360° libres de forma horizontal, esto para que el panel tenga la capacidad de captar rápidamente la posición del sol, por si los LDR quedan en una posición más lejos, y tomen un camino más corto que antes de recorrer toda la trayectoria que habían realizado anteriormente. Otro de los puntos de movimientos es el vertical, pero a este solo se le aplica un cierto ángulo de posición ya que la idea vaga que se tiene de la estructura, este podría chocar con la torre que sostiene a todo el panel solar.

Primero se desarrolla la idea de la estructura que sostendrá el panel solar, para iniciar de ahí el diseño de todo el seguidor solar, por lo tanto se realiza un rectángulo de 56”x35”x2” con 2” menos de diferencia que el panel solar, esto para tener en equilibrio la mayor parte del panel solar, junto con el diseño de una plataforma en “X” para distribuir el esfuerzo hacia el punto central de la estructura y con una anchura de la

estructura de 2" para hacerlo más resistentes.

A la estructura, le ideó un corte de forma horizontal y en circunferencia formando un arco con un diámetro de 4", para poder instalar un tubular de forma horizontal que será en cargado de sostener la estructura junto con el panel solar dándole más soporte al punto "X" de la estructura.

Al momento de diseñar este tubular se tomó la decisión de que él se encargara de mover en forma vertical la estructura para formar los ángulos haciéndolo posible con un juego de engranaje entre el tubular y el primer motor que se encargara de mover el tubular. El engrane podría ser de 45° sin ninguna especificación de paso diametral ya que solo se usara para transmitir el movimiento del motor hacia el mecanismo, esto dando también parte de seguridad de que este no llegue a pasarse y pueda colapsar con el seguidor solar.

Para poder hacer que el tubular horizontal tenga movimiento, se le diseñó un corte al tubular vertical formando un arco de 4" de diámetro formando así una especie de "cuna", esto para que se sostenga el tubular horizontal, incluyendo un sistema de balero recto para facilitar el movimiento y una sujeción de arco para enganchar el tubular y tenga seguridad, una especie de chumacera. Al mismo tiempo este tubular tendrá la capacidad de girar en sentido horizontal para poder hacer que el panel gire en otro plano en el tubular será acoplado un engrane que será el que reciba la transferencia de movimiento del motor.

Para reducir el esfuerzo entre el peso y el movimiento, se optó por instalar un juego de baleros de rodamiento rígidos,

donde cuenta con una pared que es el que gira y otra pared se mantiene estático. Para poder realizar esto, se creó una base cilíndrica, con un diámetro de 6.5" x 1.5" de altura, esto para ir formando la pista donde correrán los baleros. A esta base cilíndrica se le realiza un corte hacia su interior con un diámetro de 4.4" x 1" esto para realizar un acabado interno y formar la pista de los baleros.

Al haber diseñado la base donde descansara la torre que gira, se inicia el diseño de lo que será la base principal de toda la estructura del seguidor solar. Con esta estructura lo que se quiere lograr es distribuir el peso proveniente de toda la carga entre el panel solar y el movimiento, poderlo distribuirlo hacia el punto de fijación, que podría ser parte del chasis, donde este se fije. Para esto se diseñó una primera base que se encuentra por debajo de la base creada para los baleros, formando un cuadro con medidas de 10"x10"x1" esto para distribuir las fuerzas hacia los costados y en esta base podemos fijar el motor que realiza el movimiento horizontal.

Al tener la primera base, se crea otro tubular, que esta se encargara de sostener todo el peso del seguidor solar, pero entre la primera base y esta torre con un diámetro de 5"x18" de altura y se le realiza un corte interno con un diámetro de 4.5", junto con él se ideó hacer una especie de chaflán esto para distribuir uniformemente hacia la parte inferior hacia la torre.

Teniendo esta idea casi finalizada, se realiza una última base, que será donde se fije la torre de soporte, y será el que se fije en algún punto del vehículo. En el descansara todo el seguidor solar, como se puede observar a continuación en la Fig. 26.

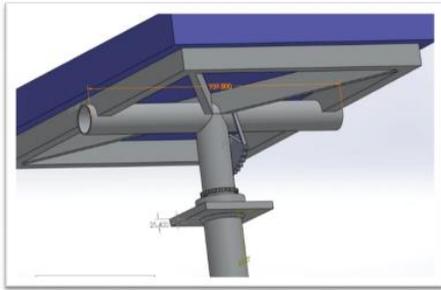


Fig. 26. Ensamblaje en la sección inferior del panel.

*Pruebas y resultados del sistema mecánico*

En esta sección, se presentan las pruebas y validaciones del seguidor solar para verificar si cumple con su propósito de movimiento y seguridad hacia el panel solar, dando movimiento horizontal y vertical a la estructura del seguidor solar y aplicar sobrecargas en la estructura para verificar si cumple o no con la resistencia de cargas y movimiento al mismo tiempo.

Al existir algún problema de diseño se podrán corregir en el documento original

y este se actualizara en el área de ensamblaje volviendo a probar, sin necesidad de borrarlo y ensamblarlo nuevamente.

Teniendo listo el ensamble final, se procede a realizar la simulación. Aplicando fuerzas externas hacia la estructura, y gracias a esta sección del software, verificar con los resultados posibles fracturas, si alguna parte de la estructura llega a colapsar o tener algunos dobles (Fig. 27).

Lo primero que se realizó en esta parte es seleccionar el tipo de material de lo que va a estar hecho la estructura, lo cual se desarrollara con aluminio 1060, ya que es el más común en el mercado y cuenta con la propiedad de que es muy ligero, haciendo más liviana la estructura.

De esta forma se establece en el software que tipo de material será utilizado para construir el seguidor solar, y este dirá si podría existir alguna falla real, ya que aplica las propiedades reales de ese material.

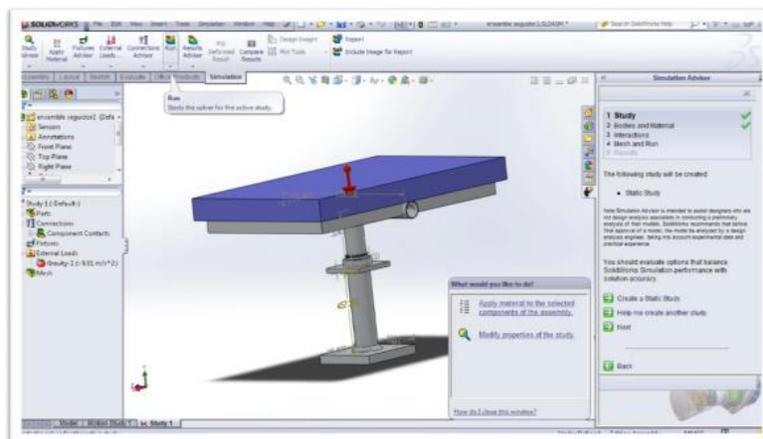


Fig. 27. Ventana de simulación del seguidor solar.

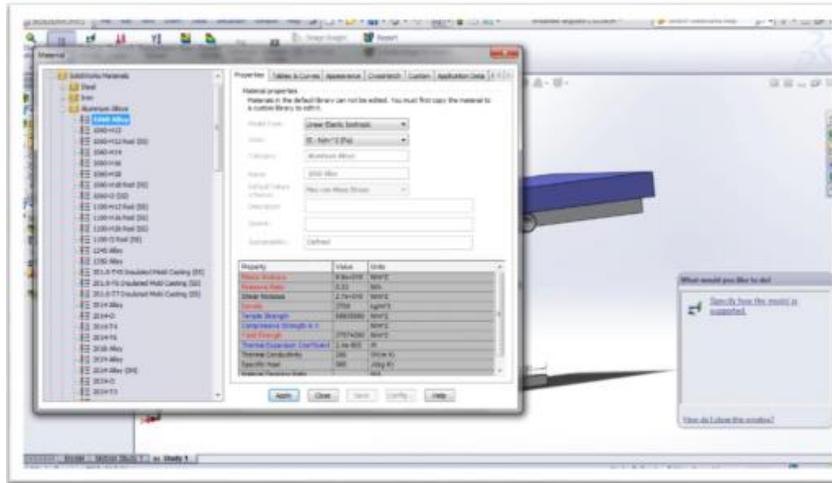


Fig. 28. Aplicación de material a la estructura.

Teniendo listo el material seleccionado (Fig. 28), se procede a elegir cada estructura realizada e iniciar la aplicación de fuerzas externas. Se inicia con la estructura de panel solar, donde se aplicó una fuerza de 150N a la base que sostiene al panel solar, esto simulando la fuerza que se ejerce sobre la estructura, ya que en la estructura su única fuerza que tiene en contra es el peso del panel solar.

Seleccionando la parte donde se ubica el panel solar, se le aplican la fuerza hacia la parte interior del panel ya que en ese sentido es donde ejerce el peso del panel, también seleccionando las partes o secciones en las que se requiere realizar el estudio, en este caso es toda la parte de la base de la estructura, quedando de la siguiente forma (Fig. 29).

Al tener listo las fuerzas y puntos de estudio, se procede a dar inicio a la prueba de simulación, que en esta sección, el software entregara resultados de posibles fallas o dobles que existan en la estructura.

El primer estudio que se obtiene es la medición de estrés sobre el material donde está cayendo la fuerza en contra, como se puede apreciar, en la regla de medición la sección de color azul es donde el estrés es nulo y conforme van cambiando el color hasta la sección roja el estrés es mucho mayor (figura 30).

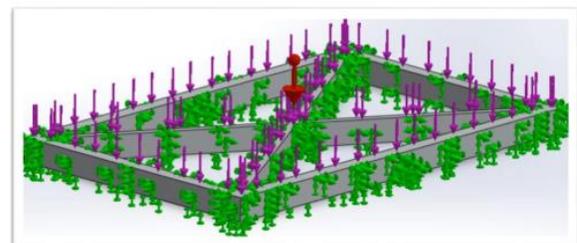


Fig. 29. Aplicación de fuerza y selección de estudio.

El resultado que está mostrando de la estructura, es que no sufre demasiado estrés, el punto que lo sufre más es en la sección de cruz y la parte donde está ubicado el corte donde ensambla el tubular horizontal de la estructura de movimiento por lo tanto se

puede decir que la estructura de la base de panel solar se encuentra en equilibrio en cuanto al estrés.

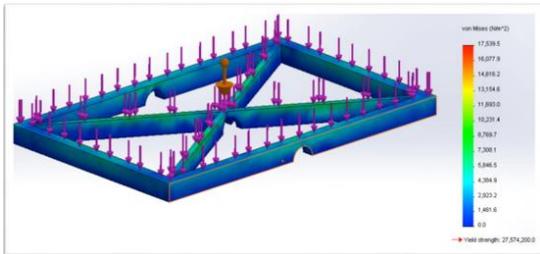


Fig. 30. Estudio de estrés en la base del panel solar.

La siguiente prueba que muestra es el desplazamiento de la estructura, esto significa que si existiera algún movimiento en la estructura, si existiera algún dobles en algún punto, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

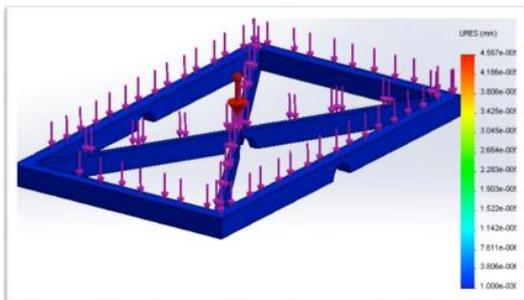


Fig. 31. Estudio de desplazamiento en la base del panel solar.

Nuevamente se muestra una regla de medición donde la parte azul muestra un movimiento demasiado pequeño, y conforme va cambiando de color aumenta el desplazamiento. Como se puede observar la estructura se encuentra solamente con un pequeño desplazamiento de  $2.9278 \times 10^{-10} m$ , sin ningún movimiento ni dobles que nos preocupe, esto gracias a la distribución que

ejerce la parte de “X” en medio de la estructura. (Fig. 32).

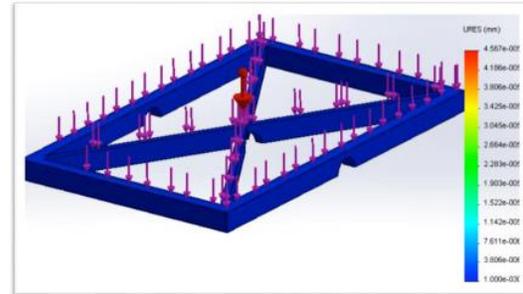


Fig. 32. Estudio de desplazamiento en la base del panel solar.

Como resultado se define que la estructura que sostiene al panel solar se encuentra estable y soportara el peso que se ejerce sobre él.

La siguiente estructura a validar será la torre giratoria, para ver si es capaz de soportar el peso ahora de la estructura y del panel. La teoría de esta estructura es de que el tubular horizontal distribuya el peso hacia el centro y este caiga sobre el tubular que girara, ya que este se encargara de distribuir el peso hacia la otra sección de estructura que es la base principal.

En esta prueba se aplica una fuerza de 300N, sobre el tubular horizontal ya que este es el que sostiene el peso del panel solar junto con su base y sufre más esfuerzo. Los puntos a realizar el estudio son sobre el tubular horizontal y la torre giratoria que son los que sufren la carga. En el engrane no se realiza estudio ya que el único trabajo de él es recibir el movimiento proveniente del motor (Fig. 33). Quedando de la siguiente manera.

Se procede a iniciar la prueba sobre esta estructura de la misma forma en que se

puso a prueba la estructura del panel solar, recibiendo los mismos estudios de estrés y deformación.

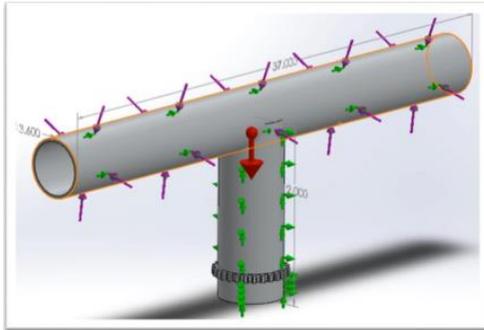


Fig. 33. Estudio de fuerzas sobre la estructura giratoria.

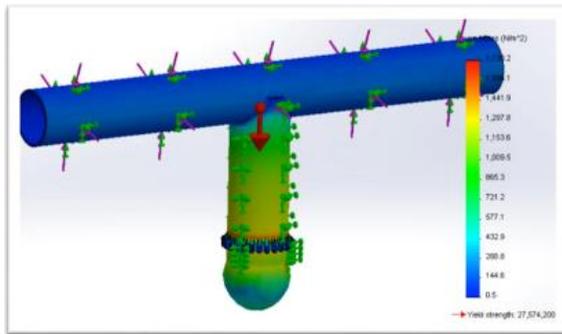


Fig. 34. Estudio de estrés.

Como se puede observar en la Fig. 34, la medición de estrés es la misma cuando se realizó en la prueba de base del panel solar, en este caso, el mayor estrés se los lleva la torre giratoria porque todo el peso se distribuye en él y el tubular horizontal cumple con la teoría de distribuir las fuerzas hacia el centro donde se encuentra situado la torre giratoria.

El siguiente estudio es el de desplazamiento en esta estructura. Quedando de la siguiente manera.

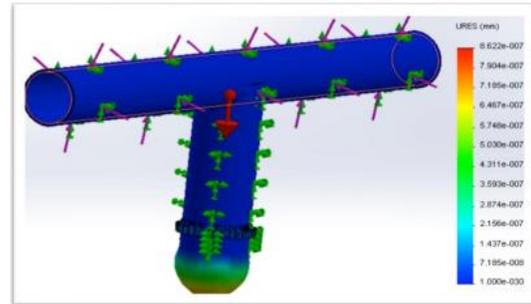


Fig. 35. Estudio de desplazamiento.

La regla indica la cantidad de desplazamiento que podría existir en esta estructura; el software de manera “exagerada” indica que la parte inferior de la torre existiría una gran deformación de  $1.18949 \times 10^{12} m$  (Fig. 35), pero recordemos que esa energía se distribuirá sobre la estructura de la base del seguidor. Es por eso que a iniciamos las pruebas de la parte superior de todo el seguidor para ir analizando que sucede o que fallas nos íbamos a ir encontrando durante todo el recorrido. Por lo tanto podemos decir que nuestra teoría sigue en pie distribuyendo adecuadamente la fuerza hacia la parte inferior donde se encuentra la base de todo el seguidor.

A continuación las siguiente pruebas se realizaran en la estructura de la base del seguidor solar ya que es la última sección que nos falta por poner en prueba, aquí la fuerza se situara en una sola sección que es donde se ensambla la torre giratoria. Aplicando una fuerza hacia la parte interior de 500 N (Fig. 36) y realizando un estudio a toda la estructura de base teniendo en mente que gracias al chaflán esta energía se distribuirá en forma uniforme hacia el siguiente punto.

Quedando de la siguiente forma el inicio del estudio.

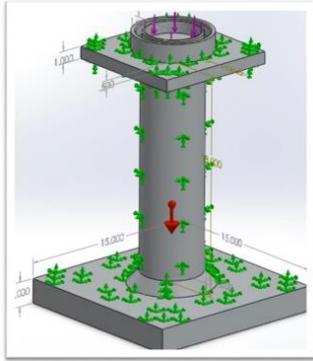


Fig. 36. Aplicación de fuerzas y estudio de deformaciones.

Teniendo listo las fuerzas aplicadas centradas y seleccionando los elementos a estudiar, damos inicio a las pruebas de estudio dándonos como resultado lo siguiente.

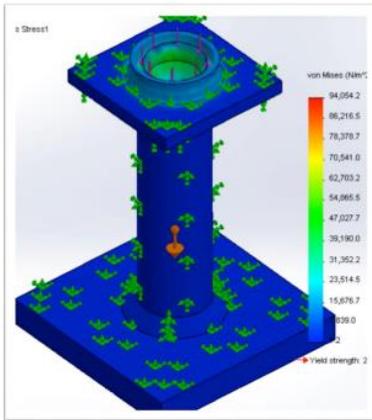


Fig. 37. Estudio de estrés central.

Tenemos que la mayor cantidad de estrés se presenta en el centro ya que toda la fuerza está cayendo en ese punto (Fig. 37), pero con la ayuda del chaflán este estrés se distribuye hacia la parte inferior de toda la base. Como lo podemos demostrar en la Fig. 38.

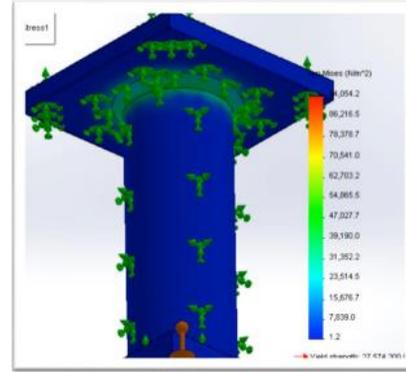


Fig. 38. Medición de estrés en chaflán superior.

El siguiente resultado que tenemos es el desplazamiento en nuestra estructura que es de  $1.11573 \times 10^7 m$  como lo podemos apreciar en la Fig. 39. El desplazamiento se encuentra en el centro donde se ensambla la torre central, ya que es la que recibe toda esa fuerza proveniente del panel con sus estructuras el centro.

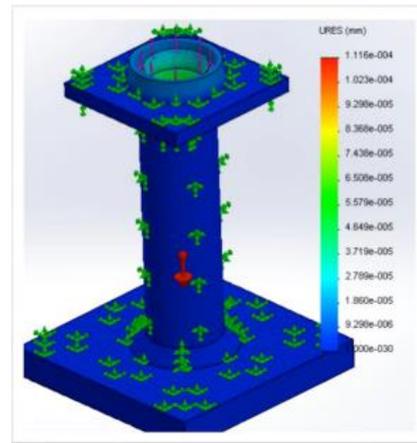


Fig. 39. Estudio de desplazamiento.

Por lo tanto tenemos como resultado final que todo nuestro peso del panel solar con las estructuras, satisfactoriamente baja hacia la base principal que es la que podría ensamblarse con el vehículo.

## CONCLUSIONES

La propuesta de este diseño se logró con tal comprensión sobre la fabricación y comportamiento de diferentes seguidores solares, así como los requerimientos del panel solar y la trayectoria del sol durante su recorrido sobre el planeta Tierra. Después de tener estudiado los diferentes seguidores solares, se realizó la propuesta del sistema con auto- posicionamiento al sol, y con la ayuda de los programas simuladores de “LiveWire” y “SolidWorks 2012”, se pudo lograr la realización de las pruebas del sistema de control y el sistema mecánico que comprendiera el seguidor solar. La obtención de conocimiento de programas de simulación para los posibles análisis fue completamente satisfactoria durante la validación de todo el dispositivo.

Se obtuvieron los resultados deseados donde el seguidor detectara por sí solo el rayo solar y el sistema de control accionara los motores eléctricos para que estos transfieran el movimiento al sistema de engrane de la estructura del seguidor solar, así como la seguridad de que este se detendrá al momento de tener la máxima captación de luz o simplemente exista obscuridad. Por lo tanto la propuesta es válida para el uso de un seguidor solar con auto-posicionamiento, en donde se brindó seguridad tanto en el sistema de control como en sistema mecánico, dando la posibilidad de que el conductor se despreocupe por estar en la mejor posición deseada para que el rayo solar este perpendicular al panel solar.

Con esta propuesta realizada, también se obtuvo la enseñanza de que este dispositivo podría aplicarse en cualquier equipo que requiera energía solar con el

simple hecho de realizar ajustes en la estructura mecánica para ejercer el mismo trabajo.

## REFERENCIAS

- Arizti, M. (2009). *Dispositivo para seguimiento solar*. Barcelona, España. 310 pp.
- Beltrán, J. (2007). *Prototipo fotovoltaico con seguimiento del Sol para procesos electroquímicos*. Morelos, México. 105 pp.
- Bakos, G.C. (2006). *Design and Construction of a Two-Axis Sun Tracking System for Parabolic Trough Collector (PTC) Efficiency Improvement*. *Renewable Energy* 31(15): 2411-2421.
- Coca, P. (2004). *Manual del Aluminio*, Madrid España. 1168 pp.
- Castells, X.E. (2011). *Energía, agua, medio ambiente territorialidad y sostenibilidad*. Madrid, España, 105 pp.
- Duarte, F. Dinis-Gaspary, P. Carrilho-Gonçalves, L. (2010). *Two Axis Solar Tracker Based on Solar Maps, Controlled by a Low-Power Microcontroller*. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, Granada, España, Octubre. 15 pp.
- Esthela, N. (2007). *Física Moderna*. México 234 pp.
- Félix, E. (2012). *Controladores Lógicos Programables*. Instituto Tecnológico de Matamoros. Tamaulipas, Mex. 20 pp.
- Fernández, J. (2003). *Electrónica fundamental; dispositivos, circuitos y sistemas*. Universidad Politécnica de Barcelona, España. 620 pp.
- Haberlin, H. *Photovoltaics System Design and Practice*, New Jersey, USA. 744 pp.
- Kurowski, P.M. (2012). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation*. Mission, KS, USA. 178 pp.
- Lacasa, E. *Diseño y Fabricación de un Seguidor Solar de un Eje*. Universidad de Zaragoza, España, 220 pp.
- Larode, E. (1997). *Automóviles Eléctricos*. Zaragoza, España, 475 pp.

Magaña, H. (2010). *Diseño de un seguidor solar para eficiente la captación de la energía solar*. Instituto Tecnológico Superior de Arandas. 414 pp.

Rabl, A. (2006). *Active Solar Collectors and Their Applications*. Oxford Univ. USA, 517 pp.

Rubio, J.A. (2003). *Diseño de circuitos y Sistemas integrados*. Univ. Politécnica de Catalunya. 446 pp.

Ramos, P. (2007). *Uso Eficiente y sostenible de los recursos naturales*. Universidad Salamanca. 448 pp.

Rashid, M.H. (2004). *Electronica de potencia; Circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Pearson Educación, México. 878 pp.

Sapiña, F. (2006). *El reto energético; Gestionando el legado de Prometeo*. Universidad de Valencia. 140 pp.

Senner, A. (1994). *Principios de electrotecnia*. Barcelona España. 448 pp.

Shosteck, R. (1974). *Flowers and Plants. An International Lexicon with Biographical Notes*. Quadrangle/ the New York Times Book Co. 329 pp.

Suomi, V.E. et al. (1979). *Carbon Dioxide and Climate*. National Academy of Science. Washington, D.C. 22 pp.

Swanson, R.M. (2009). *Photovoltaics Power Up*. Science. Mayo 892 pp.

<http://www.actiweb.es/energiasolar/pagina3.html>

<http://www.ecured.cu/index.php/Livewire>

<http://www.neoteo.com/ldr-fotorresistencias>

[http://www.solidworks.es/sw/products/10164\\_esn\\_HTML.htm](http://www.solidworks.es/sw/products/10164_esn_HTML.htm)

<http://www.worldsolarchallenge.org/>

---

---

## Diseño de chasis para un monoplaza formula SAE

Rene Alberto Valenzuela Nájera, David Atayde Campos, Carlos Felipe Ramírez Espinoza, Carlos Ponce Corral, Cesar Leonardo González Pinzón, Raúl Ñeco Caberta, Jesús Rodarte Dávila, Jaime Romero González

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

Fórmula SAE es una competencia internacional universitaria en la que los estudiantes deben diseñar, fabricar y pilotar un vehículo monoplaza tipo fórmula. El equipo de estudiantes debe organizarse como una empresa donde, además de diseñar y fabricar un monoplaza ajustándose a unas condiciones técnicas, es necesario gestionar los recursos disponibles cumpliendo con unas condiciones económicas y también se trata de comercializarlo. De esta manera, entran en juego las áreas de diseño, producción y compras para fabricarlo, seguidas de las áreas de marketing y comunicación para comercializarlo. El presente informe describe una propuesta de diseño de un chasis para un monoplaza formula SAE en base al estudio de la estructura y materiales de fabricación. En el estudio se realizan además del modelado del diseño, el comportamiento estructural por medio del análisis por elementos finitos, utilizando como variables de control las especificaciones establecidas en la sección de diseño y construcción de chasis del reglamento de competencia FSAE 2013.

**Palabras clave:** FSAE; chasis; diseño; CAD.

### INTRODUCCIÓN

A mediados de los 70, varias universidades comenzaron a albergar competiciones de diseño de vehículos concebidos por estudiantes universitarios. En una de esas competiciones, gracias al juez de diseño Fred Stratton de Brigg & Stratton Corporation (B&S) y a algunos compañeros, se estableció la conexión SAE/B&S. Con el apoyo de ambas instituciones, surgió el campeonato llamado SAE-Mini Baja. Su éxito, empujó a la organización SAE (Society of Automotive Engineers) a apoyar este evento, extendido a todas las universidades norteamericanas que quisieran participar. La primera competencia SAE-Mini Baja fue en 1976, la cual se centraba en potenciar la creatividad de diseño de un chasis, ya que era B&S la que

proporcionaba los motores, todos idénticos y sin posibilidad de modificación.

En 1978, Kurt Marshek de la Universidad de Houston (Texas), contactó con la organización SAE para proponerles un modo nuevo de competencia, basado en la SAE-Mini Baja pero sujeto a varias modificaciones. Así, surgió la competencia SAE-Mini Indy que tuvo lugar en el campus de dicha universidad en 1979. Los motores utilizados fueron proporcionados de nuevo por B&S. En 1980, tres estudiantes de la Universidad de Texas (Austin), propusieron un nuevo modo de competencia, potenciando un estilo de campeonato en el que las reglas fueran más abiertas y en el que los estudiantes no sólo disecaran el chasis sino que también pudieran modificar el motor. Para diferenciar este nuevo modo de competición, ésta cambia de nombre, así

se adopta su actual denominación: Formula SAE.

En 1981 se celebró la primera competencia a nivel nacional. Se presentaron tan sólo cuatro universidades norteamericanas, pero el evento tuvo tal éxito que el año siguiente se continuó realizando, incorporando nuevas normas y nuevas categorías de forma que los equipos pudieran elegir entre competir con los motores proporcionados por B&S o con sus propios motores facilitados por grandes empresas automotrices como Kawasaki, Honda o Suzuki.

La UACJ empieza a participar en las competencias de Mini Baja SAE organizada por la misma SAE en el año 2009, sin embargo no existen antecedentes ligados o relacionados con Formula SEA dentro de la institución. De ahí nace el interés para desarrollar una propuesta que pueda ser base para las futuras generaciones de la Ingeniería en Sistemas Automotrices e Ingenierías relacionadas con el área industrial y manufactura.

Es importante mencionar que tanto el reglamentos de fabricación y competencia entre un Mini Baja y un Formula SAE difiere en el nivel de exigencia de fabricación de acuerdo con las cualidades y características de funcionamiento de cada vehículo en su medio de desempeño. De ahí la necesidad de diseñar y proponer este prototipo, que en base a los análisis que se realicen serán de suma importancia para determinar el diseño resultado final del chasis del monoplaza Formula SAE, con apego a las metodologías para el desarrollar un diseño que cumpla con los siguientes requerimientos:

- La estructura de cabina abierta del monoplaza debe adaptarse al a la fisionomía del conductor, que finalmente es lo más importante.
- Se deben contemplar aspectos y lineamientos de la competencia Formula SEA, lo que nos delimita y da la pauta para comenzar con el diseño.
- Buscar el optimizar el comportamiento de la estructura simulando las condiciones de la carrera y eventos que no pongan en riesgo la seguridad.

El objetivo general es el diseñar un chasis monoplaza para un vehículo categoría Formula SAE delimitado por las Reglas que competen a la estructura del chasis y fabricación del mismo, dentro del Reglamento Formula SEA 2013, determinar los materiales que resistan y optimicen las funciones para las cuales se diseña y fabrica dicho chasis y realizar los análisis estructurales para validar el diseño final del chasis mientras se documentan las mejoras o modificaciones que se realicen.

## **DISEÑO DE CHASIS PARA MONOPLAZA FORMULA SAE**

En la manufactura de la industria automotriz, uno de los aspectos más importantes es el diseño de los diferentes sistemas que conforman el vehículo, pudiendo partir del “esqueleto” del automóvil, el chasis.

El chasis se puede considerar el componente más significativo, ya que tiene como función principal el soportar y fijar los distintos componentes que conforman un vehículo, como lo son el sistema de dirección, sistemas de frenos, suspensión, transmisión y carrocería, logrando la

relación entre ellos. El motor puede ser fijado al chasis por medio de puntos de anclaje intentando impedir que las vibraciones se transfieran al chasis y por consiguiente al conductor. El chasis debe aportar la rigidez, estabilidad y forma de la carrocería del vehículo dependiendo de su aplicación.

En vehículos diseñados para competición existen dos tipos de chasis, los monocasco y los tubulares, siendo los monocasco los que integran el chasis a la carrocería, a diferencia de los tubulares que conforma un sistema distinto a la carrocería generalmente son construidos por secciones rectangulares, siendo de fabricación más sencilla y frecuentemente utilizados para vehículos de competición debido a que son más resistentes a la torsión. Un chasis adecuado debe considerar finalmente la rigidez, el peso y el espacio. Competiciones inferiores a Formula 1 utilizan en su mayoría el chasis convencional, reforzándolo con estructuras tubulares internas, las cuales aportan resistencia ante colisiones y volcaduras, como es el caso de los vehículos Rally.

En la actualidad la seguridad del conductor es uno de los puntos principales en la generación de un chasis, los nuevos diseños deben amortiguar los impactos en choques frontales, de forma que, parte de las fuerzas que son resultado del mismo choque sean absorbidas en la deformación del chasis, impidiendo que las fuerzas se transmitan al conductor. Existen diseños con una serie de agujeros y acotaduras que despliegan el chasis y sus fuerzas de forma de no afectar la cabina o habitáculo.

#### *ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN CHASIS FORMULA SAE*

A continuación se definen los elementos principales que componen el chasis de un monoplaza Formula SAE:

1. Arco principal: Una barra antivuelco situada por detrás del conductor.
2. Arco frontal: Una barra antivuelco situado por encima de las piernas del conductor, en la proximidad del volante.
3. Arcos de vuelco: Tanto el arco frontal y el arco principal se clasifican como "Arcos de vuelco".
4. Zona de impacto lateral: El área de la parte del vehículo que se extiende desde la parte superior del suelo hasta 350 mm (13,8 pulgadas) por encima del suelo desde el arco delantero hasta al arco principal.
5. Atenuador de impacto frontal (plano frontal): Una estructura frontal que define el plano delantero de la estructura principal, su función es brindar protección a los pies del conductor.
6. Triangulación de nodo a nodo: La rigidez torsional puede reducirse al agregar una barra transversal a las estructuras rectangulares del chasis, así los nodos de la barra absorberán las cargas aplicadas, evitando deformaciones y mayor rigidez a la estructura del vehículo. Esto es también lo que se entiende por "correctamente triangulada".

#### *ASPECTOS DE DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DE UN CHASIS FORMULA SAE*

Se deben contemplar aspectos para la fabricación de un chasis como son:

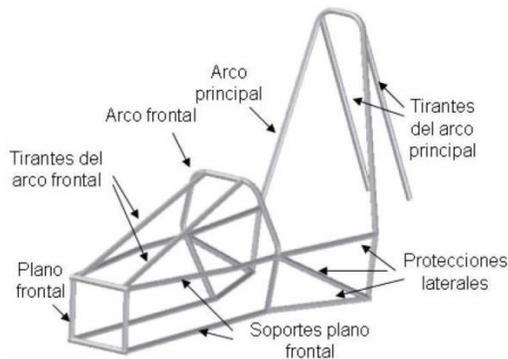


Fig. 1. Elementos principales del chasis de un vehículo Formula SAE

- Hay elementos que no forman parte directa de la estructura pero que aportan rigidez y han de tenerse en cuenta, como por ejemplo el motor.
- Rigidez: el buen funcionamiento del chasis va ligado a la rigidez y resistencia del mismo ante impactos, lo que juega un papel muy importante en la seguridad del piloto.
- Ligereza: el rendimiento del motor y su potencia puede mejorar de forma significativa si el chasis es de poco peso, evitando con esto el desperdicio de potencia, tomando en cuenta que el chasis es uno de los elementos de mayor peso que conforman un vehículo.
- Los elementos que soportan las mayores masas del vehículo deben anclarse en los nodos.
- Si se utilizan materiales con menor módulo elástico  $E$  como el aluminio o el titanio en tubos que estén sometidos a esfuerzos importantes, será necesario aumentar la sección o cambiar la disposición de algunas barras para conseguir los mismos resultados.

## DISTRIBUCIÓN DE MASAS

Parte fundamental en el desempeño del vehículo es el centro de gravedad, entre más bajo sea es posible que se pueda evitar el balanceo en la suspensión de las pruebas de pista, por lo que es de suma importancia el determinar desde el diseño donde estarán situados los componentes del vehículo, debiendo considerar que el centro de gravedad debe estar por delante del centro de presiones al tener una vista lateral del chasis, lo que suma estabilidad ante ráfagas de viento. Para vehículos Formula SAE no existe tanta libertad para situar las masas del mismo, por lo que la posición del centro de gravedad es muy limitada.

Una de las mayores masas del monoplaza es el motor, por lo que debemos considerar su peso y las cargas ejercidas por el mismo al tomar una curva, acelerar o realizar una frenada (valores en "g"). El motor funciona como elemento de unión entre la sección destinada para el piloto y la parte trasera del chasis, donde se encuentra el eje posterior. Los puntos de anclaje del motor añaden mayor rigidez al chasis.

Al momento de diseñar el chasis se consideraran las masas de:

- El peso de la batería del vehículo, las cuales pesan alrededor de 9 kg y se instalan por detrás del piloto, justo debajo del arco de seguridad.
- El tanque de combustible, se deben considerar los litros que requiere el monoplaza para las distintas pruebas, calcular el peso del combustible para cada situación.

- El piloto, como un peso estándar se tomaran 75 kg, siendo este el más importante, ya que todo debe ser pensado en su seguridad y bienestar.
- El diferencial, colocado en la parte trasera del chasis, cerca de los anclajes del motor.
- Otros elementos como los ejes de las ruedas, suspensión, transmisión y dirección.

Para el diseño, se consideraron las siguientes masas:

- Peso aproximado del piloto = 75 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 735 N
- Peso aproximado de un motor de 600 cc  
= 58 kg ( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 564.8 N
- Peso aproximado de la batería = 9 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 88.2 N
- Peso aproximado de los sistemas (ruedas, suspensión, transmisión, dirección) = 70 kg ( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 686 N
- Peso aproximado de la carrocería = 15 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 147 N
- Peso calculado del chasis = 50.99 kg  
( $9.8\text{m/s}^2$ ) = 499.702 N

### CARGAS APLICADAS EN EL CHASIS

Al diseñar una estructura se contemplaron también las cargas que recibe el chasis, sin dejar al lado ninguna carga estructural, aun combinando situaciones desfavorables. Con esto se consideraron como:

- Carga muerta: aquellas cargas de magnitud constante que están fijas a la estructura, contempla el peso total del chasis con las partes funcionales ya instaladas o ensambladas, en pocas palabras una carrocería terminada y funcional. Debemos determinar las dimensiones y pesos de las partes, definiendo un estimado en comparación con un chasis similar o en los estándares de la competencia.
- Carga viva: es aquella carga del ocupante, debe estar distribuida uniformemente en la estructura del chasis y cumplir con el reglamento de la competencia. Estas cargas pueden cambiar de magnitud.
- Carga del frenado: es la fuerza que se produce al frenar el vehículo, está en un rango de desaceleración mayor o igual a  $4\text{m/s}^2$ .
- Carga de aceleración: es la fuerza producida al acelerar bruscamente el vehículo.
- Carga por resistencia aerodinámica: esta fuerza se genera del aire que actúa en el área de proyección del vehículo de forma perpendicular a su eje longitudinal, utilizando la siguiente fórmula:

$$Raf = 1/2 * Cx * p * Af * V^2 \quad 1$$

donde:

- Raf = carga por resistencia del aire,
- p = densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ),
- V = velocidad del aire (m/s),
- Af = área de proyección del vehículo en un plano perpendicular a su eje longitudinal ( $\text{m}^2$ ), y

$C_x$  = coeficiente aerodinámico.

- Cargas de impacto: estas fuerzas se producen por efecto de eventos desafortunados como son los choques y volcaduras, pudiendo considerarla la carga de impacto más significativa ya que implica la seguridad del piloto. Estas cargas se clasifican como:
  - ❖ Carga de impacto frontal: se asume un incremento de la masa del vehículo de 8 g.
  - ❖ Carga de impacto lateral: se asume un incremento de la masa del vehículo de 4 g.
  - ❖ Carga de impacto superior: se asume un incremento de la masa del vehículo de 2 g.

### CONSIDERACIONES DE ESPACIO

Existen puntos importantes que pueden convertirse en restricciones dimensionales al diseñar un chasis Formula SAE, como lo son el acceso a las partes mecánicas del vehículo desde la cabina en caso de avería y las restricciones del reglamento de competición en cuanto a las dimensiones del habitáculo en consideración del piloto, en la que se cuente con una suficiente línea de visión y espacio suficiente para las piernas del piloto en la parte frontal del chasis. La línea de visión del piloto debe estar por encima del arco frontal del chasis y el piloto debe salir

fácilmente con un máximo de 5 segundos del vehículo.

### REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO

**Distancia entre ejes.** El vehículo para el cual se diseña la estructura debe tener una distancia entre ejes de al menos 1525 mm. La distancia entre ejes se mide desde el centro de contacto con el suelo de la rueda delantera, al centro de contacto con el suelo de la rueda trasera.

**Estructura.** Entre otros requisitos, la estructura del vehículo debe incluir dos arcos antivuelco que se apoyan, una estructura delantera que sirva como atenuador de impacto, y las estructuras de impacto lateral.

**Material.** La estructura primaria del coche debe ser construida de tubos de aceros al bajo carbono o de aleación (mínimo 0.1% de carbono) de las dimensiones mínimas indicadas en la tabla 1.

Las propiedades del acero que se utiliza en la estructura del chasis no deben ser menores a las definidas a continuación:

- Doblado y pandeo cálculos de resistencia: Módulo de Young (E): 200 GPa (29 000 ksi)

Límite elástico: 305 MPa (44,2 MPa)

Tensión de ruptura: 365 MPa (52,9 MPa)

Tabla 1. Especificaciones de materiales para la estructura del vehículo FSAE

Elemento o Aplicación	Sección Tubular	Dimensión Exterior X Espesor
Arco principal y arco frontal	Circular	25.4 mm X 2.40 mm ó
Soporte para los hombros del piloto		25.0 mm X 2.50 mm
Protección contra impacto lateral	Circular	25.4 mm x 1.65 mm ó
Protección contra impacto frontal		25.0 mm x 1.75 mm ó
Fijación del arnés de retención del conductor	Rectangular	25.4 mm x 1.60 mm
		25.0 mm x 25.0 mm x 1.25 ó 26.0 mm x 26.0 mm x 1.2 mm
Soportes del plano frontal y de los arcos principales y auxiliar.	Circular	25.4 mm x 1.25 mm ó
		25.0 mm x 1.50 mm ó
		26.0 mm x 1.20 mm

**Arcos de seguridad.** Los arcos de seguridad del vehículo se diseñan bajo las siguientes especificaciones

- La cabeza y las manos del conductor no debe tocar el suelo en cualquier posición de vuelco.
- El marco debe incluir tanto un arco principal y un arco frontal, como se muestra en la Fig. 2.
- Cuando el piloto esté sentado normalmente y restringido por el sistema de seguridad, el casco del conductor debe:
  - a) Tener un mínimo de 50,8 mm entre la parte superior del casco y la tangente formada desde la parte superior del arco principal, a la parte superior del arco frontal. (Fig. 2a)
  - b) Tener un mínimo de 50,8 mm entre la parte superior del casco del piloto y la tangente formada desde la parte superior del arco principal,

al extremo inferior del arco de refuerzo principal. (Fig. 2b)

- c) El casco del piloto no debe ir detrás de la superficie del arco principal, si el arco de refuerzo principal se extiende hacia delante. (Fig. 2c)

La posición del piloto se debe realizar como se explica a continuación: (Ver Fig. 3)

- El asiento se puede ajustar a la posición más retrasada.
- Los pedales se colocará en la posición más adelantada.
- El círculo superior (A) de 300 mm se puede colocar no más de 25,4 mm del apoyacabezas (es decir, donde normalmente se encuentra el casco del conductor durante la conducción).
- El círculo central (B) de 200 mm, que representan los hombros, se colocará en la parte posterior del asiento.

- El círculo inferior (C) de 200 mm se colocó en la parte baja del asiento de tal manera que la distancia entre el centro de este círculo y la cara posterior de los pedales no sea menos de 915 mm.

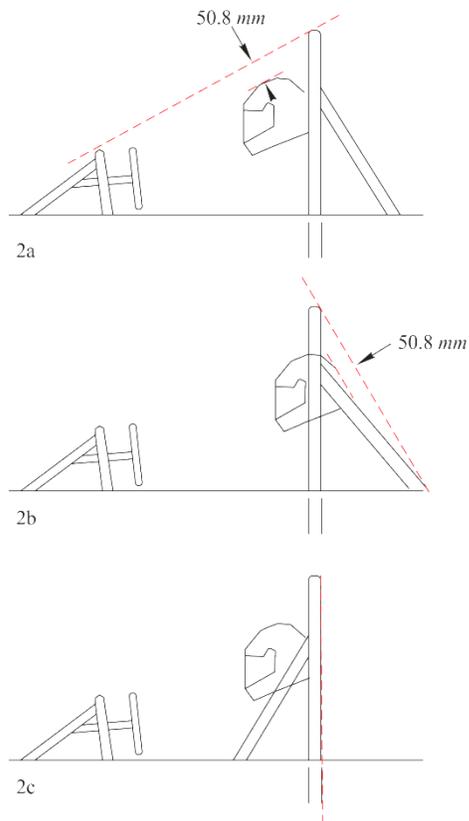


Fig. 2. Geometría de los arcos de seguridad.

### ***Arco principal.***

- El arco principal deberá ser de una sola pieza de tubo de acero, sin cortar, de las características de espesor y diámetro vistas anteriormente.
- Se prohíbe el uso de aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio o

materiales compuestos para el arco principal.

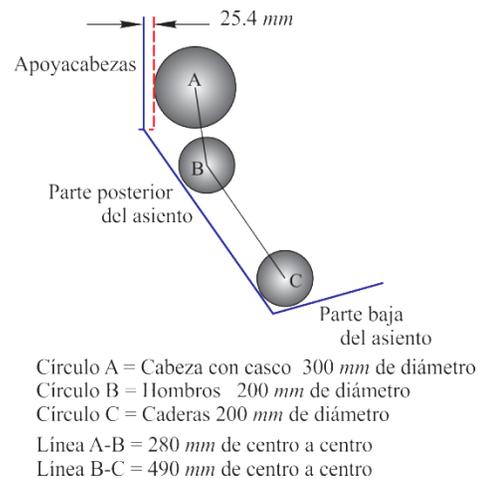


Fig. 3. Representación lateral del piloto en la cabina en 2D.

- El arco principal debe extenderse desde la parte más baja del chasis en una vista lateral, y de forma envolvente hasta la parte más baja del chasis en el otro lado.
- En la vista lateral del vehículo, la parte del arco principal que se encuentra por encima del punto unión de la estructura principal debe tener una inclinación menor de diez grados ( $10^\circ$ ) con la vertical.
- En la vista frontal del vehículo, los elementos verticales del arco principal debe estar al menos 380 mm separado del lugar donde el arco principal está unido con el resto del chasis.

### ***Arco frontal***

- El arco frontal deberá ser de tubo de acero de las mismas características que el arco principal.
- El arco delantero debe extenderse desde el punto más bajo de un lado del chasis en una vista lateral, y de forma envolvente hasta la parte más baja del chasis en el otro lado.
- Con la triangulación apropiada, se permite fabricar el arco frontal de más de una pieza.
- La superficie del arco frontal no deberá ser inferior a la parte superior del volante en cualquier posición angular.
- En una vista lateral, ninguna parte del arco frontal puede estar inclinado más de veinte grados ( $20^\circ$ ) sobre la vertical.

#### ***Refuerzos de arco principal***

- Los refuerzos del arco principal deberán estar contruidos con tubos de acero de la misma sección mencionada en los dos arcos.
- El arco principal debe ser reforzado por dos tirantes que se extiendan hacia adelante o hacia atrás, pero estos no podrán estar al mismo lado al que se inclina (en caso de que se incline) el arco principal.
- En la vista lateral del chasis, el arco principal y los refuerzos no debe estar en el mismo lado de la línea vertical que pasa por la parte superior del arco principal, es decir, si el arco principal se inclina hacia adelante, los tirantes

deben ser hacia atrás del arco principal, y si el arco principal se inclina hacia atrás, los tirantes deben ser hacia adelante del arco principal.

- Las refuerzos del arco principal deben fijarse lo más alto posible del arco principal, pero no a una distancia más baja  $160\text{ mm}$  desde el nivel más alto del arco principal. El ángulo formado por el arco principal y los refuerzos debe ser de al menos treinta grados ( $30^\circ$ ). (Ver la Fig. 4)
- Los refuerzos del arco principal deben ser rectos, es decir, sin ningún tipo de curvas.
- Los refuerzos del arco principal deben ser capaces de transmitir todas las cargas del arco principal a la estructura principal del chasis.

#### ***Refuerzos del arco frontal***

- Los refuerzos del arco frontal deberán estar contruidos con tubos de acero de la misma sección mencionada en los dos arcos y los refuerzos del arco principales.
- El arco frontal debe ser reforzado por dos tirantes que se extiendan hacia adelante o hacia atrás de la vista lateral del chasis.
- Los refuerzos del arco frontal deberán estar contruidos de tal manera que protejan las piernas del piloto y deben extenderse a la estructura de protección de los pies del piloto.

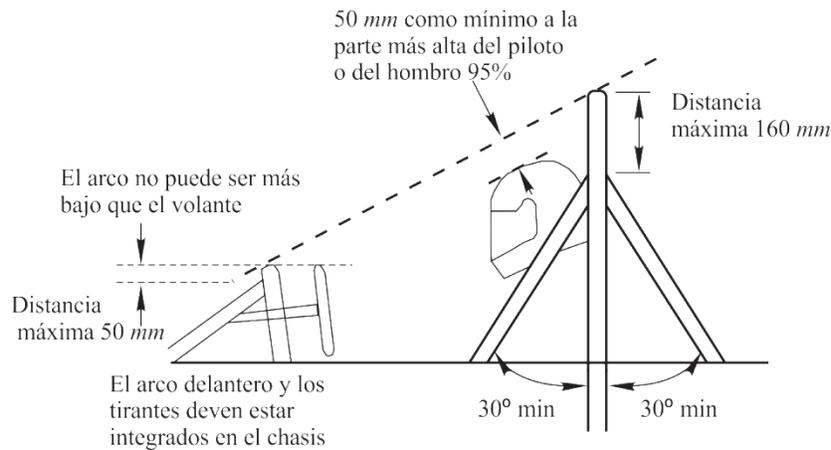


Fig. 4. Configuración de los arcos de seguridad.

- Los refuerzos del arco delantero deben fijarse lo más alto posible de del arco frontal, pero no a una distancia más baja de 50,8 mm desde el nivel más alto del aro delantero.
- En caso de que el arco frontal se inclina hacia atrás en más de diez grados ( $10^\circ$ ) de la vertical, que deben reforzar por tirantes adicionales en la parte trasera.

**Atenuador de impacto (Plano frontal).** El atenuador de impacto frontal debe ser:

- Por delante del plano frontal debe haber un atenuador de impacto que absorba la energía.
- Por lo menos 200 mm de largo, con su longitud orientada a lo largo del eje delante.
- Por lo menos 100 mm de alto y 200 mm de ancho a una distancia mínima de 200 mm delante del plano frontal.
- De tal manera que sea resistente a impactos.

### ***Estructura de impacto lateral***

- La estructura de impacto lateral para vehículos con chasis tubular debe estar compuesta por al menos tres elementos tubulares situados a cada lado del conductor mientras está sentado en la posición normal, como se muestra en la Fig. 5
- Los tres miembros de acero tubular requeridos deben ser construidos con las especificaciones antes mencionadas.
- Las ubicaciones de los tres miembros tubulares requeridos son los siguientes:
  - ♦ Con un conductor de 77 kg sentado en la posición de conducción normal, todos los miembros deben estar a una altura comprendida entre 300 mm y 350 mm por encima del suelo.
  - ♦ La pieza inferior de la protección lateral, debe conectar el arco frontal con la base del arco principal.

- ♦ Con una triangulación apropiada, es permite fabricar la estructura

de impacto lateral de más de un elemento estructural de tubo.

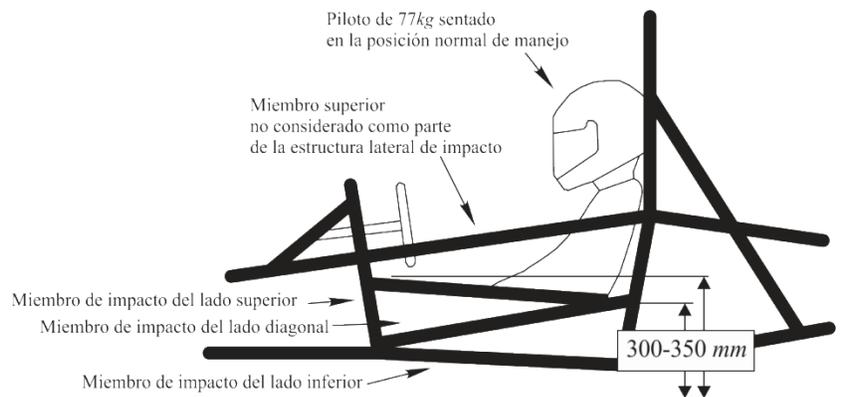


Fig. 5. Configuración de la estructura de impacto lateral.

### SELECCIÓN DE MATERIAL

Antes de comenzar el proceso de modelado en el diseño, elige material del chasis propuesto, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y mecánicas. Habrá de compararse con otro material comúnmente utilizado en vehículos de categoría Formula SAE, el análisis por elemento finito será de gran importancia para conocer la respuesta

de los materiales y así poder dar una propuesta.

Por esta razón, se hace una comparación entre un acero al carbono “SAE 1020” y un acero aleado “SAE 4130” lo que nos permitiría observar las cualidades del material propuesto.

Tabla 2. Materiales para el diseño del chasis.

Propiedades	Acero al Carbono SAE1020	Acero Aleado SAE4130
Densidad	7.87 g/c <sup>3</sup>	7.85 g/c <sup>3</sup>
Dureza Brinell	121	197
Dureza Knoop	140	219
Dureza Rockwell B	68	92
Dureza Rockwell C		13
Dureza Vickers	126	207
Tensión de Ruptura	420 MPa	670 MPa
Limite Elástico	350 MPa	435 MPa
Alargamiento de Ruptura	15.0 %	25.5 %
Reducción de Área	40.0 %	60.0 %
Módulo de Elasticidad (Young)	205 GPa	205 GPa
Módulo de Compresibilidad K	140 GPa	140 GPa
Coefficiente de Poisson	0.29	0.29
Ensayo de Izod		0.87 J
Maquinabilidad	65 %	70 %
Modulo de Elasticidad Transversal	80 GPa	80 GPa

## BOCETO INICIAL

Antes de comenzar a modelar el chasis, se dio representación gráfica a la idea inicial de la que parte este proyecto, con un dibujo a mano alzada con proyección trimétrica de un chasis básico de categoría Formula SAE (Fig. 7).

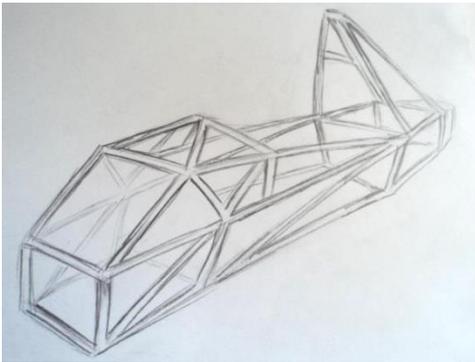


Fig. 6. Dibujo a mano del diseño propuesto de chasis de FSAE.

## DISEÑOS 2D DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES.

Partiendo de la representación inicial de la estructura y conociendo los requerimientos definidos en el reglamento Formula SAE 2013 para el chasis, se comienza dando geometría en los planos 2D que definirán el modelo utilizando el programa de diseño asistido SolidWorks, los que servirán a lo largo del proyecto, los cuales podrán ser modificados hasta lograr desarrollar un modelo estable.

### Base del chasis

La primer estructura que se definió y que da soporte a las demás estructuras del chasis y vehículo en general, es la base, considerando la distancia que debe existir entre ejes (1525 mm), las medidas del piloto, el espacio para las piernas y

dimensiones del motor, sin dejar de lado las especificaciones del arco principal en la que no debemos tener una distancia menor de 380 mm entre las partes de contacto que van de un costado de la base del chasis, elevándose y tocando la otra base del mismo, como lo muestra la Fig. 7 de una vista superior del plano.

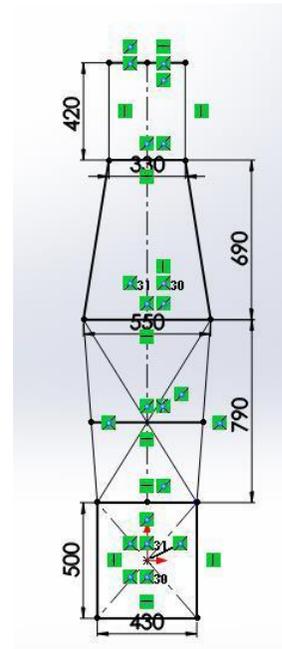


Fig. 7. Vista superior del plano de la base del chasis.

### Arco principal

Con la intención de agregar ángulo a la parte baja del arco principal desde la vista lateral, generando una inclinación que favorezca la posición del piloto, evitando así un vacío entre la base del asiento y la pared de fuego. El arco principal se formó al conjuntar dos planos (Fig. 8) El primero plano del arco principal que va desde la base del chasis hasta el refuerzo de cinturones de seguridad se diseñó con un ángulo de inclinación de  $25^\circ$  como se muestra en la figura 3.8 y con las dimensiones

especificadas en el reglamento, dejando una altura de 300 mm (sin contemplar la separación del chasis al suelo) al punto de

contacto entre el arco principal y la estructura de impacto lateral como se muestra en la Fig. 9.

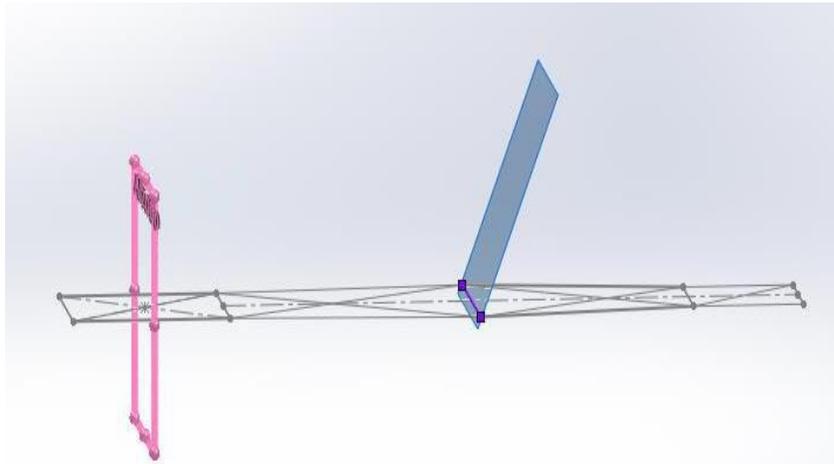


Fig. 8. Vista lateral del plano agregado con una inclinación de 25°.

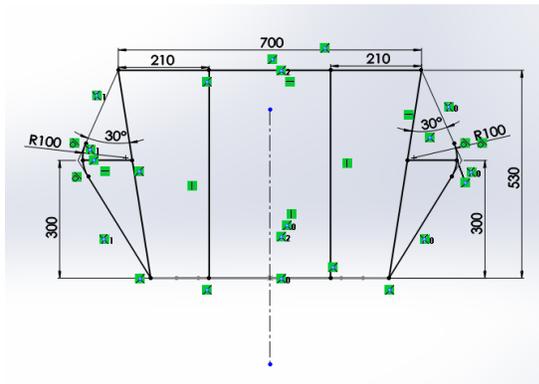


Fig. 9. Vista frontal del plano de la primera sección del arco principal.

El segundo plano que termina de conformar el arco principal, se diseñó a 90° con respecto al plano de planta a partir del refuerzo de cinturón de seguridad de la primera sección como se muestra en la Fig. 10, respetando la restricción del reglamento de no tener un ángulo mayor a 10° conforme a la vista lateral en la parte alta del arco principal desde el punto de unión. El arco principal desde la base del chasis hasta su

parte más alta tiene una longitud de 1090 mm con respecto a la vertical.

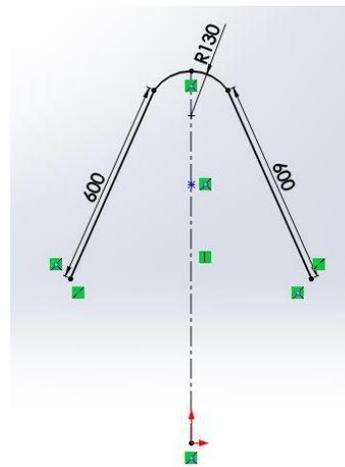


Fig. 10. Vista frontal del plano de la segunda sección del arco principal.

### *Arco frontal*

El siguiente plano corresponde al arco frontal, el cual se diseñó con una inclinación de 15° como se muestra en la

Fig. 11, respetando el requerimiento de no exceder  $20^\circ$  de inclinación como se mencionó anteriormente en las reglas del arco frontal.

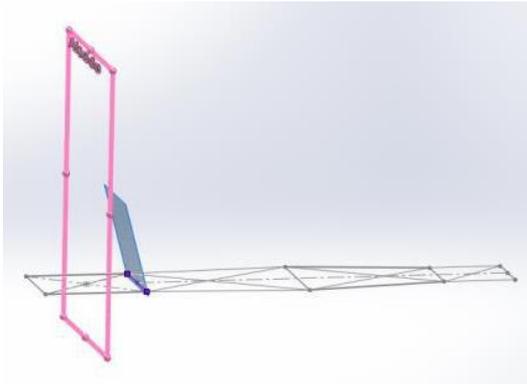


Fig. 11. Vista lateral del plano frontal agregado con inclinación de  $15^\circ$ .

Ya en el plano, se determinó la geometría del arco frontal, la cual debe proteger parte de las piernas del piloto, considerando que la altura sea suficiente para que el volante no supere al arco frontal y en caso de existir una volcadura no esté en contacto con el suelo.

La altura del punto más alto del arco frontal desde la base del chasis es de 590 mm, la cual no impide la visión del piloto en ningún momento. De igual manera que el arco principal, las estructuras de impacto lateral se unirán con este arco, el cual considera una altura de 190 mm (sin contemplar la separación del chasis al suelo), como se muestra en la Fig. 12

### ***Resto de las estructuras***

Una vez definidas las estructuras principales del chasis, se relaciona la geometría utilizando otros planos y la herramienta de “Croquis 3D” para diseñar el atenuador de impacto lateral, los refuerzos

de los arcos, la estructura del plano frontal y demás geometrías, como se muestra en la Fig. 13.

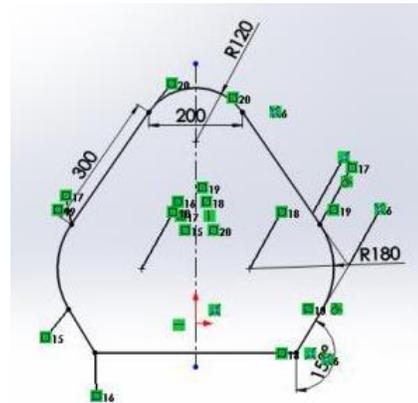


Fig. 12. Vista de frente del arco frontal.

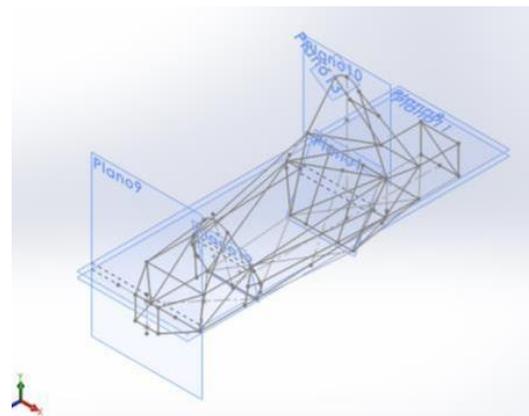


Fig. 13. Vista isométrica del chasis en la interfase de Solid Works 2012.

### ***MODELADO 3D DEL CHASIS***

Ya con la estructura finalizada se da paso al modelado 3D, las dimensiones utilizadas en los perfiles tubulares del chasis fueron agregadas a una nueva librería en el programa SolidWorks, estas dimensiones cumplen la norma mencionada en el

Reglamento Formula SAE 2013 con respecto a las estructuras tubulares.

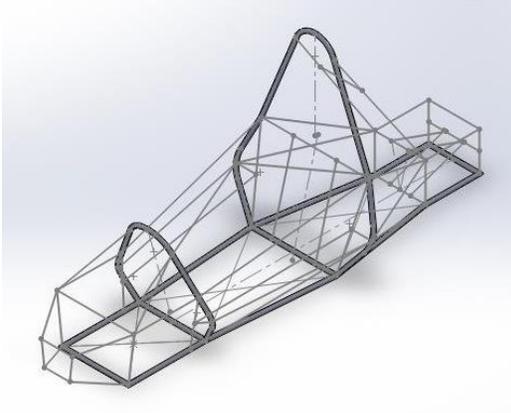


Fig. 14. Modelado 3D de las estructuras del chasis con perfil tubular.

Una herramienta importante de SolidWorks utilizada al finalizar el modelado del chasis, es el recorte de piezas estructurales, la cual nos permite eliminar excedentes de los perfiles tubulares con respecto a otros miembros o caras de contacto (como aparece en la Fig. 15), lo que al final nos ayudara a restar peso al calcular las propiedades físicas del chasis en un final.

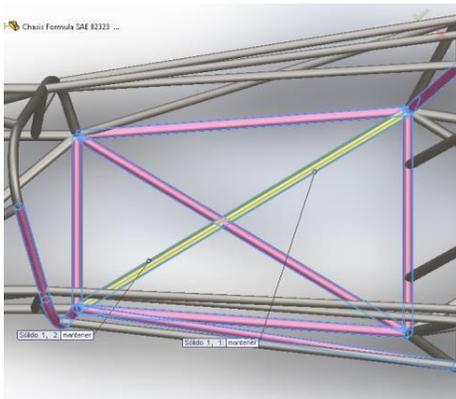


Fig. 15. Vista superior que muestra el recorte de material.

## SIMULACIÓN Y PRUEBAS

Una vez determinada la geometría del modelo y los materiales que serán analizados, se procede a simular los eventos estáticos para condiciones desfavorables, todas de impacto o colisión. El Reglamento Formula SAE 2013 indica las pruebas de impacto que deben realizarse para validar el diseño estructural del chasis, aplicando las fuerzas con respecto a la dirección indicada.

dónde:

- X es longitudinal
- Y es transversal
- Z es vertical

Todas las pruebas tienen un límite máximo de deformación de 25 mm.

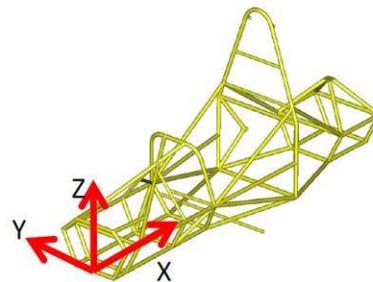


Fig. 16. Sistema de coordenadas en la vista isométrica del chasis.

### *Impacto frontal*

Ya con el modelo del chasis definido en cuanto a geometría y dimensiones de los perfiles tubulares, se determinaron las sujeciones o puntos fijos del chasis, que en este caso serán los presentes en la parte trasera del chasis, como lo muestra la Fig. 17.

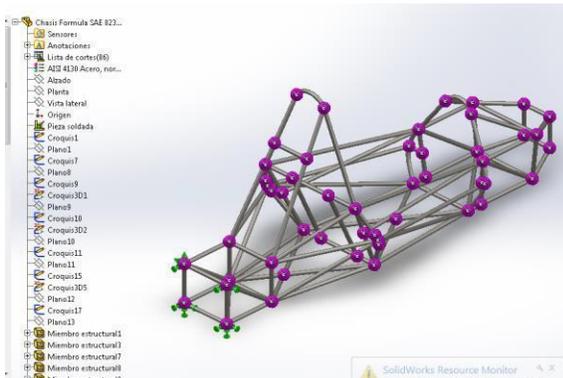


Fig. 17. Geometría fija del chasis para simular impacto frontal.

Posteriormente se aplicaron las cargas o fuerzas que actúan durante un impacto frontal en las estructuras del chasis de la parte delantera con respecto al plano de alzado como muestra la Fig. 18. El reglamento Formula SAE 2013 establece:

$$F_x = 150 \text{ kN}, F_y = 0 \text{ kN}, F_z = 0 \text{ kN}$$

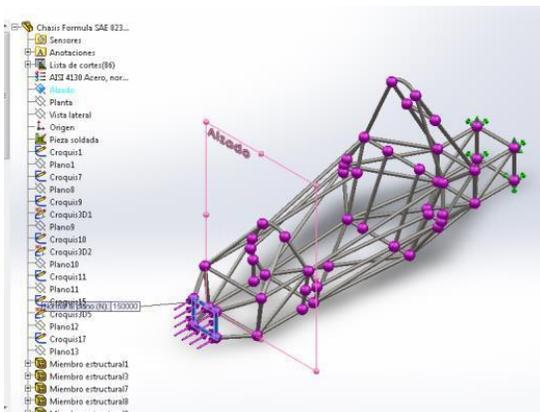


Fig. 18. Miembros estructurales a los que se aplica una fuerza para simular impacto un frontal.

Finalmente se determina si existen fallas en el chasis se realizara el mallado, donde SolidWorks inspeccionará la estructura antes de dar paso a la simulación

como lo muestra la Fig. 19. Si no existen fallas, se procederá a realizar el análisis.

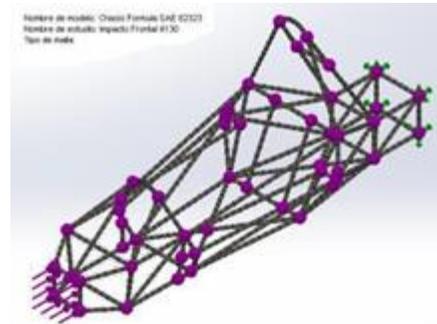


Fig. 19. Mallado sin defectos para simular impacto frontal.

### *Impacto lateral*

El análisis de la estructura ante un impacto lateral es de vital importancia debido a que en caso de presentarse una falla se pondría en riesgo la integridad del conductor, existen posibilidades de recibir un impacto lateral por otro vehículo en competencia o con cualquier estructura de protección de la pista en caso de perder el control. La simulación se realizó de la misma manera que el análisis para impacto frontal

Los puntos fijos de la estructura del chasis, que estarán justo en la parte posterior donde aplicaremos la fuerza en el costado del chasis, como lo muestra la Fig. 20.

Procedemos a aplicar las cargas de impacto en la estructura del chasis con respecto al plano lateral, en los miembros estructurales que protegen al piloto.

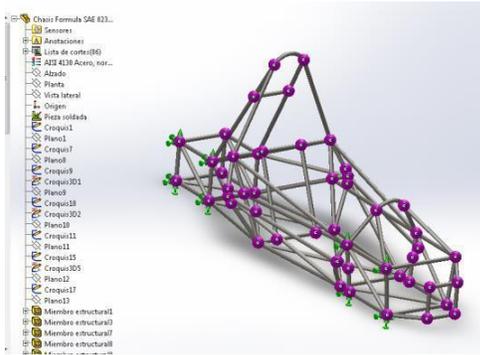


Fig. 20. Geometría fija del chasis para simular un impacto lateral.

El reglamento Formula SAE 2013 establece:

$$F_x = 0 \text{ kN}, F_y = 7 \text{ kN}, F_z = 0 \text{ kN}$$

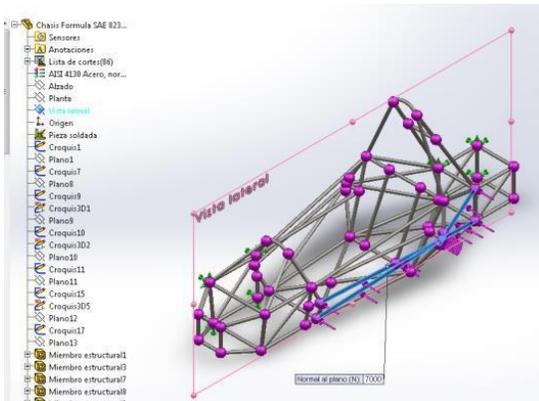


Fig. 21. Miembros estructurales a los que se aplica una fuerza para simular un impacto lateral.

Posteriormente como se mostró en los pasos de simulación de impacto frontal, se realiza el mallado de la estructura para detectar cualquier falla, de no presentar alguna, se procede a realizar el análisis. Este paso será el mismo para todas las pruebas a realizar.

### *Impacto de arco principal y frontal (Volcadura)*

Una volcadura pone en peligro al conductor en mayor escala que los impactos anteriores, debido a que una falla pondría en contacto el casco del piloto contra el suelo, afectando directamente su cabeza. Estas simulaciones se realizaron de la siguiente manera:

Se seleccionaron los puntos fijos del chasis al presentarse un giro en el vehículo, por lo tanto se fijara la base del chasis, de manera más grafica se muestra en la figura 22

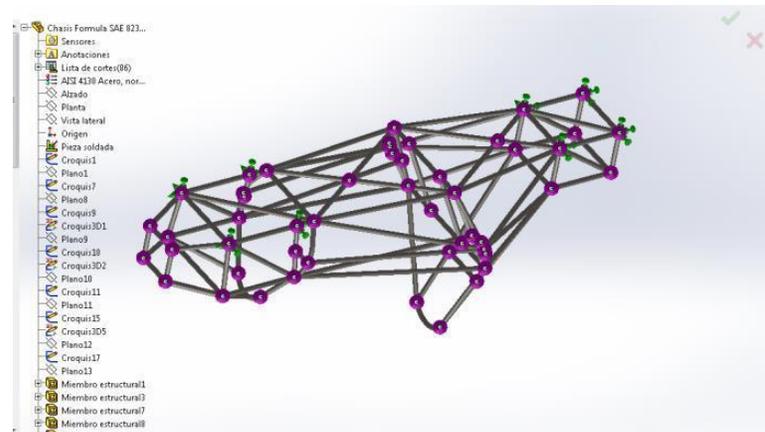


Fig. 22. Geometría fija del chasis para simular volcadura.

Una vez seleccionadas las sujeciones del chasis, se aplicó la fuerza de impacto en el punto más alto del miembro estructural de arco correspondiente con respecto al plano de planta. Ya que para ambas pruebas se realiza el mismo procedimiento y se aplican las mismas fuerzas, como lo muestra la Fig. 23.

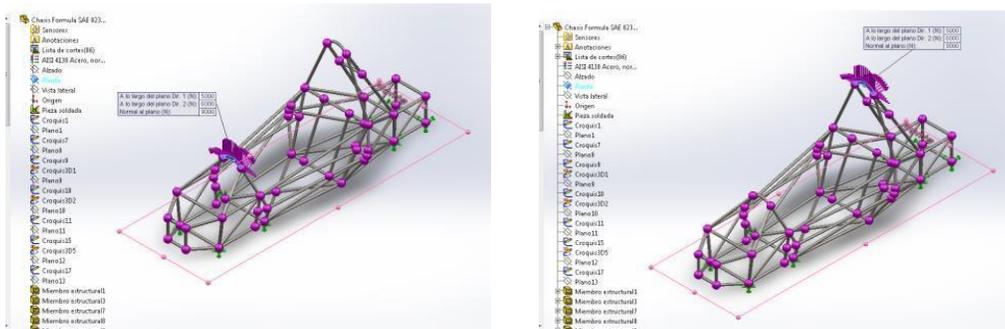


Fig. 23. Miembros estructurales a los que se aplica una fuerza para una volcadura (A la izquierda arco frontal, a la derecha arco principal)

## RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Para el arco principal y frontal del chasis inicial se utilizó perfil tubular de 25 mm de diámetro por 2.5 mm de espesor, para el resto de la estructura fueron seleccionados perfiles tubulares de 1.75 mm de espesor y 1.65 mm de espesor para los refuerzos y triangulaciones, dando un peso inicial de 46.62 kg.

## RESULTADOS DE IMPACTO FRONTAL

1) Se realizó el análisis de la estructura con un material de acero “SAE 1020” siendo este un material comúnmente utilizado para la fabricación de estructuras tubulares de vehículos pequeños.

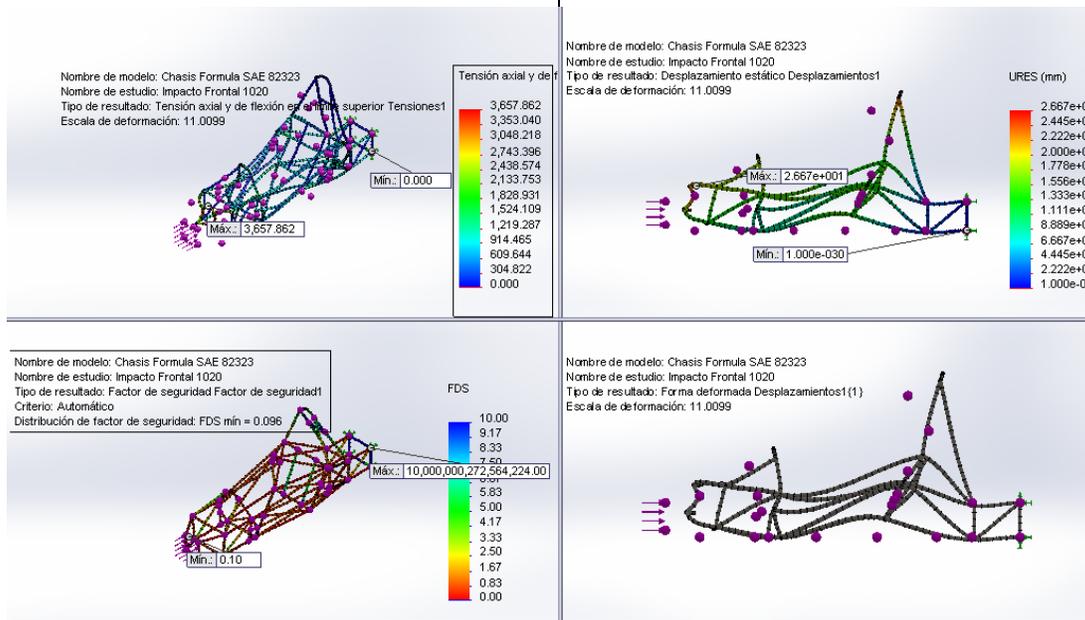


Fig. 24. Resultados de impacto frontal “SAE 1020” (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa). Abajo a la izq.: Factor de seguridad) (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm. Abajo a la der.: Desplazamientos).

Los datos obtenidos en esta prueba al momento del impacto frontal nos muestran que en algunas secciones de la estructura se presentan tensiones axiales y deflexiones altas con un valor de  $3.657.662\text{N/mm}^2$  (MPa). Como se puede apreciar en la figura, son pocos los puntos críticos, en la mayoría de la estructura no se presentan tensiones tan elevadas.

La figura nos muestra los desplazamientos que se pueden presentar en la colisión, donde en algunos puntos tal y como se indica existen desplazamientos de la estructura de  $26.6681\text{ mm}$  como máximo, y en otros puntos no presentan cambios en su estructura, con este resultado determinamos que la prueba ha fallado con un acero “SAE 1020”.

Otro resultado es el de factor de seguridad, que para este tipo de pruebas de

impacto, sus resultados serán bajos con respecto a lo esperado en situaciones normales de conducción, debido a las fuerzas aplicadas.

El factor de seguridad mínimo obtenido fue de 0.096, como lo muestra la figura.

2) Después se procedió a realizar un nuevo estudio de impacto frontal pero ahora con una material “SAE 4130”, este material es muy utilizado en la industria aeronáutica y en la automotriz porque sus propiedades aumentan considerablemente sus condiciones de trabajo.

Como se puede apreciar en la Fig. 25 los puntos de tensiones y flexiones han disminuido a pesar de que las magnitudes siguen siendo altas el cual nos dan un valor  $3155.852\text{N/mm}^2$  (MPa) en los puntos máximos.

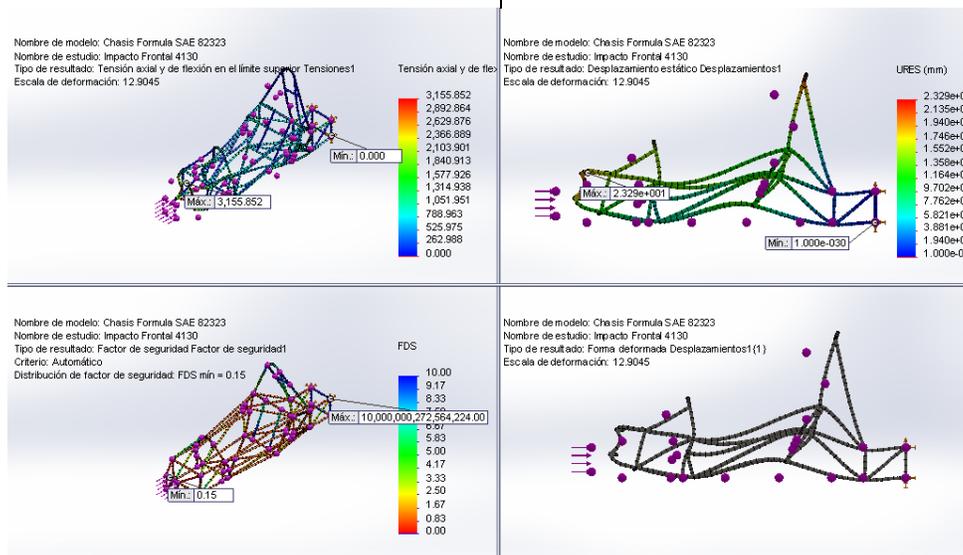


Figura 25. Resultados de impacto frontal “SAE 4130”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa). Abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en  $\text{mm}$ . Abajo a la der.: Desplazamientos).

En algunas secciones de la estructura los desplazamientos que sufren los tubulares son como máximo de  $23.286\text{mm}$  como lo muestra la figura 4.6, que a pesar de estar cerca del límite de deformación máxima permitido, cumple con su función.

Por último, el factor de seguridad mínimo obtenido es de 0.15, como lo muestra la figura.

### IMPACTO LATERAL

1) En la Fig. 26, se muestran los puntos donde existe mayor tensión, en este

caso el estudio está realizado con el material “SAE 1020” donde se presenta como máximo  $752.874\text{ N/mm}^2$  (MPa).

Se pueden observar los desplazamientos que sufre la estructura, resultando en un desplazamiento máximo de  $13.4815\text{mm}$  con un material “SAE 1020”.

Finalmente el factor de seguridad más bajo obtenido para esta prueba fue de 0.47, como lo muestra la figura.

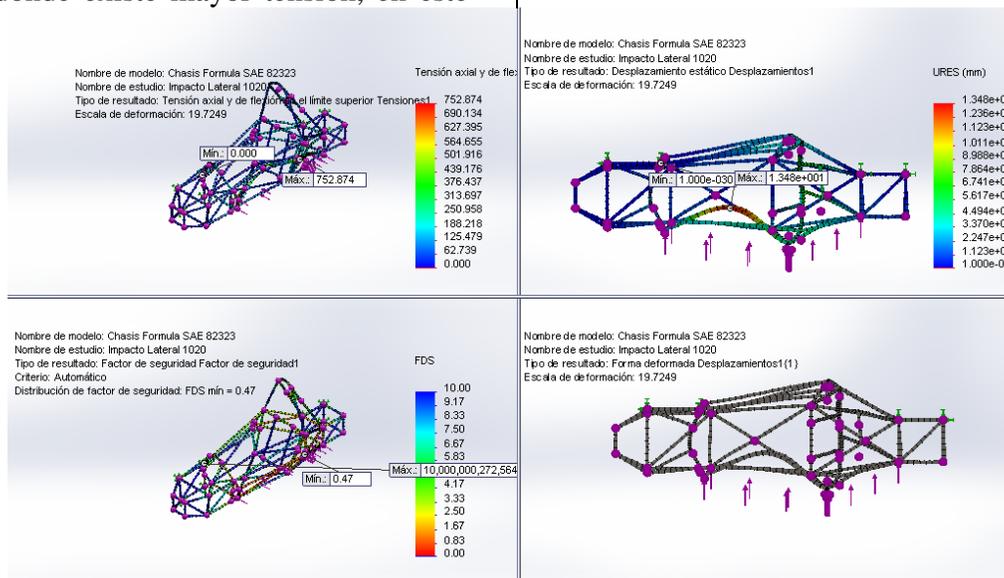


Fig. 26. Resultados de impacto lateral “SAE 1020”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa). Abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en  $\text{mm}$ . Abajo a la der.: Desplazamientos)

2) El estudio se realizó también para un material “SAE 4130”, donde se obtuvo una tensión menor en comparación al acero “SAE 1020”, teniendo como resultado una tensión máxima de  $649.916\text{ N/mm}^2$  (MPa), como se muestra en la Fig. 27

Se pueden observar los desplazamientos que sufre la estructura,

donde su desplazamiento máximo fue de  $11.3585\text{mm}$ .

El factor de seguridad mínimo reflejó un incremento en comparación al material “SAE 1020”, siendo de 0.71 para esta prueba.

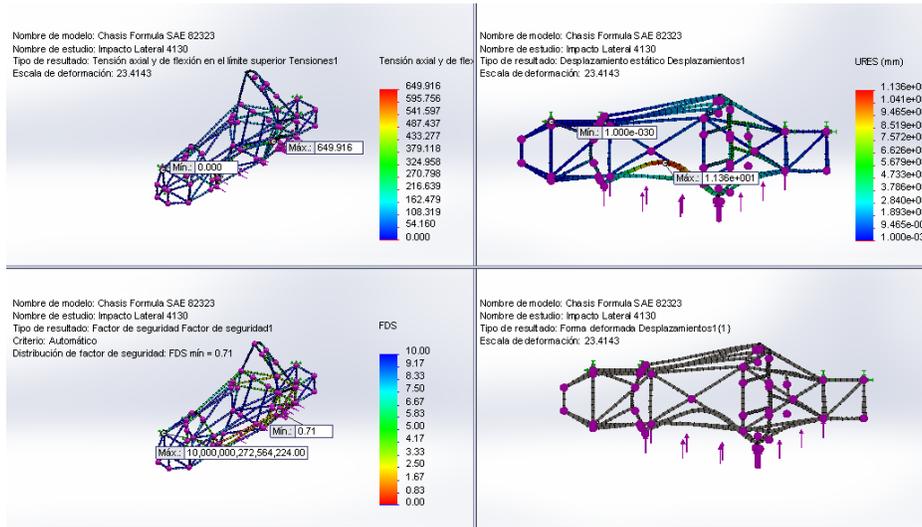


Figura 27. Resultados de impacto lateral “SAE 4130”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

**IMPACTO DE ARCO PRINCIPAL (VOLCADURA)**

1) En la figura 28, se muestran tensiones presentes al momento de una

volcadura, cuando se utiliza un material “SAE 1020” se obtiene como máximo una tensión axial de  $526.74 N/mm^2$  (MPa).

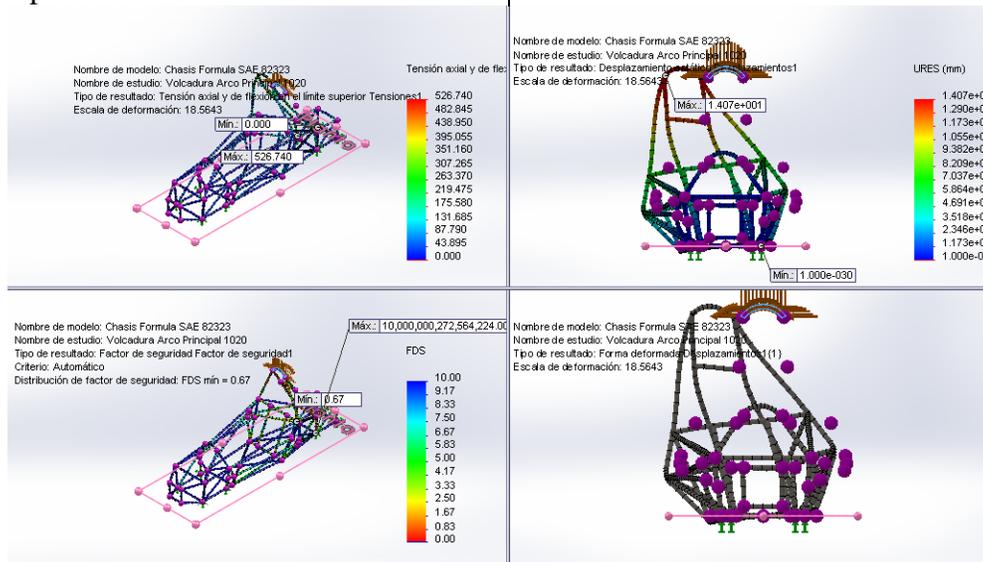


Fig. 28. Resultados de impacto arco principal (Volcadura) “SAE 1020”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

2) Los resultados obtenidos utilizando un material “SAE 4130”, fueron aceptables, aquí la tensión máxima disminuye con respecto al acero “4130” 474.326 N/mm<sup>2</sup> (MPa), estos datos se pueden identificar en la Fig. 29.

El desplazamiento máximo resultante de la volcadura con un material “SAE 4130” es de 12.1265 mm, estos valores se pueden identificar en la figura 4.10 El factor de seguridad mínimo obtenido en esta prueba fue de 0.97, mejorando el resultado obtenido por el acero “SAE 1020”.

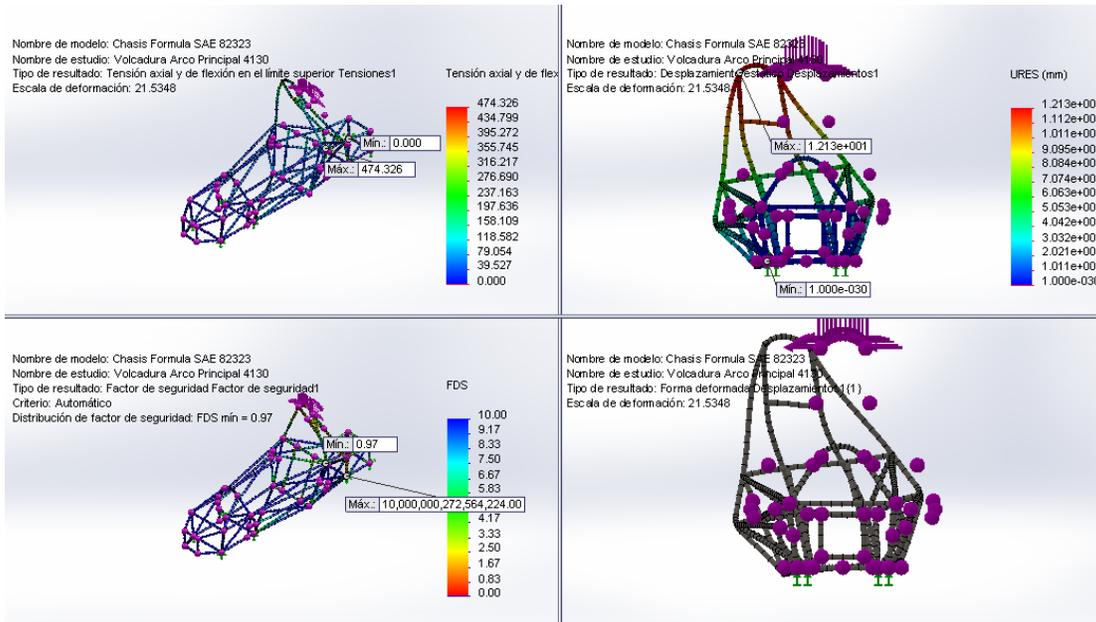


Fig. 29. Resultados de impacto arco principal (Volcadura) “SAE 4130” (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad) (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

### IMPACTO DE ARCO FRONTAL (VOLCADURA)

1) En la figura 30, se muestran los puntos donde se presentan mayor tensión en la estructura del chasis, cuando se utiliza un material “SAE 1020” se obtiene como máximo una tensión axial de 655.055 N/mm<sup>2</sup> (MPa).

El desplazamiento máximo de la estructura fue de 4.39683 mm, el cual se puede observar.

El factor de seguridad mínimo obtenido fue de 0.63.

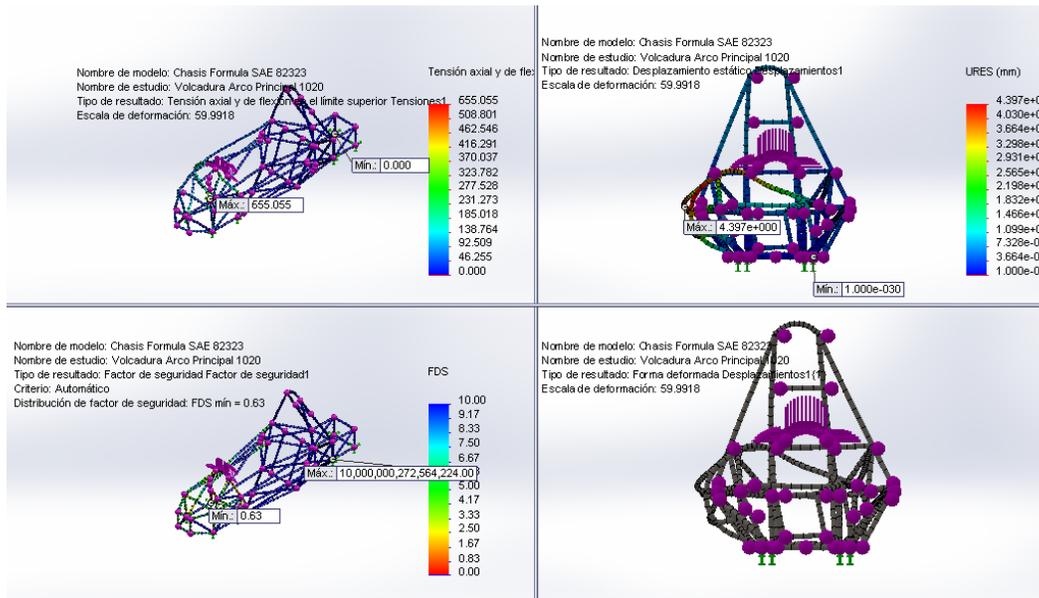


Figura 30. Resultados de impacto arco frontal (Volcadura) “SAE 1020”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

2) Otra prueba realizada con acero “SAE 4130” muestra la tensión máxima disminuye a una magnitud de 573.744 N/mm<sup>2</sup> (MPa), estos datos se pueden

identificar en la Fig. 31, donde se puede observar que el desplazamiento máximo de la prueba fue de 4.06704 mm.

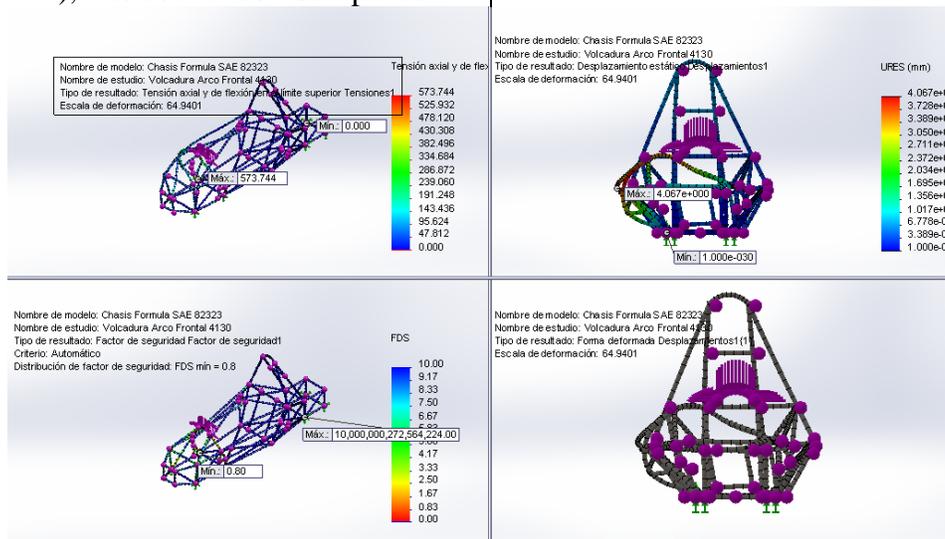


Fig. 31. Resultados de impacto arco frontal (Volcadura) “SAE 4130”  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos).

## PRUEBAS DEL DISEÑO FINAL

Las pruebas de impacto realizadas al chasis nos sirvieron para, en base a los resultados obtenidos, seleccionar el material propuesto para el diseño. El acero “SAE 4130” tuvo mejores resultados y nunca se vio superado por el acero “SAE 1020”.

A pesar de que el proyecto solo propone la estructura del chasis para un

vehículo Formula SAE, habrán de realizarse las pruebas finales, menos agresivas que las anteriores, simulando situaciones normales de funcionamiento del vehículo en su totalidad.

El diseño final propuesto, resultó con un peso final de 50.99 kg como se muestra en la Fig. 32 y su centro de gravedad a 22.5 cm con respecto al suelo.

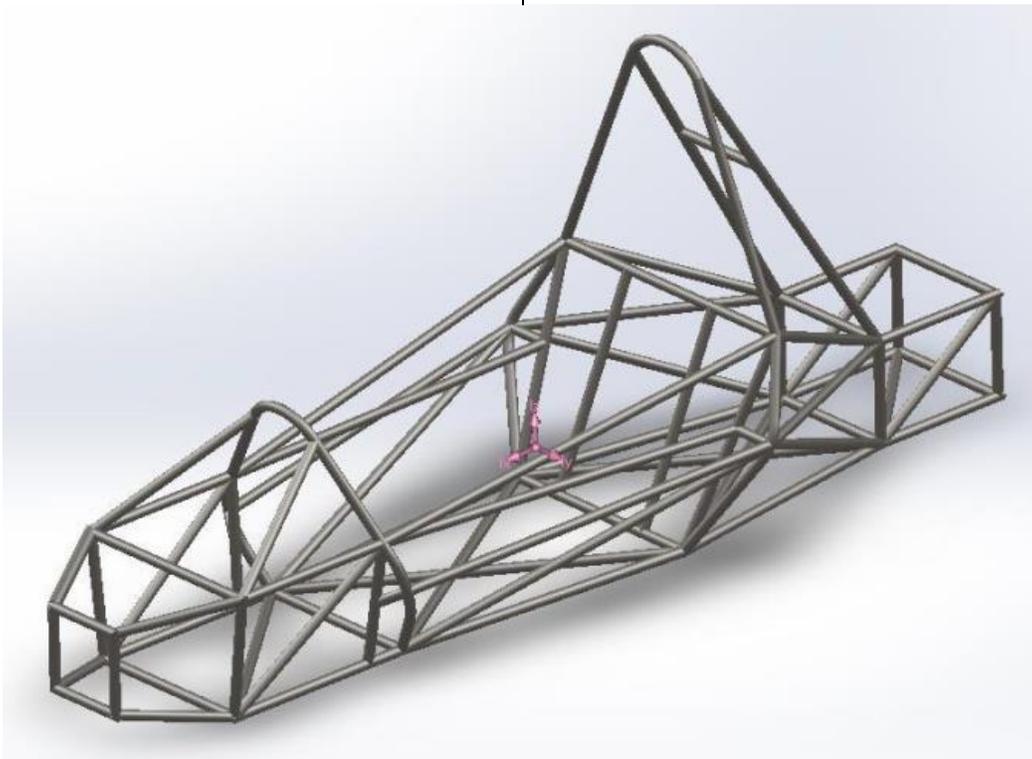


Fig. 32. Posición del centro de gravedad del diseño final.

Debido a que solo conocemos el peso del chasis, realizaremos las pruebas finales con la suma de los valores de las masas en el vehículo mas el chasis, con un peso final del vehículo de 400 kg, que a pesar de superar el peso que podría obtenerse, nos servirá de holgura para realizar las pruebas más fielmente.

Todas las pruebas del diseño final se simularan con perfiles tubulares de acero “SAE 4130” de 25.4 mm de diámetro y 2mm de espesor

## PRUEBAS DE REMOLQUE

Esta prueba consiste en simular que al presentarse una falla mecánica en el vehículo, habría de recibir asistencia debiendo ser jalado de la última pieza estructural del chasis, para poder ser arrastrado como se muestra en la Fig. 33. Como se determinó el peso del vehículo será de 400 kg.

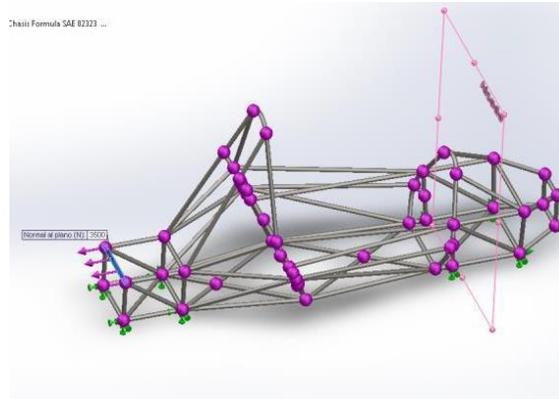


Fig. 33. Miembro estructural al que se le aplicará una fuerza para simular el remolque.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 34):

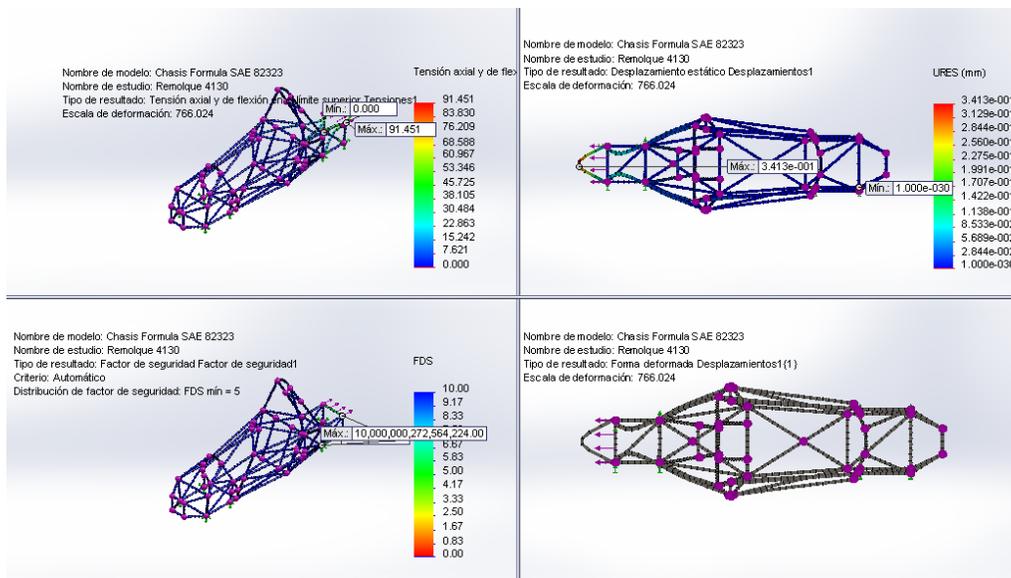


Fig. 34. Resultados de prueba de remolque.

- Tensión máxima de 91.451 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 0.341318 mm
- Factor de seguridad mínimo de 5.03002

## PRUEBA DE ACELERACIÓN

Se realizó la simulación de aceleración ( $0.7 g$ ) con un peso aproximado del vehículo y sus componentes de  $400 kg$ . Cada miembro estructural del chasis actuara con una fuerza aproximada de  $32 N$ , como aparece en la Fig. 35.

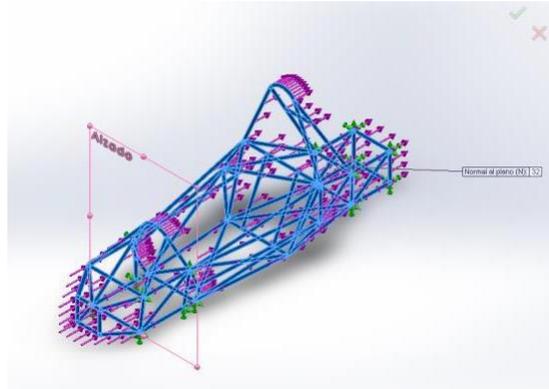


Fig. 35. Aplicación de las fuerzas y sujeciones para simular la aceleración.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 36):

- Tensión máxima de  $11.4263 N/mm^2$  (MPa)
- Desplazamiento máximo de  $0.107201 mm$
- Factor de seguridad mínimo de  $40.2581$

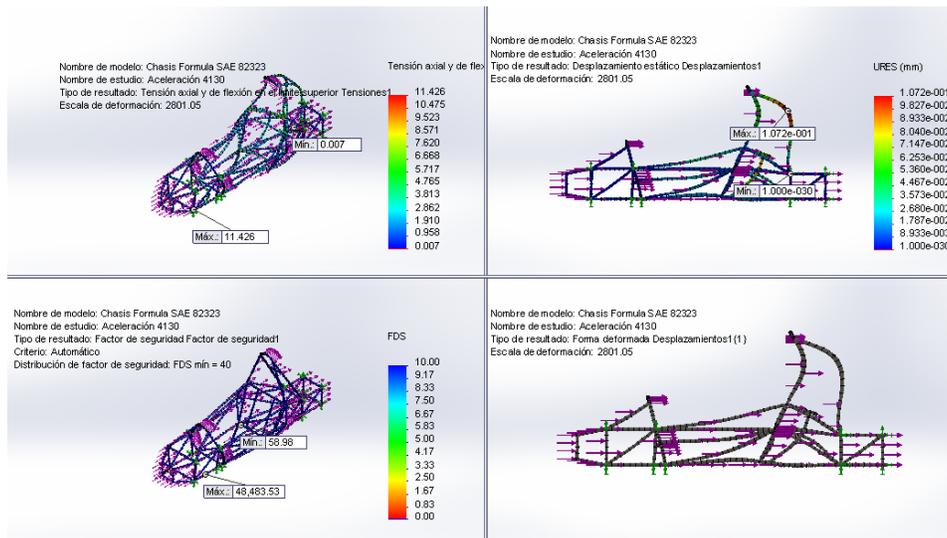


Fig. 36. Resultados de prueba de aceleración  
(Arriba a la izq.: Tensiones en  $N/mm^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
(Arriba a la der.: Desplazamientos en  $mm$ , abajo a la der.: Desplazamientos)

## PRUEBA DE FRENADO

Esta prueba es similar a la de aceleración, cambiando el sentido. Se realizó la simulación de frenada (1.2 g) con un peso aproximado del vehículo y sus componentes de 400 kg. Cada miembro estructural del chasis actuara con una fuerza aproximada de 55 N como se muestra en la Fig. 37

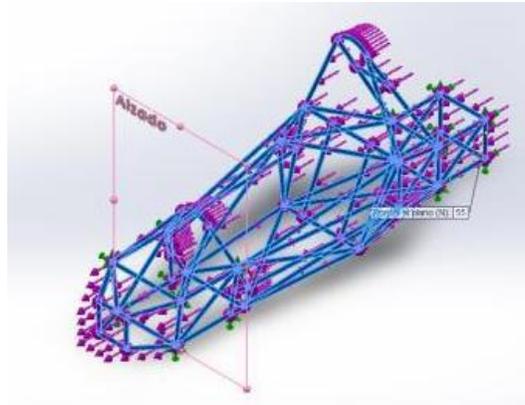


Fig. 37. Aplicación de las fuerzas y sujeciones para simular el frenado

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 38):

- Tensión máxima de 19.6389 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 0.184251 mm
- Factor de seguridad mínimo de 23.4229

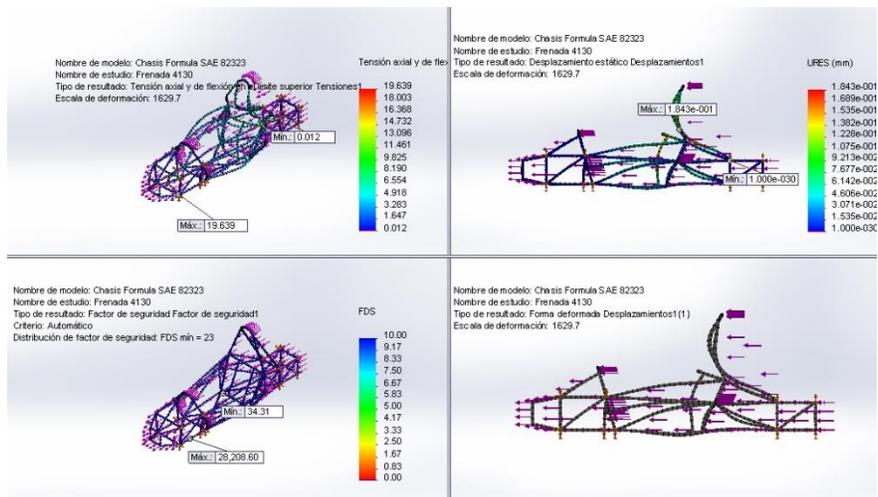


Fig. 38. Resultados de prueba de frenado  
(Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
(Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

## PRUEBA DE VIRAJE CURVA.

Es una prueba similar a la de frenada cambiando el sentido de las fuerzas. Se realizó la simulación de curva (1.5 g) con un peso aproximado del vehículo y sus componentes de 400 kg. Cada miembro estructural del chasis actuara con una fuerza aproximada de 69 N, como aparece en la Fig. 39.

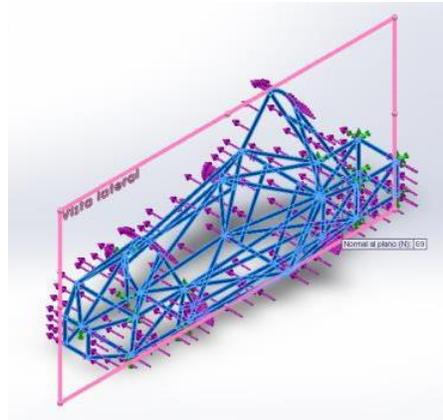


Fig. 39. Aplicación de las fuerzas y puntos de sujeción para simular el entrar a una curva.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 40):

- Tensión máxima de 34.7957 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 0.728965 mm
- Factor de seguridad mínimo de 13.22

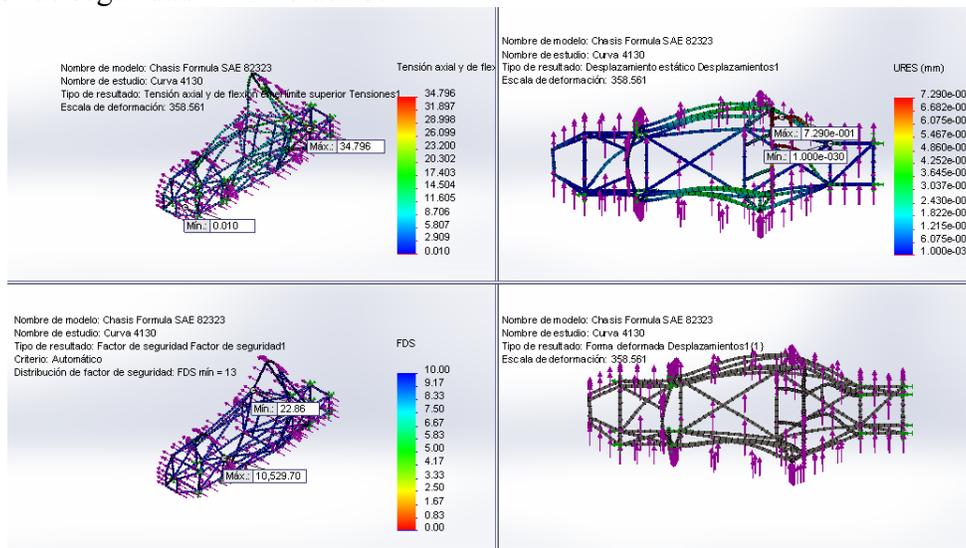


Figura 40. Resultados de prueba de curva  
(Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
(Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

## PRUEBA DE FLEXIÓN

Se realizó el estudio de flexión al chasis, distribuyendo el peso aproximado del vehículo y sus componentes de 400 kg ( $F_z = 3920$  N) entre los 86 miembros estructurales que lo componen, se fijaron las estructuras donde se montaría la suspensión y se aplicó la fuerza en el eje “z”, como aparece en la Fig. 41

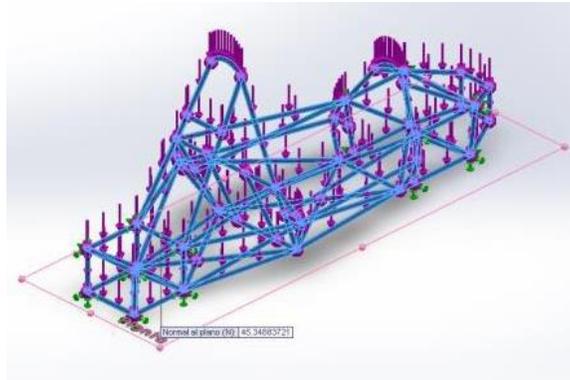


Fig. 41. Aplicación de las fuerzas y sujeciones realizar el estudio de flexión.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 42):

- Tensión máxima de  $10.4685 \text{ N/mm}^2$  (MPa)
- Desplazamiento máximo de  $0.105602 \text{ mm}$
- Factor de seguridad mínimo de 43.9414

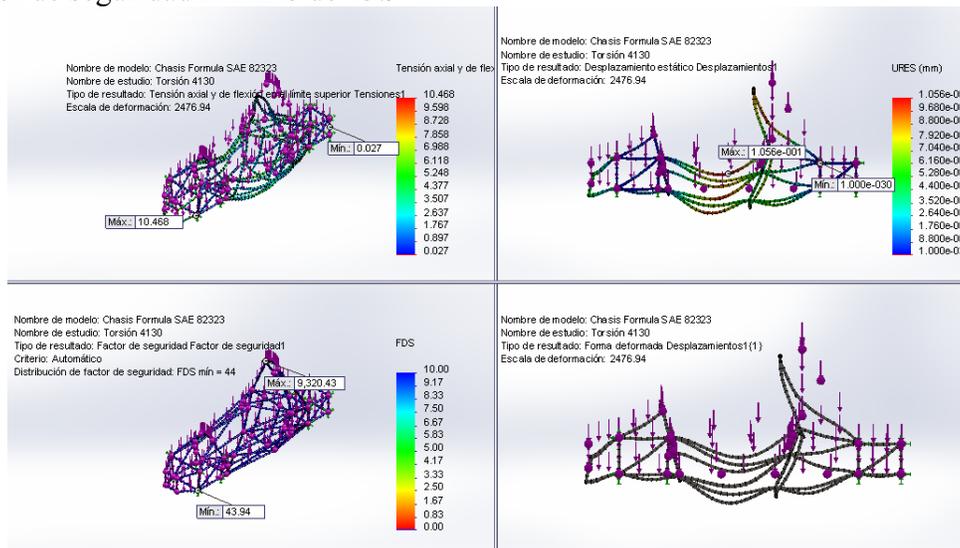


Fig. 42. Resultados de prueba de flexión  
 (Arriba a la izq.: Tensiones en  $\text{N/mm}^2$  (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
 (Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos)

## PRUEBA DE TORSIÓN

Esta prueba es muy representativa, ya que este es un desplazamiento dinámico normal en los vehículos. Para este estudio se fijaran las estructuras donde deberá ir la suspensión trasera y se aplicaran dos fuerzas equivalentes a las 400 kg ( $F_y = 3920$  N,  $F_z = 3920$  N) que se vienen manejando como el peso del vehículo, en las estructuras de suspensión delantera. Como se aprecia en la Fig. 43.

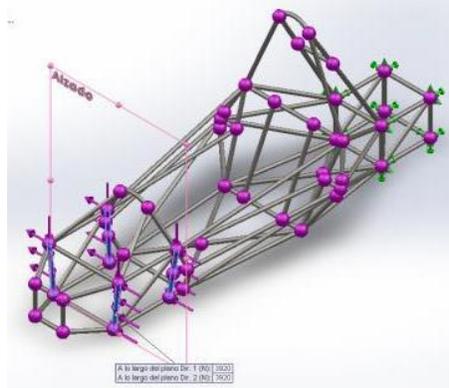


Fig. 43. Aplicación de las fuerzas y sujeciones realizar el estudio de torsión

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron los siguientes (Fig. 44):

- Tensión máxima de 71.269 N/mm<sup>2</sup> (MPa)
- Desplazamiento máximo de 4.026 mm
- Factor de seguridad mínimo de 6.45

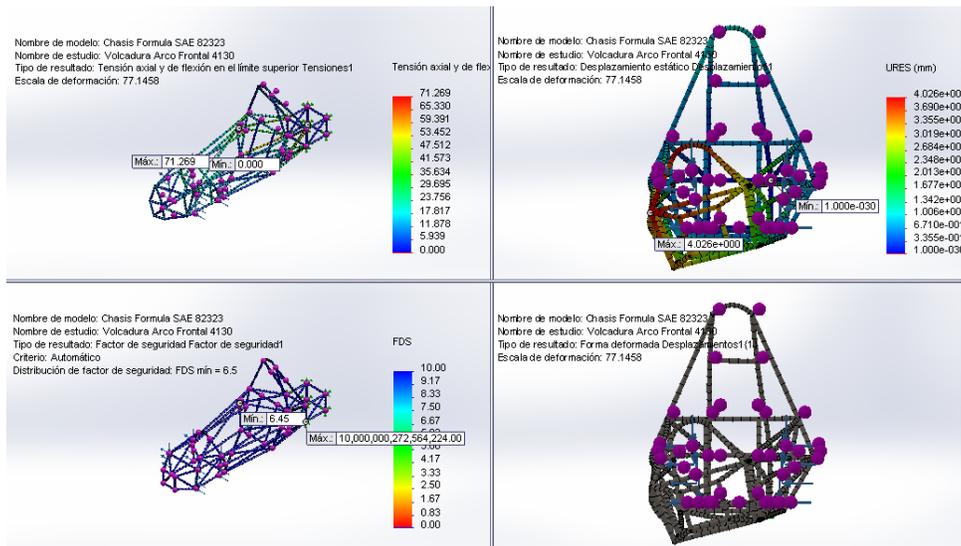


Figura 44. Resultados de prueba de torsión  
(Arriba a la izq.: Tensiones en N/mm<sup>2</sup> (MPa), abajo a la izq.: Factor de seguridad)  
(Arriba a la der.: Desplazamientos en mm, abajo a la der.: Desplazamientos).

## CONCLUSIONES

El diseño final del chasis para un vehículo Formula SAE se desarrolló a lo largo del proyecto con apego a los requerimientos y restricciones del Reglamento Oficial 2013, obteniendo resultados favorables en las distintas simulaciones de impacto, ya que estos no influyen o alteran el buen funcionamiento de la estructura, ninguno de los resultados presentó una deformación mayor a los 25 *mm*.

Para las simulaciones en condiciones normales de funcionamiento, se obtuvieron resultados muy favorables, ya que las tensiones máximas son bajas, los desplazamientos son casi imperceptibles y el factor de seguridad alto, lo que nos asegura que no debe existir falla en la estructura. Se puede resumir el chasis como una estructura

rígida, lo que puede significar una conducción incómoda, pudiéndose compensar desarrollando un sistema de suspensión que se ajuste a esta necesidad.

Las simulaciones realizadas en el programa SolidWorks 2012 permitieron comprender de forma más intuitiva y rápida el comportamiento de los materiales. Con lo que se pudo determinar el material propuesto para el modelo final, acero “SAE 4130” de 25.4 *mm* de diámetro y 2 *mm* de espesor, el cual tuvo resultados contundentes contra los obtenidos de un material de uso común en este tipo de estructuras (acero “SAE 1020”).

El chasis propuesto fue diseñado con perfiles tubulares del mismo diámetro exterior, lo que facilitaría el ensamble de los miembros estructurales.

---

---

## Sistema neuro-difuso para el control de atributos de calidad en inyección de plásticos

Alejandro Alvarado Iniesta, Roberto Romero López, Rey David Molina Arredondo, Salvador López Jiménez Rascón

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

El presente trabajo presenta un híbrido de redes neuronales artificiales y lógica difusa aplicado para la optimización y control del proceso de inyección de plásticos. El objetivo de este estudio es mantener bajo control atributos de calidad de componentes plásticos mediante la manipulación de ciertos parámetros. El software de análisis de elemento finito “Moldflow” es empleado para simular el proceso de inyección. Como resultado se obtiene un sistema de lazo cerrado capaz de mantener bajo control en todo instante los atributos. Los resultados muestran una mejora significativa después de cada iteración del sistema hasta lograr los resultados deseados.

**Palabras clave:** Lógica Difusa, Redes Neuronales Artificiales, Inyección de Plásticos, Control Moderno

### INTRODUCCIÓN

El proceso de inyección de plásticos se ha caracterizado por ser uno de los procesos de manufactura más versátiles con una extensa variedad y gran volumen de producción de componentes plásticos, los cuales son utilizados prácticamente en cada área de la industria (Rosato y Rosato, 1995). Ciertamente, el proceso parece ser muy simple; sin embargo, existen diversas fuentes de variación las cuales lo hacen difícil de controlar. Tales variaciones son inherentes debido a su complejidad, no linealidad e incertidumbre. Además, existen otros factores como lo son el mismo material, diseño del molde, condiciones ambientales, y hasta la interacción humana. Estos cambios afectan la calidad del producto terminado, la cual impacta los tiempos de ciclo y productividad, influyendo en los costos de las empresas del ramo.

En general, un componente plástico moldeado depende de los parámetros

involucrados en el proceso, que típicamente son establecidos y/o ajustados por los operadores y su experiencia. Hoy en día, las empresas no pueden darse el lujo de seguir con estos procedimientos, ya que consumen tiempo y son costosos, lo cual no puede ser permitido debido a la competitividad global que existe. En la actualidad, existen numerosas técnicas para el control y optimización de procesos como lo son los métodos estadísticos y sistemas de inteligencia artificial como lo es “Soft computing”; refiriéndose principalmente a técnicas como lo son la lógica difusa, redes neuronales artificiales, y algoritmos evolutivos. Diversos autores han enfocado su trabajo en el desarrollo y aplicación de estas técnicas ; en relación al proceso de inyección de plásticos, resulta muy conveniente el uso de estos enfoques ya que no requieren de un modelo matemático explícito (Lau et al.,1999; Lotti y Bretas, 2006; Spina, 2006; Liao et al., 2007; Changyu et al., 2007; Shie, 2008a; Shie,

2008b; Chen et al., 2009; Lin y Lian, 2009; Altan, 2010; Huang, 2011; Yin et al., 2011).

Como se mencionó anteriormente, pueden surgir ciertos defectos de calidad en producto terminado (acabado superficial deficiente, coloración deficiente, alabeo, líneas de flujo, encogimiento, rebaba, contaminación, etc.) si el valor en los parámetros del proceso de inyección es erróneamente establecido (temperaturas, presiones, velocidades, tiempos, etc.) Durante una corrida de producción normal, existen variaciones debido a la interacción de todas las variables involucradas y el entorno; comúnmente, los parámetros son ajustados manualmente por los operadores según su criterio y experiencia para lidiar con dicha variabilidad. Sin embargo, esto ya no puede ser permitido debido a la gran diversidad que puede existir en estos criterios. Por lo tanto, surge la necesidad de contar con un sistema capaz de contrarrestar los cambios inherentes del sistema y así mantenerlo bajo control en todo momento. Por consiguiente, este trabajo presenta un sistema neuro-difuso capaz de adaptarse a las variaciones del proceso de inyección combinando las fortalezas de la lógica difusa y las redes neuronales artificiales para obtener el cambio en cada parámetro de ser necesario. El objetivo es mantener bajo control tres atributos de calidad como lo son la deformación de la pieza, encogimiento, y peso final. Cinco parámetros del proceso son contemplados ya que son considerados como críticos en la variabilidad de los atributos de calidad (temperatura de plástico, temperatura de molde, presión de empaque, tiempo de empaque, y tiempo de enfriamiento (Huang y Tai, 2001; Erzurumlu y Ozcelik, 2006; Ozcelik y Sonta, 2009; Deng et al., 2010; Farshi et al., 2011). El

trabajo está dividido como se describe a continuación: la siguiente sección presenta la descripción de la metodología. La sección subsecuente presenta un ejemplo ilustrativo, y finalmente las conclusiones son presentadas en la última parte de este documento.

## **METODOLOGÍA**

Inyección de plásticos es un proceso altamente no lineal en el cual un modelo matemático exacto no existe. Es un sistema complejo y dinámico donde la experiencia humana es parte esencial. Usualmente, esta experiencia es expresada a través de reglas lingüísticas Si-entonces que expresan una situación y una acción (Wang y Mendel, 1992). Típicamente, se puede encontrar información de cualquier proceso ya sea en forma lingüística o numérica. Tomando esto como referencia, este trabajo presenta un modelo neuro-difuso el cual combina la fortaleza de las redes neuronales artificiales (información numérica) y la lógica difusa (información lingüística). Lógica difusa es una metodología la cual a través de reglas Si-entonces, comúnmente generadas por el conocimiento de un experto(s) (información lingüística), describe la estrategia de respuesta. Las redes neuronales artificiales son modelos matemáticos en su forma más simple del cerebro humano, que pueden aceptar un gran número de entradas y aprender de un conjunto de muestras (información numérica). Así, el objetivo es combinar ambas metodologías para general el conjunto de reglas difusas (Si-entonces) mediante redes neuronales, y, lógica difusa para obtener el grado de corrección, por medio de un proceso de inferencia, de cada parámetro con la finalidad de mantener el proceso bajo control.

El sistema neuro-difuso, Fig. 1, es desarrollado para mantener bajo control los atributos de calidad de piezas moldeadas mediante el control de los parámetros del proceso de inyección de plásticos. Dicho control se lleva a cabo mediante un sistema de lazo cerrado el cual hace los ajustes correspondientes empleando el concepto lógica difusa. El proceso de inferencia (mapear un espacio de entrada en uno de salida) en lógica difusa se lleva a cabo mediante la evaluación de un conjunto de reglas difusas, las cuales son generadas comúnmente por un experto o conjunto de expertos sobre algún tema en específico. En el presente trabajo, el conjunto de reglas es generado de un conjunto de datos históricos del proceso. Los atributos de calidad considerados son: la deformación, encogimiento, y peso del componente plástico. Los parámetros del proceso

utilizados son la temperatura del plástico, temperatura del molde, presión de empaque, tiempo de empaque, y tiempo de enfriamiento. Los pasos a seguir para la obtención del sistema son explicados en las siguientes subsecciones.

### Entrenamiento de la red neuronal artificial

El objetivo de utilizar redes neuronales es que aprendan la relación entre un conjunto de datos de entrada y de salida para la generación de reglas difusas. Para esto, se aplica una red neuronal inversa, donde las entradas son los atributos de calidad, y la salida son los parámetros del proceso. La Fig. 2 muestra una representación del diseño de la red. El algoritmo de aprendizaje empleado es el de propagación hacia atrás.

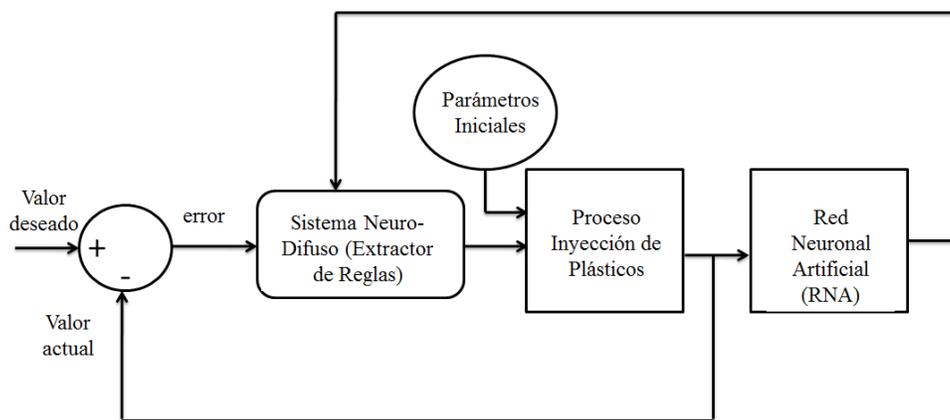


Fig. 1. Sistema Neuro-Difuso

### Generación de reglas de la salida de la red neuronal

La red neuronal muestra la relación que existe entre los atributos de calidad y los parámetros involucrados. De este modo, si

existe alguna variación en alguno de los atributos, la respuesta de la red provee un cambio en los parámetros como posible causa de variación. Durante el proceso de generación de las reglas, las entradas y salidas de la red neuronal son fusificadas en

términos lingüísticos. De este modo, las reglas difusas son generadas de datos

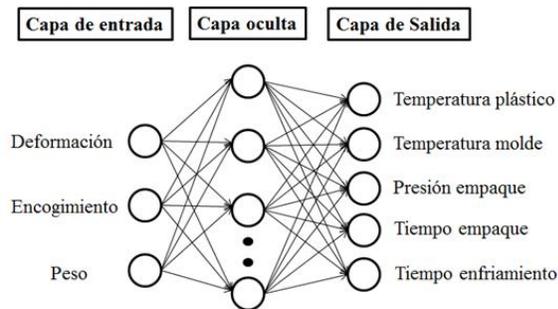


Fig. 2. Diseño de red neuronal artificial

Asumiendo un conjunto de datos entrada-salida,  $(x_1^1, x_2^1; y_1^1), (x_1^2, x_2^2; y_1^2)$ , donde  $x_1$  y  $x_2$  son entradas, y  $y_1$  es la salida. El objetivo aquí es obtener las reglas de estos datos, para lo cual la metodología es dividida en cuatro pasos.

#### Dividir los espacios de entrada y salida en regiones difusas

Suponiendo que los intervalos de dominio de  $x_1$ ,  $x_2$  y  $y_1$  son  $[x_1^-, x_1^+]$ ,  $[x_2^-, x_2^+]$  y  $[y_1^-, y_1^+]$  respectivamente, cada intervalo es dividido en regiones (conjuntos difusos), y pueden ser denotados por ejemplo como, pequeño, mediano, grande; donde una función de pertenencia es asignada a cada región. La Figura 3 muestra un ejemplo donde el intervalo de dominio de  $x_1$ ,  $x_2$  y  $y_1$  es dividido en tres regiones respectivamente. Para este caso en particular, se eligen funciones de pertenencia triangulares por simplicidad; sin embargo, diferentes funciones pueden ser consideradas, así como el número para cada variable.

#### Generar reglas difusas de datos numéricos

numéricos como se muestra a continuación.

Como primer paso, se establece el grado de significancia para cada variable. Por ejemplo, la Fig. 3 muestra que la variable  $x_1$  tiene un grado de 0.1666 en *Mediano* y 0.5 en *Grande* para  $x_1 = 9.5$ ; de igual manera,  $x_2$  tiene un grado de 0.8333 en *Mediano* para  $x_2 = 6.5$ . Asimismo,  $y_1$  tiene un grado de 1 en *Alto* cuando  $y_1 = 11$ . Segundo, se asigna una región para  $x_1, x_2, y_1$  de acuerdo al máximo valor de grado. Es decir,  $x_1$  es considerado *Grande*,  $x_2$  es *Mediano* y  $y_1$  es *Alto*. Finalmente, se obtiene la regla de la forma:

$$(x_1^1(9.5), x_2^1(6.5); y_1^1(11)) = \text{SI } x_1 \text{ es Grande y } x_2 \text{ es Mediano, ENTONCES } y_1 \text{ es Alto} \leftarrow \text{Regla 1}$$

#### Asignar grado a cada regla

Dado que es conveniente tener un gran conjunto de datos para entrenar a la red neuronal, cada muestra genera una regla como se muestra en el punto anterior. Por lo tanto, es bastante probable tener reglas en conflicto, es decir reglas con el mismo antecedente, pero diferente consecuente (Mismo SI, diferente ENTONCES). Una manera de lidiar con esta problemática es asignar un grado a cada regla, y tomar la regla con máximo grado. Para ilustrar, se considera la regla SI  $x_1$  es *A* y  $x_2$  es *B*, ENTONCES  $y_1$  es *C*; el grado de la regla, denotado por  $D$  (Regla), está dado por:

$$D(\text{Regla}) = \mu_A(x_1)\mu_B(x_2)\mu_C(y_1)$$

Para demostrar, considerando el mismo ejemplo, donde la Regla 1 es: SI  $x_1$  es *Grande* y  $x_2$  es *Mediano*, ENTONCES  $y_1$  es *Alto*, el grado de la regla es  $D(\text{Regla1}) =$

$$\mu_{GRANDE}(x_1)\mu_{MEDIANO}(x_2)\mu_{ALTO}(y_1) = (0.5)(0.8333)(1) = 0.4167$$

### Crear una base de reglas difusas

La Fig. 4 muestra una base de reglas difusas en base al ejemplo presentado. Los espacios vacíos son llenados con reglas generadas ya sea con información numérica o lingüística. Si más de una regla aplica para el mismo espacio, se elige la regla con máximo grado (en caso de que una sea asignada por un experto, este mismo puede asignar un grado para dicha regla). De este modo, información lingüística y numérica pueden ser codificadas dentro de un mismo marco.

### Proceso de Inferencia Difusa

El proceso de obtener la salida de una regla difusa es conocido como inferencia o razonamiento difuso. Para este estudio, el modelo de Mamdani es adoptado como proceso de inferencia. Dicho modelo obtiene la salida de la forma,

$$R_x(y) = \bigvee_{i=1}^n A_i(x) \wedge B_i(y)$$

Para un conjunto extendido de reglas,

$$R_x(y) = R(x_1, x_2, \dots, x_k, y) =$$

$$\bigvee_{i=1}^n (A_{i1}(x_1) \wedge A_{i2}(x_2) \wedge \dots \wedge A_{ik}(x_k) \wedge B_i(y))$$

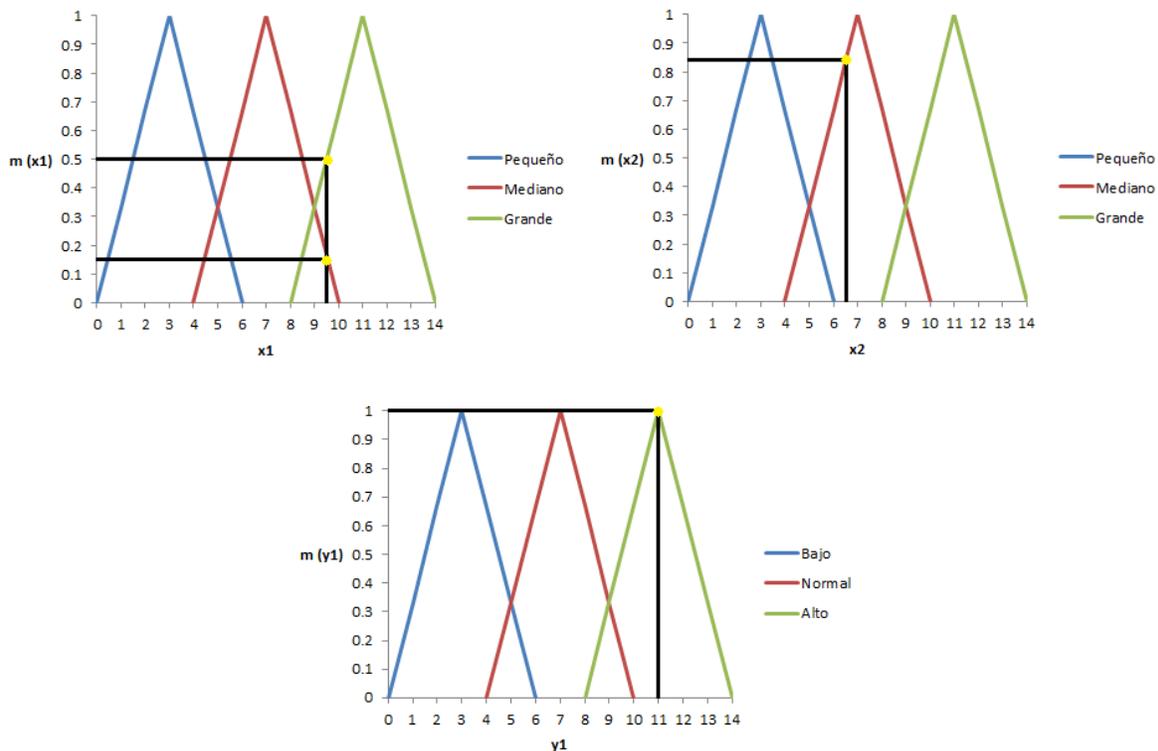


Fig. 3. Regiones Difusas y su función de pertenencia

Big			
x2 Medium			
Small			
	Small	Medium	Big
	x1		

Fig. 4. Base de reglas difusas

### Corrección de los parámetros

La mayoría de los procedimientos de inferencia combinan las reglas difusas para producir un conjunto difuso (región difusa). En un sistema de control, un valor numérico exacto es usualmente necesitado. Esto requiere un proceso de defusificación, es decir obtener del conjunto difuso un valor exacto. Existen diversas técnicas para hacer esto donde el método del centroide es el más común por su simplicidad y eficiencia (Prasad et al., 2003). En este estudio se aplica dicho método para obtener un valor numérico exacto el cual representa el grado de corrección para cada parámetro respectivamente.

$$y_0 = \frac{\sum_{j=1}^n y_j R_x(y_j)}{\sum_{j=1}^n R_x(y_j)}$$

## RESULTADOS

### Ejemplo ilustrativo

En esta sección se presenta un caso de la metodología descrita anteriormente. Por lo tanto, se utiliza la misma estructura para su fácil comprensión.

### Entrenamiento de la red neuronal artificial

Dado que los avances computacionales han sido enormes en los últimos años, se han desarrollado múltiples programas para la simulación de procesos y caracterización de materiales a un precio y tiempo razonables. Para este caso en particular, se utilizó el software de simulación del proceso de inyección “Moldflow” para la obtención de datos que se utilizaron para el entrenamiento de la red neuronal. Este software de análisis de elemento finito requiere de ciertas condiciones que deben ser establecidas antes de la simulación. Primero, un espécimen a ser moldeado; la Figura 5 muestra el componente a simular. Segundo, el tipo de material, para nuestro caso se elige uno de la librería del software cuyo nombre es Zytel 70G35HSLRA4BK267. Tercero, se especifica el modelo de máquina a emplear; la selección fue una máquina de 17 toneladas Arburg Allrounder 220 S 17 tons 1.3oz. (18mm). Se consideró una simple cavidad y Acero P-20 como material del molde. Se realizó una corrida con los siguientes valores de los parámetros a modificar.

Temperatura del plástico (°C) = 295

Temperatura del molde (°C) = 95

Presión de empaque (MPa) = 20

Tiempo de empaque (sec) = 6.3

Tiempo de enfriamiento (sec) = 3.5

La Tabla 1 muestra los valores máximos aceptables para la deformación y encogimiento de la pieza, así como el valor nominal para el peso del componente. La ecuación siguiente se utiliza para obtener el porcentaje de desviación del valor actual del valor nominal.

Tabla 1. Valores nominales para los atributos de calidad

	Deformación (mm)	Encogimiento (%)	Peso (gr)
<b>Nominal</b>	0.239177	15.81801	5.4067

$$\text{desviación \%} = \frac{(\text{actual} - \text{nominal}) * 100}{\text{nominal}}$$

La idea es mantener los valores de la deformación y encogimiento por debajo de estos niveles. En el caso del peso, cualquier desviación mayor o menor a cero se considero como una discrepancia. Por lo tanto, el objetivo es mantener el porcentaje de desviación igual o menor a cero para cada atributo.

Se realizaron 52 corridas en el software las cuales fueron utilizadas para llevar a cabo el entrenamiento de la red neuronal, es decir que aprendiera la relación entre los valores de entrada y salida. Se empleó una red con una capa oculta y 20 neuronas en ella. Se entrenó por 100,000 iteraciones y se obtuvo un error cuadrático medio (MSE) de 5.23e-6.

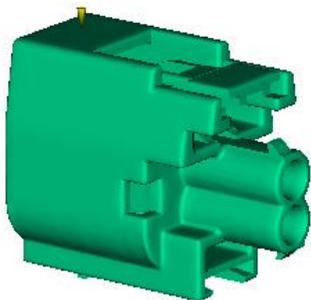


Fig. 5. Componente plástico

## Generación de reglas de la salida de la red neuronal

Una vez que la red neuronal se ha entrenado, el siguiente paso fue probarla. Para esto, se introduce ciertos valores de entrada para ver la respuesta. Por ejemplo,

Desviación en la deformación = 3.6051%  
 Desviación en el encogimiento = 6.2282 %  
 Desviación en el peso = -0.5271 %

Los valores positivos muestran que la parte excedió los valores permitidos para deformación y encogimiento, y el peso esta por debajo del valor nominal. Estos valores fueron introducidos a la red neuronal para obtener el grado de desviación de los parámetros que están ocasionando las discrepancias. Los valores dados por la red fueron:

Temperatura del plástico (%) = 8.2  
 Temperatura del molde (%) = -18.84  
 Presión de empaque (%) = -15.6  
 Tiempo de empaque (%) = -22.65  
 Tiempo de enfriamiento (%) = 26.3

Donde el 8.2% muestra la desviación de la temperatura del plástico de su valor nominal. Esto es, si 295°C fuera el valor nominal, el 8.2% (24°C) expresa que la temperatura esta por encima del valor requerido; por lo tanto, ciertas discrepancias podrían presentarse. La misma analogía se emplea en los demás parámetros. Utilizando estos valores obtenidos de la red neuronal, se procedió a la generación de las reglas difusas.

*Dividir los espacios de entrada y salida en regiones difusas*

La Fig. 6 muestra las regiones difusas (conjuntos) que se emplearon para describir la desviación de los atributos de calidad. Así mismo, la Fig. 7 hace lo mismo para los parámetros del proceso. En la Fig. 6, los conjuntos difusos para deformación y encogimiento son representados por Normal, Relativamente Grande, y Grande, ya que es deseado mantener los valores por debajo del máximo aceptable. Para el caso del peso, este es descrito por Bajo, Relativamente Bajo, Normal, Relativamente Alto, y Alto. Esta misma descripción se usó para los parámetros en la Fig. 7.

*Generar reglas difusas de datos numéricos*

La regla difusa es generada tal y como se explicó en la sección anterior. Como resultado se obtuvo la primera regla de la forma:

SI

Deformación es *Grande* y  
Encogimiento es *Grande* y  
Peso es *Relativamente Bajo*

ENTONCES

Temperatura del plástico es  
*Relativamente Alta*

Temperatura del molde es *Baja*  
Presión de empaque es *Baja*  
Tiempo de Empaque es *Bajo*  
Tiempo de enfriamiento es *Alto*

*Asignar grado a cada regla*

El grado de la regla está dado por:

$$D \quad (\text{Regla}) \quad = \\ (1)*(1)*(0.96)*(0.82)*(0.88)*(0.56)*(1)*(1) \\ = 0.388$$

**Proceso de Inferencia Difusa y corrección de los parámetros**

El siguiente paso es la evaluación de las reglas difusas para obtener el valor numérico exacto, es decir el grado de corrección en el parámetro para disminuir el nivel de discrepancia en los atributos de calidad. Como resultado se obtiene que la temperatura del plástico fue 10% más alta y debe ser ajustada al mismo valor de manera contraria. Para clarificar, la temperatura fue 29.5°C más alta y debe ser ajustada a 265.5 °C (295-29.5). De igual manera, se sigue el mismo criterio para el resto de los parámetros. Los resultados son presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros del proceso corregidos

Parámetro	(%)	Valor a corregir	Valor nominal	Valor corregido
Temperatura Plástico	10.0	29.5	295.0	265.5
Temperatura Molde	-16.8	-16.0	95.0	111.0
Presión Empaque	-16.8	-3.4	20.0	23.4
Tiempo Empaque	-16.8	-1.1	6.3	7.4
Tiempo Enfriamiento	16.8	0.6	3.5	2.9

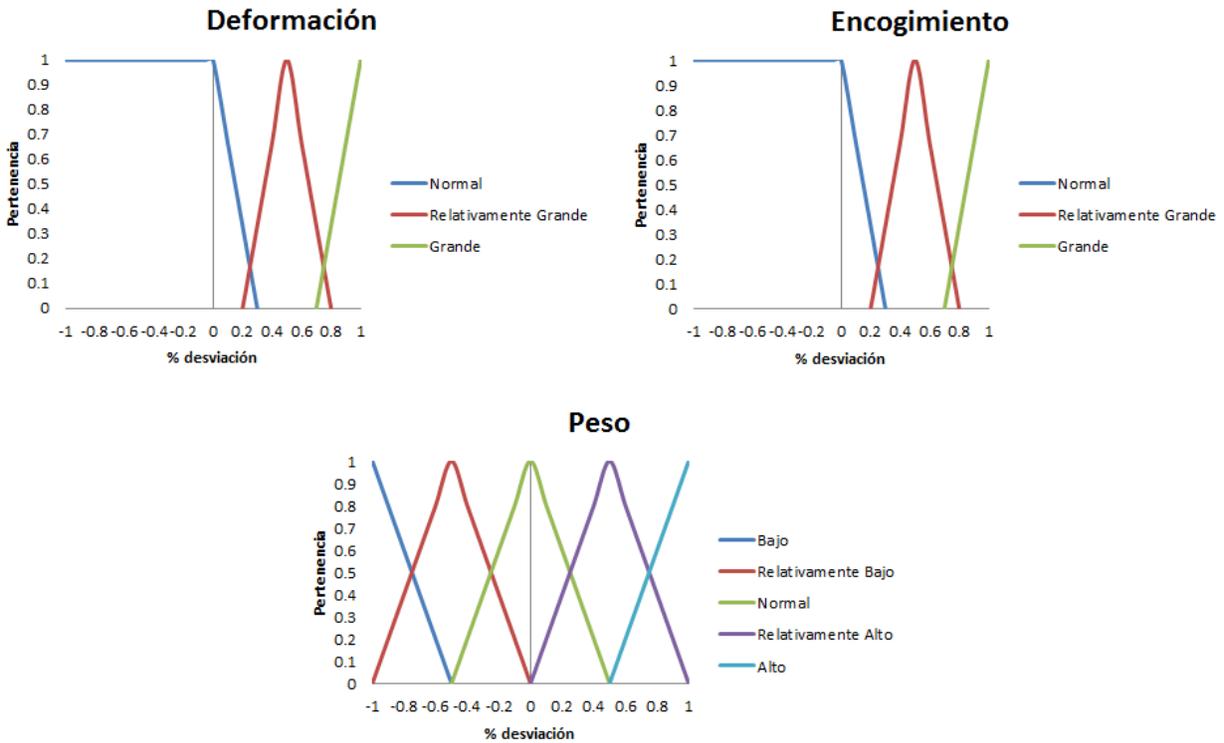


Figura 6. Conjuntos difusos para Atributos de Calidad

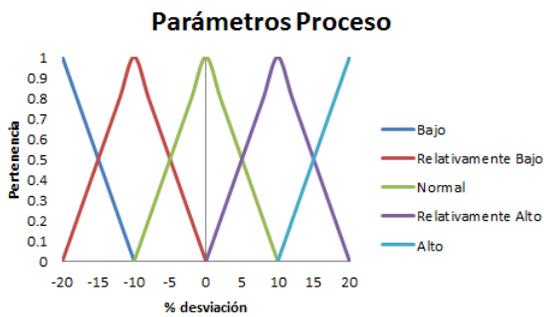


Figura 7. Conjuntos difusos para Parámetros del proceso

Los valores de los parámetros fueron corregidos de los valores iniciales. Así, estos valores fueron introducidos nuevamente en el proceso para obtener el grado de desviación actual de los atributos de calidad,

los cuales fueron introducidos en la red nuevamente para su evaluación y subsecuentemente para la generación de una nueva regla difusa. Por consiguiente, el sistema tiene la capacidad de ir disminuyendo la variación en las respuestas de interés hasta lograr un sistema bajo control en relación a los criterios de calidad establecidos. La Tabla 3 muestra cuatro iteraciones que realizó el sistema, y el porcentaje de desviación correspondiente.

Se puede observar que después de la primera iteración la deformación y encogimiento de la pieza se mantuvieron bajo control (por debajo del valor máximo aceptable); mientras que el peso fue mostrando una mejora significativa después

de cada iteración. El sistema neuro-difuso entonces mostró que fue capaz de reducir las discrepancias que se presentaron, ó que

podieran presentarse, para mantener el proceso bajo control en relación a los atributos de calidad considerados.

Tabla 3. Resultados Atributos de Calidad

	<i>Desviación Deformación %</i>	<i>Desviación Encogimiento %</i>	<i>Desviación Peso %</i>
<b>Primera desviación</b>	3.61	6.23	-0.53
<b>Iteración 1</b>	-6.64	-12.54	0.85
<b>Iteración 2</b>	-2.00	-0.63	0.28
<b>Iteración 3</b>	-3.75	-0.94	0.25
<b>Iteración 4</b>	-1.62	-1.50	0.21

## CONCLUSIONES

El presente trabajo presentó un sistema neuro-difuso para controlar los atributos de calidad de interés en el proceso de inyección de plásticos mediante la manipulación de ciertos parámetros del proceso. La metodología implementada es mostrada paso a paso para demostrar la funcionalidad de la misma iteración tras iteración. El proceso de inyección es un sistema altamente difícil de controlar debido a la interacción de todas las variables involucradas. El tipo de análisis realizado resulta ser muy benéfico de implementar en procesos como el de plásticos donde una formulación matemática es muy difícil de obtener. Además, resulta muy conveniente ya que es capaz de lidiar con sistemas que contengan múltiples entradas y múltiples salidas como lo son la mayoría de los procesos industriales. Este trabajo pretende ejemplificar como el uso de estas tecnologías pueden ser combinadas fácilmente en la optimización de procesos, principalmente como una herramienta de apoyo en la difícil tarea de la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- Altan, Mirigul (2010). Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA and neural network methods. *Materials and Design*, 31, 599-604.
- Shen, Changyu; Wang, Lixia & Li, Qian (2007). Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method. *Journal of Materials Processing Technology*, 183, 412-418.
- Chen, Wen-Chin; Fu, Gong-Loung; Tai, Pei-Hao & Deng, Wei-Jaw. (2009). Process parameter optimization for MIMO plastic injection molding via soft computing. *Expert Systems with Applications*, 36, 1114-1122.
- Deng, Yi-Min; Zhang, Yong & Lam, Yee Cheong (2010). A hybrid of mode-pursuing sampling method and genetic algorithm for minimization of injection molding warpage. *Materials and Design*, 31, 2118-2123.
- Erzurumlu, Tuncay & Ozelik, Babur (2006). Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method. *Materials and Design*, 27, 853-861.
- Farshi, Behrooz; Gheshmi, Siavash & Miandoabchi, Elyar (2011). Optimization of injection molding process parameters using sequential simplex algorithm. *Materials and Design*, 32, 414-423.

Huang, Feng Li (2011). Optimization of Processing Parameters in Injection Molding based on Adaptive Ant Colony Algorithm. *Advanced Materials Research*, 179-180, 304-310.

Huang, Ming-Chih & Tai, Ching-Chih (2001). The effective factors in the warpage problem of an injection molded part with a thin shell feature. *Journal of Material Processing Technology*, 110, 1-9.

Kartalopoulos, Staaios (1996). *Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic*. New York, NY: IEEE Press.

Lau, H.C.W.; Wong, T.T. & Pun, K.F. (1999). Neural-fuzzy modeling of plastic injection molding machine for intelligent control. *Expert Systems with Applications*, 17, 33-43.

Liao, X.P.; Xie, H.M.; Zhou, Y.J. & Xia, W. (2007). Adaptive adjustment of plastic injection processes based on neural network. *Journal of Materials Processing Technology*, 187-188, 676-679.

Lin, Jeen & Lian, Ruey-Jing. (2009). Hybrid fuzzy-logic and neural-network controller for MIMO systems. *Mechatronics*, 19, 972-986.

Lotti, C. & Bretas, R.E.S. (2006). Correlations between Injection Molding Parameters, Morphology and Mechanical Properties of PPS Using Artificial Neural Networks. *International Polymer Processing*, 21, 104-115.

Ozcelik, Babur & Sonta, Ibrahim (2009). Warpage and structural analysis of thin shell plastic in the plastic injection molding. *Materials and Design*, 30, 367-375.

Prasad, Ram; Nguyen, Hung; Walker, Elbert & Walker, Carol (2003). *A first course in Fuzzy and*

*Neural Control*. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall.

Rogers, J.K. (1991). *Intelligent Molding: Expert Systems are Coming on Line Now*. *Modern Plastics Magazine*, 68, 56-60.

Rosato, D.V. & Rosato, D.V. (1995). *Injection Molding Handbook (2nd Ed.)*. New York, NY: Chapman & Hall.

Shie, Jie-Ren (2008). Optimization of injection molding process for contour distortions of polypropylene composite components by a radial basis neural network. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 1091-1103.

Shie, Jie-Ren (2008). Optimization of injection-molding process for mechanical properties of polypropylene components via a generalized regression neural network. *Polymers for Advanced Technologies*, 19, 73-83.

Spina, R. (2006). Optimization of injection moulded parts by using ANN-PSO approach. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 15, 146-152.

Wang, Li-Xin & Mendel, Jerry (1992). Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 22, 1414-1427.

Yin Fei; Mao, Huajie & Hua, Lin (2011). A hybrid of back propagation neural network and genetic algorithm for optimization of injection molding process parameters. *Materials and Design*, 32, 3457-3464.

---

---

## Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica

José Luis Peinado Martínez, Rafael Vidal Herrera, José Antonio Grado Díaz, Jesús Armando Gándara Fernández

Departamento de Energías Renovables  
Universidad Tecnológica de Ciudad. Juárez

### RESUMEN

En el presente documento se presenta el diseño, los detalles constructivos y ensayos realizados de un prototipo de un deshidratador solar. El prototipo consta de un calentador de placa plana para el calentamiento de aire, un calentador de agua de tubos evacuados, un intercambiador de calor, un arreglo de conducción para flujo de aire y una cámara de deshidratación. Para obtener un producto deshidratado de buena calidad es necesario pasarle aire caliente a una temperatura entre 45 a 50 grados centígrados, este aire caliente lo proporcionara el calentador de placa plana durante gran parte del día cuando la radiación solar sea suficiente. Cuando el calentador de aire no proporcione la temperatura necesaria le hará circular agua caliente por el intercambiador de calor y se desviara el flujo de aire a través de este para seguir manteniendo las condiciones adecuadas en la cámara de deshidratación. Con este arreglo y con el dimensionamiento adecuado se podrá deshidratar alimentos durante las 24 horas del día. La alimentación de la bomba de agua, de la bomba de aire y del sistema de automatización será proporcionada por un banco de baterías, el cual será cargado por paneles fotovoltaicos, por lo que este sistema no utiliza energía convencional evitando emisiones de CO2 al ambiente.

**Palabras clave:** Deshidratación, Alimentos, Energia Solar

### INTRODUCCIÓN

La deshidratación es una de las formas más antiguas de procesar alimentos. Consiste en extraer una buena parte de la humedad de los alimentos, para que no se descompongan.

Se considera de mucha importancia la conservación de alimentos pues esto nos permite alargar la vida útil de las frutas y poder tener acceso a mercados más distantes, otra de las importancias de conservar frutas deshidratadas es debido a que podremos contar con frutas en temporadas que normalmente no se producen, logrando así mejores precios.

Por del paso de aire caliente a través del producto se elimina el agua que

contienen algunos alimentos mediante la evaporación de esta. Esto impide el crecimiento de las bacterias, que no pueden vivir en un medio seco, como en las piñas, manzanas y plátano.

El secado es un proceso que persigue la extracción de humedad del producto a deshidratar y que se puede hacer por el contacto de una corriente de aire (natural o forzada) a una temperatura ambiente o precalentada.

El proceso de secado produce una transferencia de calor desde el aire caliente hasta el producto que se encuentra en la cámara de deshidratación, que permite la vaporización de la humedad del producto y una transferencia de masa desde ese producto hasta la corriente de aire. La

corriente de aire incrementa su humedad relativa y disminuye su temperatura seca.

Si se utiliza aire precalentado, se optimiza el proceso de secado, ya que el aire a una mayor temperatura permite un mayor arrastre de humedad.

Existen diferentes formas para deshidratar alimentos desde la exposición directa a los rayos del sol, la cual tiene el inconveniente de contaminación del producto debido a el viento, la lluvia y los insectos, además de que el proceso es prolongado (de dos a tres días) requiriendose de la incidencia de los rayos solares.

Por otro lado los equipos industriales para la deshidratación de productos son equipos muy costosos y debido a que se requiere producción de aire caliente, el consumo de energía es elevado, por lo cual el costo de producción es alto, lo que conlleva a que el uso de estos aparatos sea considerado como una fuente de contaminación.

Actualmente no existe un equipo para la deshidratación de productos que funcione con energía solar térmica y que funcione de día y de noche. Un deshidratador de alimentos que utilice únicamente energía solar y que funcione las 24 horas de día es de mucha utilidad ya que se bajarían los costos del producto debido a que no había gastos de insumos de energía para el proceso, y además de tratarse de un equipo no contaminante.

El objetivo de este estudio es el de desarrollar un prototipo que funcione con energía solar y que trabaje las 24 horas del día para la deshidratación de diferentes tipos de frutas, verduras y carne.

## METODOS

Lo primero que se fabricó en el proyecto fue un calentador de aire de placa plana, este colector transforma la energía solar en energía solar térmica. El funcionamiento de un CAPP se inicia cuando la radiación solar (de longitud de onda corta) incide sobre la placa o cubierta transparente del colector. Una fracción de esa radiación es reflejada en todas las direcciones y se pierde a los alrededores, otra fracción es absorbida lo que lleva a un aumento de la temperatura de la cubierta, pero la mayor parte es transmitida incidiendo sobre la superficie interna del colector conocida como placa de absorción, lo que produce un aumento en la temperatura de esta. La placa de absorción emite radiación de longitud de onda larga la cual es reflejada casi en su totalidad por la cubierta transparente y reabsorbida por la placa de absorción, disminuyendo la pérdida de energía térmica hacia el ambiente. Por otro lado, el aire en contacto con la placa de absorción se calienta debido a la convección de calor. El flujo de aire caliente, libre o forzado, puede aprovecharse para distintas aplicaciones. El material utilizado para la construcción del CAPP fue un vidrio transparente de 175 x 75 cm con 6 mm de espesor, una placa absorbidora de 170 x 70 cm, una placa de poliuretano, el gabinete de lámina galvanizada y la estructura de ángulo de  $\frac{3}{4}$ . Estos elementos se muestran en la Fig. 1.

Ya construido el calentador de aire de placa plana se diseñó el ducto por donde se iba a conducir el aire. Se requiere que este ducto conduzca el aire caliente que proporciona el CAPP hasta la cámara de deshidratación, pero que a la vez tenga otro camino para que el aire sea conducido a

través del intercambiador de calor el cual está alojado en la misma ducteria, la Fig. 2

muestra el ducto.

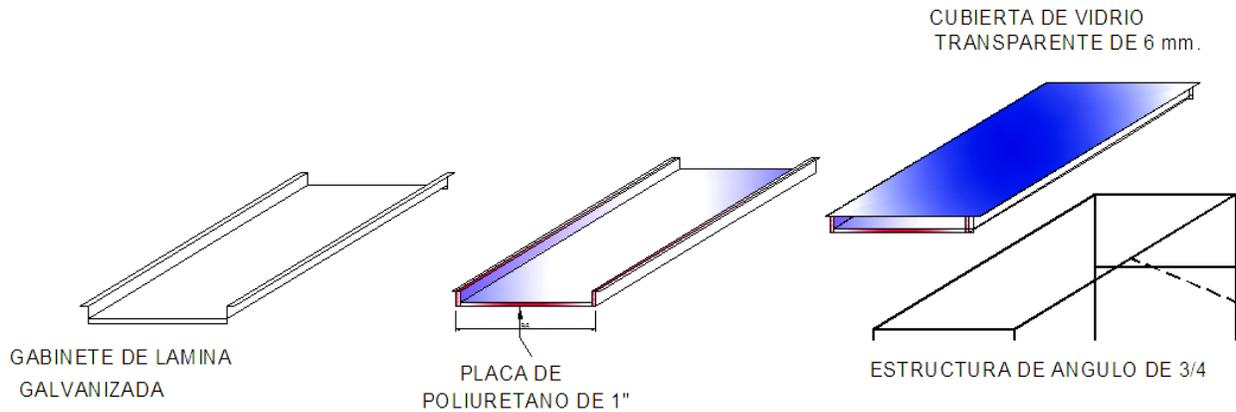


Fig.1. Partes del colector solar del prototipo.

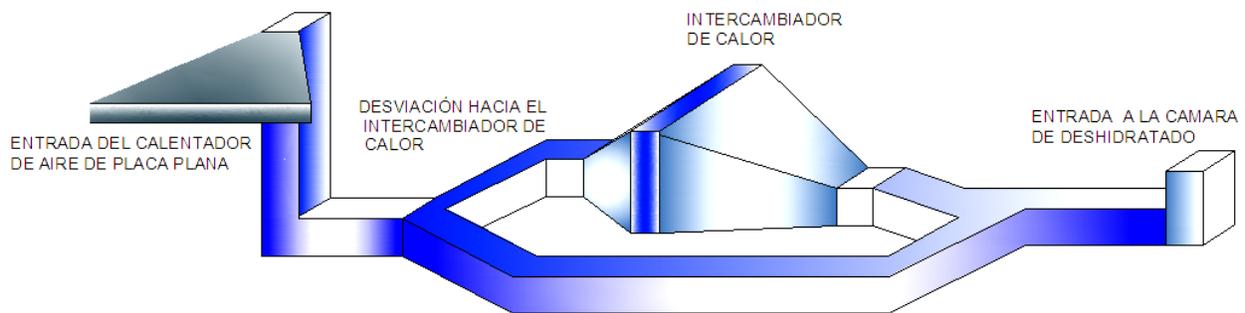


Fig.2. Ductos utilizados en el prototipo.

Luego se prosiguió a instalar los elementos que conforman todo el sistema en donde las parte principales son: el calentador de aire de placa plana, el intercambiador de calor, un calentador de agua de tubos evacuados, 2 paneles solares, una batería de descarga profunda, el controlador, el convertidor de voltaje, la bomba de agua, la bomba de aire, el solenoide para controlar la rejilla y la cámara de deshidratado, esto se muestra en la Fig. 3.

### Funcionamiento

El calentador de aire de placa plana proporciona aire caliente durante el día el cual es extraído por la bomba de aire e inyectado a la cámara de deshidratación, en estas condiciones la compuerta se encuentra en la posición 1-3 y el aire circula por el ducto 4. Si la temperatura que detecta el termostato se encuentra entre los parámetros establecidos, el sistema permanece sin cambios, y de manera simultánea el calentador de agua de tubos evacuados almacena agua caliente en el depósito.

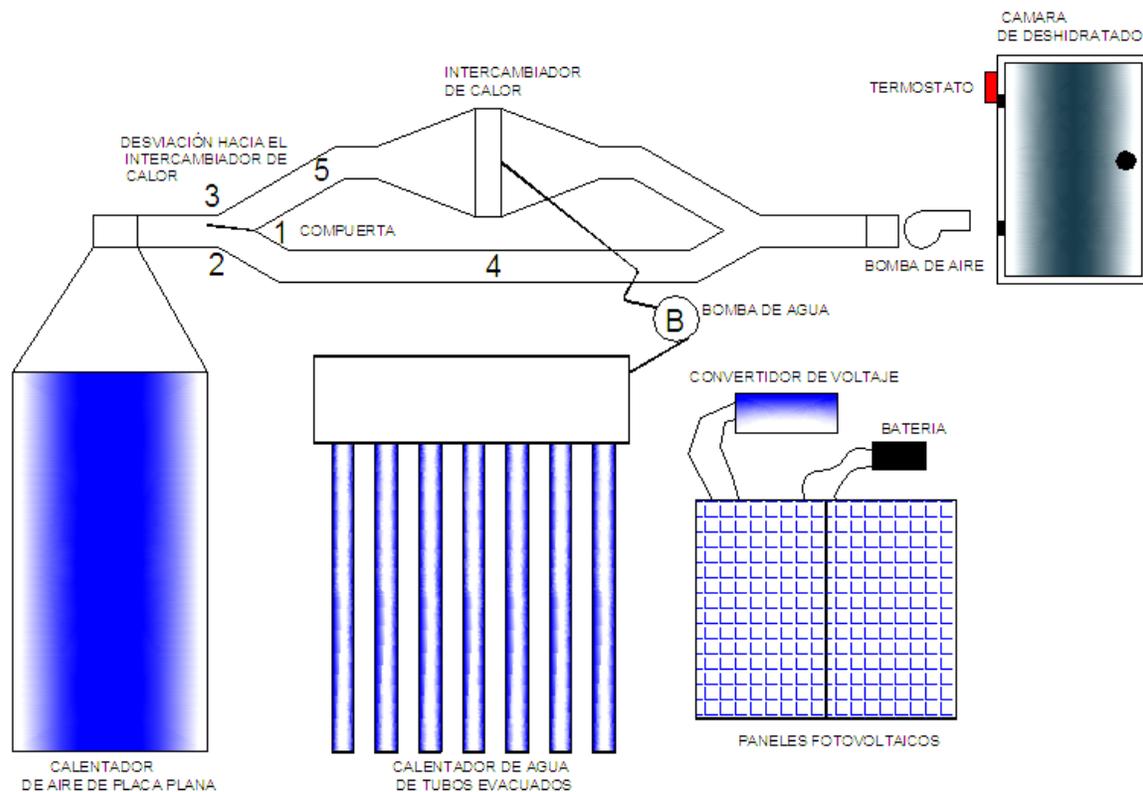


Fig. 3. Prototipo

Cuando la temperatura de la cámara de deshidratación se encuentra por debajo de la predeterminada, el termostato activa la bomba de agua para circular agua caliente por el intercambiador de calor, y la compuerta cambia a la posición 1-2 y desvía el aire por el ducto 5.

Con estos cambios el aire ahora pasa a través del intercambiador de calor elevando su temperatura hasta alcanzar la establecida. Cuando la temperatura sobrepasa la temperatura establecida, se apaga la bomba de agua, la compuerta se regresa a la posición 1-3 y comienza el proceso.

La bomba de aire y de agua, el solenoide y el sistema de control son

alimentados por una batería a 12 volts de descarga profunda la cual a su vez es cargada por un par de paneles fotovoltaicos.

El dimensionamiento de los elementos del sistema fue obtenido del modelado del sistema en el software Trnsys.

Trnsys es un programa de simulación desarrollado por el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad de Wisconsin-Madison (primera versión año 1975) y enriquecido por las contribuciones de TRANSOLAR Energietechnik GMBH, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) y Thermal Energy Systems Specialists (TESS). Se ha optado por elegir este programa para el desarrollo del proyecto, pues resulta el más completo a

la hora de predecir las características de un sistema de energía térmica solar a baja temperatura y encontrar los componentes adecuados para asegurar un comportamiento satisfactorio del sistema.

El diagrama del modelado se muestra en la figura # 4.

El equipo que se utilizó en el proyecto se muestra en la tabla #1.

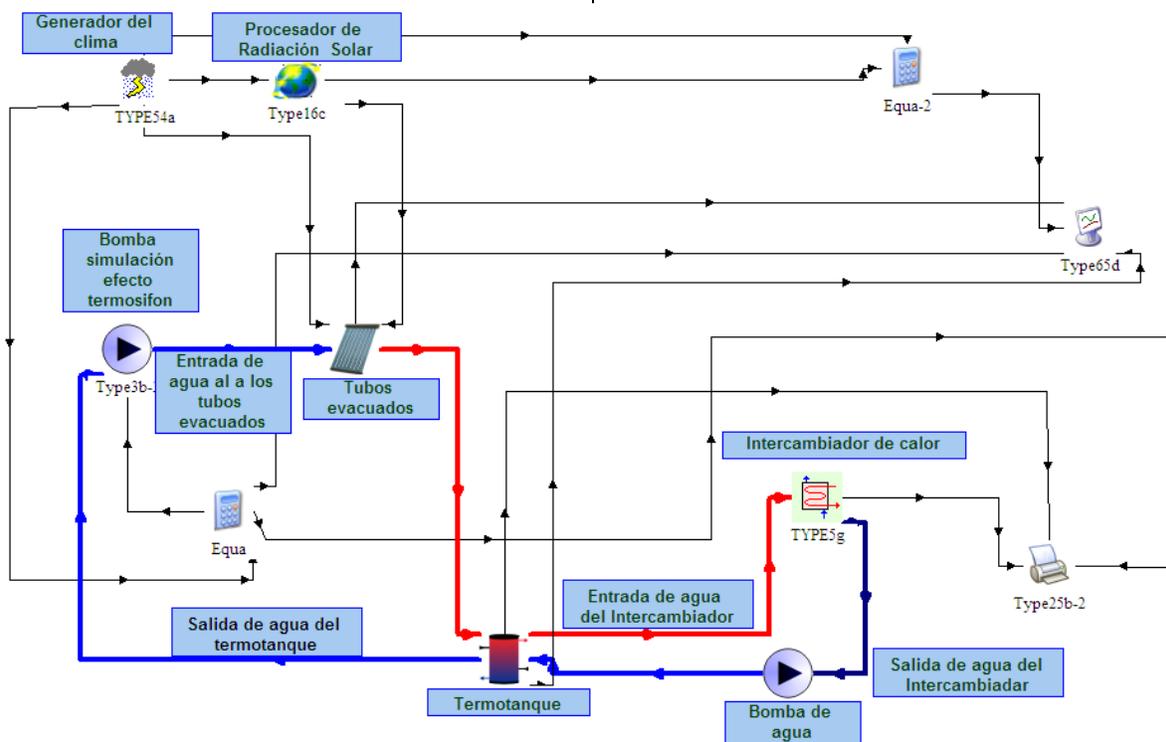


Fig.4. Diagrama del modelado.

Tabla 1. Equipo utilizado.

Parte	Especificaciones
Bomba de agua	1/6 Hp, 120 W, 127 volts, 25 lpm, 14 psi
Calentador de agua de tubos	12 tubos evacuados, Termo tanque de 120 litros, alta presión.
Calentador de aire de Placa Plana	Placa absorbadora de 1.75 x 1.05 metros
Bomba de aire	127 volts, 0.8 amp.
Cámara de deshidratación	0.44X0.59x0.69 metros
Paneles fotovoltaicos	80 watts 12 vols
Batería	10 a-h 12 volts descarga profunda
Solenoides	127 volts, 0.2 amp.
Convertidor de voltaje	12 vcd-127 vca, 500 watts
Conjunto de ductos	

Después de los cálculos y la adquisición del equipo necesario se realizó la instalación y la interconexión de todos los elementos, en la Fig. 5 se muestra el proyecto ya instalado.



Fig.5. Prototipo en funcionamiento.

### Proceso de deshidratación

El alimento a deshidratar ya limpio y cortado se colocó en unas rejillas de acero inoxidable como se muestra en la Fig. 6, y se introdujo a la cámara de deshidratación; el tiempo que permanece en la cámara varía de acuerdo al producto.

### RESULTADOS

Las temperaturas promedio obtenidas en un muestreo realizado a finales del mes de julio y a principios del mes de

agosto se encuentran entre 3 y 5 grados por debajo de las que se obtuvieron en el modelo de Trnsys estas temperaturas se muestran en la Tabla 2.

El peso del producto al entrar a la cámara de deshidratado y a la salida se muestra en la Tabla 3.

La fruta deshidratada de muestra en la Fig. 7.



Fig.6. Alimento listo para deshidratar

Tabla 2. Temperaturas promedio a travez del año.

Mes	Temperatura del Agua del Intercambiador (°C)		Temperatura del Aire del Intercambiador (°C)	
	Entrada Agua-Caliente	Salida Agua-Fría	Entrada Aire-Frío	Salida Aire-Caliente
Enero	25.1	21.8	16.4	24.7
Febrero	29.5	25.4	18.9	29.0
Marzo	34.2	29.8	22.6	33.6
Abril	39.6	35.0	27.7	39.0
Mayo	43.4	39.1	32.3	42.8
Junio	47.2	43.2	36.8	46.7
Julio	47.7	43.9	37.9	47.2
Agosto	47.4	43.3	36.9	46.8
Septiembre	44.3	40.1	33.4	43.8
Octubre	38.8	34.6	27.8	38.3
Noviembre	30.5	26.8	20.9	30.0
Diciembre	25.0	21.9	16.9	24.6

Tabla 3. Peso de los productos.

Producto	Peso Original	Peso Deshidratado	Peso Perdido
Chile Morrón	162	19.6	92%
Tomate	135	9.8	86%
Cebolla	137	17.2	92%
Ajo	39.5	18.2	98%
Manzana	229	35.8	94%
Mango	277	40	93%
Plátano	595	151.7	96%
Pina	564	93	94%
Limón	79	19	96%



Fig.7. Alimento deshidratado.

### Recomendaciones

Aunque en las fechas que se realizaron las pruebas, el ducto no estaba aislado, se recomienda que para la época de invierno se aisle ya se tendían muchas pérdidas debido a la transferencia de calor al medio ambiente.

Se tiene que tener mucha precaución en la elección de los materiales que se van a

elegir para el deshidratador ya que el manejo de alimentos es delicado y se puede contaminar, además que hay que cumplir con las normas de sanidad.

### CONCLUSIONES

En un 60 por ciento de las horas del día las temperaturas obtenidas en la cámara de deshidratado fueron las idóneas para llevar a cabo este proceso, y los tiempos de deshidratado se redujeron en comparación al

deshidratado de productos expuestos directamente al sol. En lo referente a tiempo de deshidratado, el plátano es el que más tiempo necesita para su proceso y la fresa el que menos necesita.

Este proyecto es una opción para llevar a cabo el proceso de deshidratación de frutas, verduras y carne sin consumo de energía convencional, por lo que se puede llevar a cabo este proceso sin contaminar emitiendo cero emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

## REFERENCIAS

Dieter, H. Arch, D. (2005). Un futuro para el mundo en desarrollo basada en las fuentes renovables de energía. Consultada el 8 de marzo de 2013 en: <http://whitepaper.ises.org/ISES-WP-600-Spanish-Developing.pdf>

Leganés, (2012). Simulación y optimización del captador de un secadero solar. Consultada el 5 de enero del 2013 en: [http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/15389/1/PFC\\_Ricardo\\_Lopez\\_MartinezDeGuerenu.pdf](http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/15389/1/PFC_Ricardo_Lopez_MartinezDeGuerenu.pdf)

Morales, A. (2009). Diseño y cálculo de una instalación para climatización mediante suelo radiante y ACS en una vivienda unifamiliar, consultada el 24 de Enero de 2012 en: [http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/8546/3/PFC\\_Alejandro\\_Morales\\_Melian.pdf](http://earchivo.uc3m.es/bitstream/10016/8546/3/PFC_Alejandro_Morales_Melian.pdf)

Orozco, H. Carlos, A. (1993). Dimensionamiento Óptimo de Instalaciones Solares de Calentamiento, Scientia et Technica. No 2, Universidad Tecnológica de Pereira.

Placco, C. Saravia, L. y Cadena, C. (2011). Colectores Solares Para Agua Caliente, Consultada el 21 de diciembre de 2012, en: [http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores\\_solares\\_aguacaliente.pdf](http://www.inti.gob.ar/e-renova/pdf/colectores_solares_aguacaliente.pdf)

TRNSYS. (s.f.) Transient System Simulation Tool TRNSYS. Consultada el 10 de febrero de 2010 en: <http://www.trnsys.com>

---

---

## Errores matemáticos más comunes de los alumnos de nuevo ingreso en las clases de física y matemáticas de las carreras de ingeniería de la UACJ

José Valente Barrón López, Oscar Ruiz Chávez, Juan Luna González, Jesús Estrada Cabral,  
Eduardo José Loera Ochoa

Departamento de Física y Matemáticas del Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

Debido al alto índice de reprobación y deserción en los primeros semestres en el Instituto de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, en las asignaturas de física y matemáticas, el grupo de investigación “Física y Matemáticas en Contexto”, aplicó un examen de diagnóstico a alumnos de nuevo ingreso, con la finalidad de conocer sus deficiencias matemáticas básicas y determinar si contaban con los conocimientos matemáticos mínimos requeridos para cursar dichas asignaturas del nivel principiante. En este documento se presentan estadísticas de los tipos de errores cometidos por los estudiantes y propuestas para reducir los índices de reprobación y deserción en base a los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** Errores matemáticos, Nuevo ingreso, Deficiencia matemática

### INTRODUCCIÓN

*“Muchos alumnos tienen sentimientos de tensión y miedo hacia las matemáticas. Sin lugar a duda muchos son los aspectos que influyen en esta conducta. Por ejemplo, la naturaleza jerárquica del conocimiento matemático, la actitud de los profesores, estilos de enseñanza, y las actitudes y creencias hacia la Matemática que les son transmitidas. Muchas de las actitudes negativas y emocionales hacia la Matemática están asociadas a la ansiedad y el miedo. La ansiedad por acabar una tarea, el miedo al fracaso, a la equivocación, etc, suelen generar bloqueos de origen afectivo que repercuten en la actividad matemática de los alumnos.”* (Abrate et al., 2006).

Sin duda alguna, para la mayoría de los estudiantes de todos los niveles educativos, las matemáticas es una de las asignaturas que mayor problema tienen para

su aprendizaje. A través de los años, secretarios de educación pública, estatales y federales, coordinadores, directores, jefes de enseñanza y maestros han realizado esfuerzos con la finalidad de reducir el índice de reprobación en esta asignatura.

Los docentes de los diversos niveles educativos, al inicio del ciclo escolar, reciben a los alumnos con grandes deficiencias en el área de las matemáticas, de tal forma que es casi imposible, en la mayoría de los casos, lograr que el alumno adquiriera nuevos conocimientos en esta disciplina, ya que en gran parte de los nuevos temas a tratar, se requieren de conocimientos previamente adquiridos.

Como respuesta a esta problemática, diversas autoridades educativas instan a los docentes a conciliar el bajo nivel cognitivo de los estudiantes, mediante la adecuación de sus metodologías de enseñanza, ajustes

en los criterios de evaluación y en el peor de los casos se concluye con la eliminación de contenidos matemáticos, como es el caso entre otros del cálculo integral en algunos subsistemas del nivel medio superior.

Al inicio o al final de cada ciclo escolar, los docentes de los diferentes niveles educativos, en compañía de autoridades de su centro de trabajo, revisan los programas de la asignatura de matemáticas, entre otros, con la finalidad de añadir, ordenar o eliminar contenidos matemáticos, además de conciliar el nivel y la metodología de enseñanza de dichos contenidos.

Reformas educativas van y reformas educativas vienen, y con ellas modificaciones a los planes de estudio y a los programas de las diferentes asignaturas, pero la realidad es que para la mayoría de los alumnos, entender y retener conocimientos matemáticos nuevos sigue siendo una gran dificultad, provocando con esto un razonamiento matemático deficiente, a tal grado que es una tarea titánica el lograr que estructuren correctamente el camino que lleve a la solución de un problema de aplicación matemática.

El transitar de un alumno de primaria a secundaria, de secundaria a bachillerato y de bachillerato a la universidad, los conocimientos matemáticos adquiridos en el nivel inmediato inferior ya no están presentes en el educando, provocando la mayoría de las veces que los maestros culpen al nivel inmediato inferior del cual proviene el alumno, de las deficiencias mostradas.

La Física es una ciencia exacta a la que se le ha llamado la “ciencia de la

medición” debido a que todo lo que estudia lo cuantifica y lo expresa numéricamente, si no fuera así, la física no tendría razón de ser. En esta ciencia la aplicación matemática es fundamental, ya que no se puede cuantificar un fenómeno sin hacer uso de la matemática, por consecuencia, el éxito o fracaso de un estudiante que tome algún curso de Física dependerá en gran porcentaje de sus bases matemáticas, ya que sin éstas, la solución correcta de un problema donde se aplique un principio o una ley física no podrá ser encontrada y aún menos conceptualizada. Aquí tiene el estudiante la oportunidad de ver claramente la importancia de la aplicación matemática en el entendimiento de los fenómenos físicos. Debido a las deficiencias en matemática los índices de reprobación en las materias de Física y Matemáticas son elevados.

*“Una de las principales dificultades en el aprendizaje de la Matemática, es el aspecto deductivo formal, es decir, la capacidad para seguir un argumento lógico, siendo esta incapacidad una de las causas que genera mayor dificultad en el aprendizaje de esta ciencia. El aspecto deductivo formal es una destreza de alto nivel que resulta necesaria para alcanzar determinados niveles de competencia matemática. El fomentar esta capacidad para seguir un argumento lógico no se debe contraponer a los métodos intuitivos, a las conjeturas, a los ejemplos y contraejemplos, que también permiten obtener resultados y métodos correctos, sino que, más bien, esta capacidad se desarrolla con la práctica de estos métodos informales”* (Abrate et al., 2006).

Año tras año nuevos alumnos de las diferentes instituciones educativas de

Ciudad Juárez ingresan a la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Estos alumnos son producto de diversas preparatorias que incluyen en su plan de estudio la asignatura de matemáticas, cursando: Álgebra elemental, geometría, trigonometría, geometría analítica, cálculo diferencial y cálculo integral. Los programas de estudio de estas materias a lo largo de los años se han estado modificando en contenido y estructura, con la intención de que los alumnos salgan mejor preparados. Pero la realidad es que los alumnos presentan cada vez más dificultades en el área de matemáticas.

Cabe entonces hacernos aquí una pregunta: ¿Cuál es el nivel de conocimientos básicos en matemáticas que los egresados de bachillerato muestran para su ingreso al nivel universitario?

En los años 2011, 2012 y 2013, por medio la Evaluación Nacional de Logro Académico en Centros Escolares, ENLACE, se obtuvo que el 77.5 %, 74.8 % y el 66.10 % respectivamente, de los alumnos del último grado de bachillerato se encontraban en un nivel de dominio de habilidad matemática insuficiente y elemental, esto indica que el alumno que está a punto de ingresar a la universidad no ha rebasado el nivel básico de 1° de secundaria, contando con estructuras mentales algebraicas muy simples. Sólo el 22.5%, 25.2% y el 33.9 % respectivamente de los alumnos en dichos años se encontraban en un nivel bueno y excelente, lo cual significa que los alumnos eran capaces de resolver problemas complejos utilizando las herramientas matemáticas a su alcance.

La problemática de la articulación entre la universidad y el bachillerato se ha

constituido para el grupo de investigación de Física-Matemáticas en contexto del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT) de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) una de sus líneas de investigación. El estudio de las posibles deficiencias que los estudiantes de nuevo ingreso puedan traer en las matemáticas de bachillerato y teniendo en consideración que el conocimiento matemático es construido a través de un proceso de abstracción reflexiva, donde los errores son una posibilidad y una realidad permanente en el conocimiento científico, se hace necesario la implementación de acciones que nos proporcionen un diagnóstico que nos permita a los docentes generar estrategias para crear entornos de aprendizaje enriquecedores.

Una carrera de ingeniería, sin duda alguna, demanda un alto grado de conocimientos matemáticos previos para que un alumno de nuevo ingreso pueda cursar, sin dificultad, cualquier programa que ofrecen actualmente las instituciones educativas de nivel superior. En los últimos años, docentes del IIT de la UACJ que imparten clases a los alumnos de nuevo ingreso han señalado que los estudiantes de nuevo ingreso presentan un bajo nivel académico, particularmente en las asignaturas de física y matemáticas, razón por la cual el índice de reprobación y deserción en dichas asignaturas es elevado.

Este problema no es exclusivo de nuestra universidad, se presenta en otras universidades de nuestro país y en varios países del mundo. La facultad de ingeniería de Ensenada de la Universidad Autónoma de Baja California, determinó que el nivel de los alumnos en habilidades matemáticas se

encuentra entre 2° de secundaria y 1° semestre de preparatoria (Soares-López et al., 2009). En las universidades de Holanda existe una gran preocupación por los bajos conocimientos y destrezas de los alumnos de nuevo ingreso, inclusive han tenido que aplicar exámenes de diagnóstico, práctica que no había sido necesaria anteriormente (Heck y Van Gastel, 2006). La London Mathematical Society (1995) menciona a su vez, que en temas como manipulación algebraica y simplificación encuentran deficiencias serias y que ha bajado la capacidad analítica para la resolución de problemas en los alumnos. Martio (2009) investigó el conocimiento de los conceptos básicos de matemáticas en un examen similar en los años 1981 y 2003, en alumnos que terminaron la preparatoria, en Finlandia. Encontró que el nivel de matemáticas había bajado durante este período. Se analizaron tanto cuestiones aritméticas como algebraicas. Reconocemos que en el proceso de enseñanza-aprendizaje de una sola noción matemática, como el concepto de linealidad, tiene una trayectoria que comienza en las primeras etapas escolares y termina en las etapas medias de la educación superior si en el proceso existen obstáculos de cualquier tipo, se generarán concepciones erróneas del concepto en cuestión por parte de los estudiantes. No se intenta justificar este tipo de deficiencias, porque el hecho constituye una realidad educativa que, a nuestro juicio, puede ser retomado desde una distinta estrategia.

En el IIT de la UACJ se imparten 15 licenciaturas en las cuales la aplicación matemática es fundamental desde el inicio de sus estudios hasta su término. En este instituto existe una alta incidencia de reprobación y deserción en las asignaturas

de física y matemáticas de los primeros semestres. Los índices de reprobación en estas asignaturas en los semestres Agosto-Diciembre del 2012 y Febrero-Junio del 2013, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Índices de reprobación en los semestres Agosto-Diciembre del 2012 y Febrero-Junio del 2013.

SEMESTRE AGOSTO-DICIEMBRE DEL 2012		
Asignatura	No. de Alumnos	% de Reprobados
Algebra Superior	993	24.46
Cálculo I	999	39.47
Cálculo II	255	54.62
Física I	866	31.56
Física II	227	35.87
SEMESTRE FEBRERO-JUNIO DEL 2013		
Algebra Superior	323	45.57
Cálculo I	401	49.61
Cálculo II	594	44.21
Física I	359	44.41
Física II	548	21.58

Cabe entonces aquí hacernos una segunda pregunta: ¿Existe correlación entre el nivel de ingreso y la eficiencia académica de los estudiantes en sus primeros semestres?

Ante lo recurrente de los maestros del bajo nivel de conocimientos matemáticos de los alumnos de nuevo ingreso y al alto índice de reprobación y deserción, el grupo de “Física-Matemáticas en Contexto” de este instituto decidió abrir una línea de investigación al respecto, con la finalidad de conocer los tipos de deficiencias matemáticas básicas que presentan dichos alumnos y poder proponer alternativas de solución que disminuyan dicha problemática, para tal efecto se les aplicó un examen de diagnóstico para determinar su nivel de conocimientos matemáticos.

## **METODOLOGIA:**

Con la finalidad de conocer las deficiencias matemáticas básicas de los estudiantes de nuevo ingreso a una carrera de ingeniería, se diseñó un examen de exploración con 24 reactivos con un nivel de secundaria, en los cuales se pretendía que mostraran sus conocimientos, habilidades y destrezas en los temas de: adición, multiplicación y división de números racionales, multiplicación y adición de números enteros, solución de ecuaciones de primer grado con una incógnita, binomios al cuadrado, multiplicación de un binomio por un monomio, eliminación de signos de agrupación, solución de sistemas de ecuaciones de  $2 \times 2$ , ecuaciones equivalentes, factorización, despeje de variables, potencias de números enteros y racionales con la intención de saber si el estudiante tenía los conocimientos mínimos requeridos para cursar las asignaturas de Física y Matemáticas de nivel principiante de este instituto.

La evaluación se aplicó a un total de 79 alumnos el primer y segundo día de clases del semestre Agosto-Diciembre del 2012. Se les indicó que los resultados del examen no tendrían consecuencia alguna en su calificación, ya que se buscaban datos meramente informativos, que no le pusieran nombre, ya que el examen era de diagnóstico y que la intención era permitir a sus maestros conocer el nivel inicial de la clase, no se les permitió sacar calculadora, se les dio 2 horas para resolverlo y se les invitó a que anotaran todo el procedimiento en la solución de cada reactivo y que hicieran su mejor esfuerzo y no cometieran fraude alguno en la contestación.

Posteriormente se procedió a su revisión, determinándose los errores matemáticos cometidos por los alumnos en base a un análisis hecho a cada uno de los reactivos, clasificándolos de acuerdo a los tipos de errores cometidos

## **RESULTADOS**

Los resultados de todas las preguntas se muestran en el apéndice 1

En base a la revisión del examen hecho a los alumnos, los errores encontrados son los siguientes:

1. Suman números racionales efectuando la adición de numeradores y denominadores por separado, o bien, aplican los principios de la multiplicación.
2. Multiplican números racionales aplicando los principios de la suma o de la división.
3. Dividen números racionales aplicando los principios de la suma y multiplicación.
4. Aplican la “regla de los signos” de la multiplicación al efectuar sumas o restas de números enteros.
5. Consideran que el producto de un número real por cero es igual a 1.
6. Al sumar números enteros positivos y negativos, no consideran el signo y los suman todos con signos positivos o bien, se equivocan con los signos al hacer la suma.
7. El alumno no puede obtener ecuaciones equivalentes a partir de una ecuación dada, debido a que no está enterado de los principios básicos de estas.

8. Cuando se les pide que resuelvan un sistema de ecuaciones lineales de  $2 \times 2$ , suman las ecuaciones.

9. Creen que toda potencia de exponente cero da por resultado cero, o bien creen que es igual a la base.

10. Resuelven divisiones en las cuales el dividendo es un 0, y a este lo toman como 1, o ignoran su presencia.

11. Simplifican fracciones dividiendo el numerador y el denominador por números distintos.

12. Consideran que tienen un número negativo elevado a cierto exponente cuando el signo de este es negativo.

13. En una ecuación consideran que un factor negativo se transpone dividiendo y cambiado de signo; o que forma parte de una resta por lo que se pasa sumando al otro miembro.

14. Consideran que el exponente de una potencia de un producto, afecta solo a uno de los factores.

15. Consideran que el denominador de una fracción divide sólo a uno de los sumandos del numerador.

16. Cuando elevan un número racional positivo o negativo a una potencia  $n$ , multiplican la base por  $n$ , o bien, multiplican el numerador o el denominador por  $n$  y colocan cualquier signo

17. No simplifican fracciones.

18. Cuando tienen el producto de un monomio por un binomio, solamente multiplican el monomio por un término del binomio.

19. Asumen que la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de dos términos, es igual a la raíz cuadrada de cada uno de los términos.

20. No saben las tablas de multiplicar y cometen múltiples errores debido a esto.

21. Cuando elevan al cuadrado un binomio, elevan al cuadrado cada término del binomio.

22. No aplican la ley de los signos en la multiplicación y división, les pasa desapercibida esta operación.

23. Dentro de una ecuación, a un factor le cambian el signo al pasarlo dividiendo de un miembro a otro.

24. En una ecuación, cuando una cantidad se encuentra sumando o restando en uno de los miembros, la trasponen al otro miembro realizando la misma operación.

25. Cuando se divide la suma o la resta de dos números y uno de ellos está tanto en el numerador y en el denominador, los eliminan

26. Cuando el cero esta como dividendo y el divisor es un numero real, asumen que el resultado es el divisor.

27. Cuando a un signo de agrupación le antecede un signo negativo, no multiplican el signo, el producto lo colocan positivo, si es que la cantidad dentro del signo de agrupación es positiva.

28. Cuando se les pide que encuentren la solución a una ecuación de primer grado con una incógnita, donde existe un producto indicado, realizan las operaciones indicadas

y dejan como solución la ecuación resultante.

## CONCLUSIONES

Se requiere encontrar métodos de enseñanza bien estructurados para que el alumno entienda, interprete, sea motivado e impulse su dedicación al estudio, ya que cuanto más desprovisto de sentido, importancia práctica y falta de manipulación matemática por parte del alumno dentro de un conocimiento matemático contextualizado, difícilmente se apropiará y hará uso de dicho conocimiento en contextos reales.

Los errores matemáticos de los estudiantes, probablemente los han estado cometiendo desde su educación secundaria, quizás bajo la complacencia del maestro o bien escuchando y viendo un sinnúmero de veces la manera de no repetirlos, por lo tanto creemos que no es de la forma tradicional con la cual se debe atacar esta problemática, sino haciendo uso de las matemáticas para resolver situaciones de la vida real, de interés práctico, que les llame la atención y le dé sentido y coherencia al conocimiento.

Creemos que las asesorías académicas extra-clase debieran replantearse en el mismo sentido que esta propuesta señala, donde además sugerimos conducir al alumno a la auto reflexión sobre su propia manera de aprender, donde repiense las deducciones y su sistema de práctica le permitan encontrar y corregir sus propios errores.

Se deben analizar los resultados obtenidos en el examen de ingreso de los alumnos admitidos por la universidad para conocer los errores cometidos, ya que los alumnos con un bajo desempeño en dicho examen, necesariamente requerirán de apoyo adicional, y se les debe incluir en un programa propedéutico, previo al inicio de clases. En dichos cursos necesariamente deben incluirse los temas en los cuales obtuvieron baja calificación. Consideramos que no debe existir una práctica excesiva y repetitiva de ejercicios matemáticos, más bien al alumno se le debe confrontar con sus errores para crear en ellos un conflicto cognitivo, con la intención de que puedan cambiar o modificar sus esquemas anteriores.

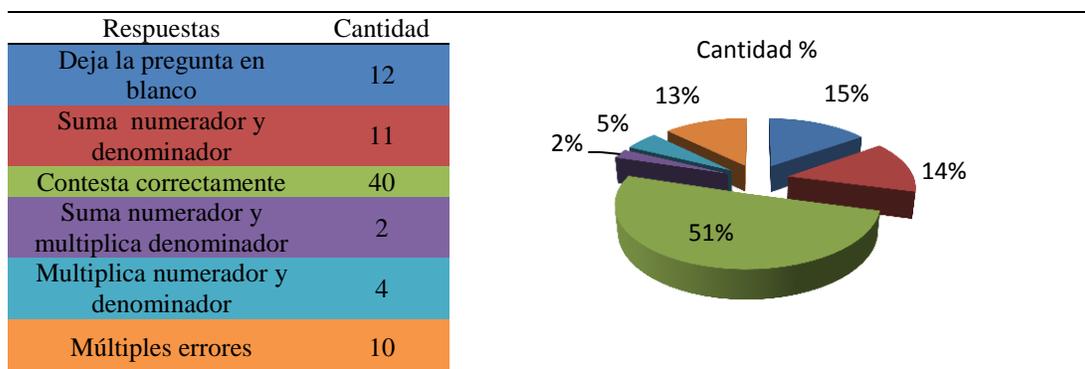
## REFERENCIAS

- Abrate, R., Pochulu, M., y Vargas, J. (2006). *Errores y dificultades en matemática: Análisis de causas y sugerencias de trabajo*. DOCUPRINT S.A. Buenos Aires, Argentina. <http://unvm.galeon.com/Libro1.pdf>
- Heck, A., y Van Gastel, L. (2006). *Mathematics on the threshold*. International Journal of mathematical education in science and technology, 37(8): 925-945.
- Martio, O. (2009). *Long term effects in learning mathematics in Finland-curriculum changes and calculators*. Teaching of Mathematics, 12(2): 51-56.
- Soares-López, J. J., Inzunza-González, E., y Rousseau-Figueroa, P. (2009). *Resultados del examen de ubicación de matemáticas (Exumat 2.0) en la Facultad de Ingeniería Ensenada de la UABC*. Ciência & Educação (Bauru), 15(1): 121-128. Retrieved October 01, 2013, from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132009000100007&lng=en&tlng=es.10.1590/S1516-73132009000100007..](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132009000100007&lng=en&tlng=es.10.1590/S1516-73132009000100007..)

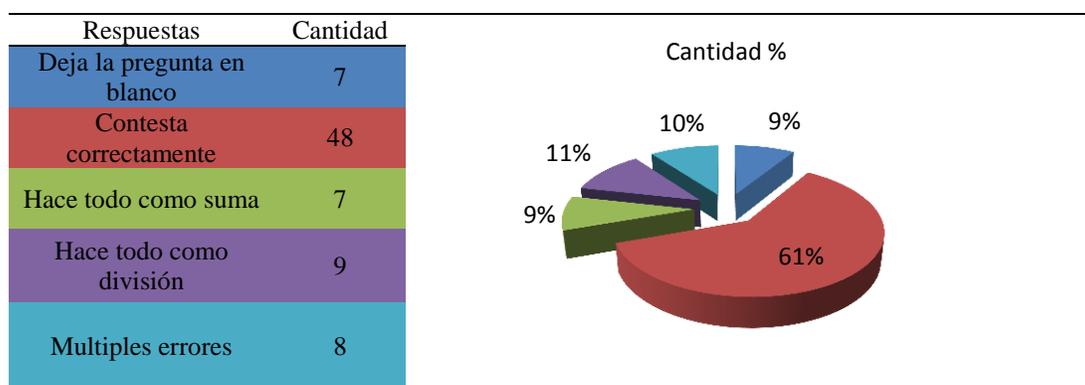
## APENDICE 1

Las preguntas hechas a los alumnos y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

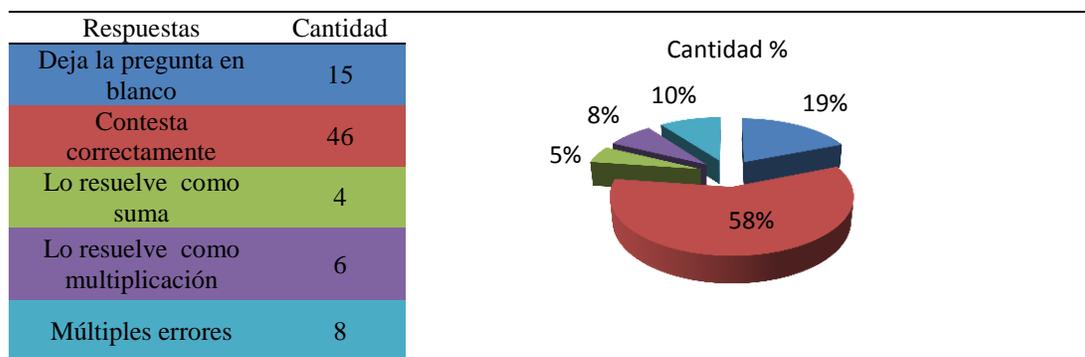
1. El resultado de realizar la siguiente operación  $\frac{7}{6} + \frac{1}{4} + \frac{3}{2}$  es :



2. El resultado de realizar la siguiente operación  $\left(\frac{4}{2}\right) \left(\frac{2}{5}\right) \left(\frac{2}{3}\right)$  es :

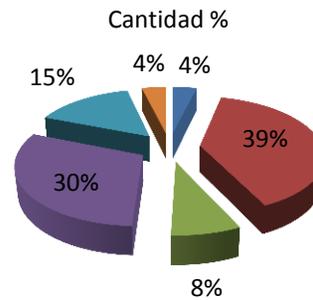


3. El resultado de realizar la siguiente operación  $\left(\frac{5}{6}\right) \div \left(\frac{3}{2}\right)$  es :



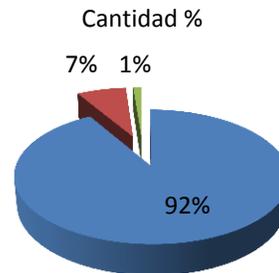
4. El resultado correcto al eliminar los signos de agrupación de  $(-1)[-1-(-3)-2]$  es:

Respuestas	Cantidad
Deja la pregunta en blanco	3
Contesta correctamente	31
Multiplica todo	6
Creen que $(-1)(0)=-1$	24
No respeta signos	12
No sabe sumar enteros	3



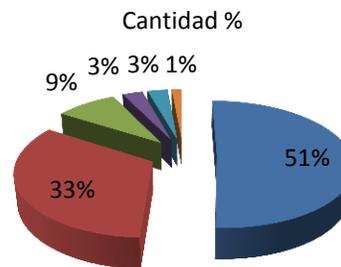
5. La suma de los números enteros  $8-5+4-3+2-10$  es:

Respuestas	Cantidad
Contesta correctamente	72
Se equivoca con los signos al sumar	6
Sumo todo	1



6. Escriba una ecuación equivalente a  $9x + 7y = 4$

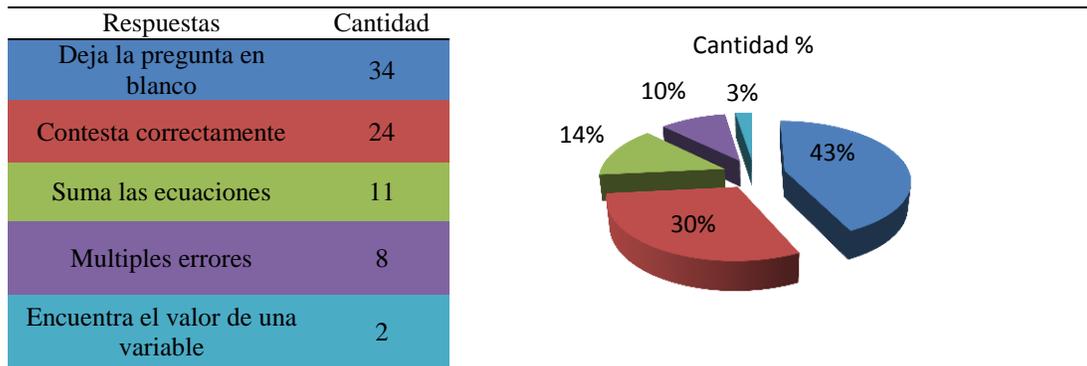
Respuestas	Cantidad
Deja la pregunta en blanco	35
Contesta correctamente	23
Multiples errores	6
Suma coeficientes y multiplica variables	2
Reescribe la ecuación	2
Multiplica por si mismos los valores constantes	1



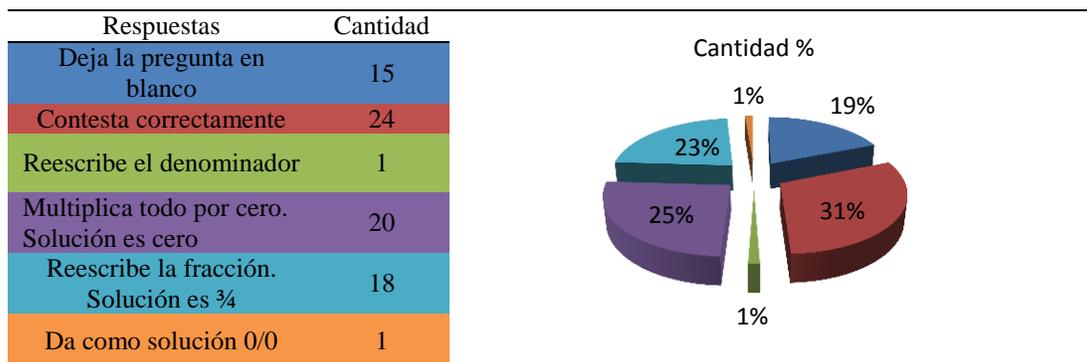
7. ¿Cuál es la solución del siguiente sistema de ecuaciones lineales? :

$$x + y = 15$$

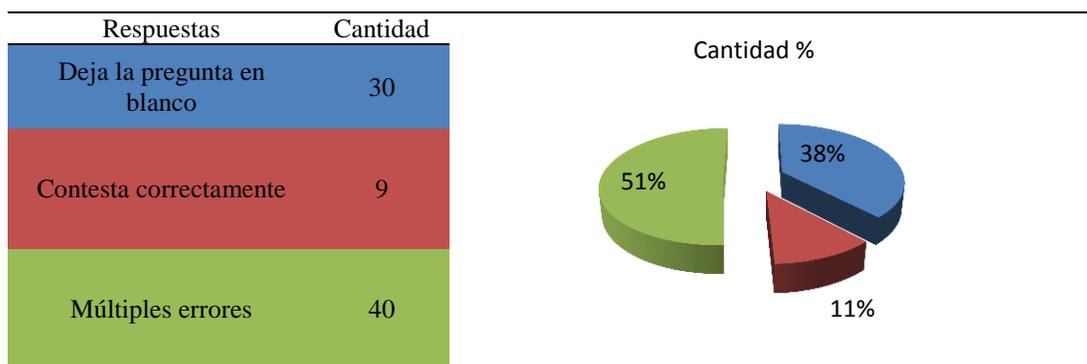
$$3x - 2y = 20$$



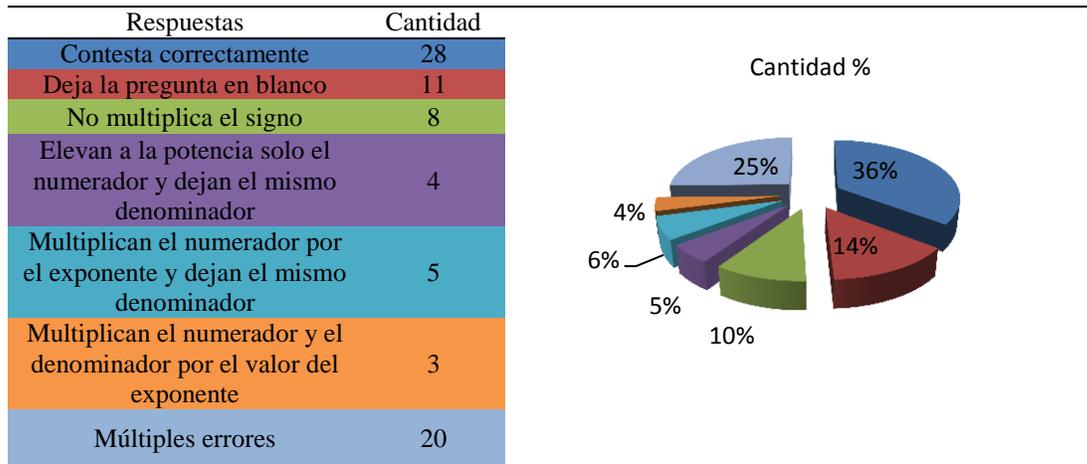
8. Realice la siguiente operación  $\left[\frac{3}{4}\right]^0$  :



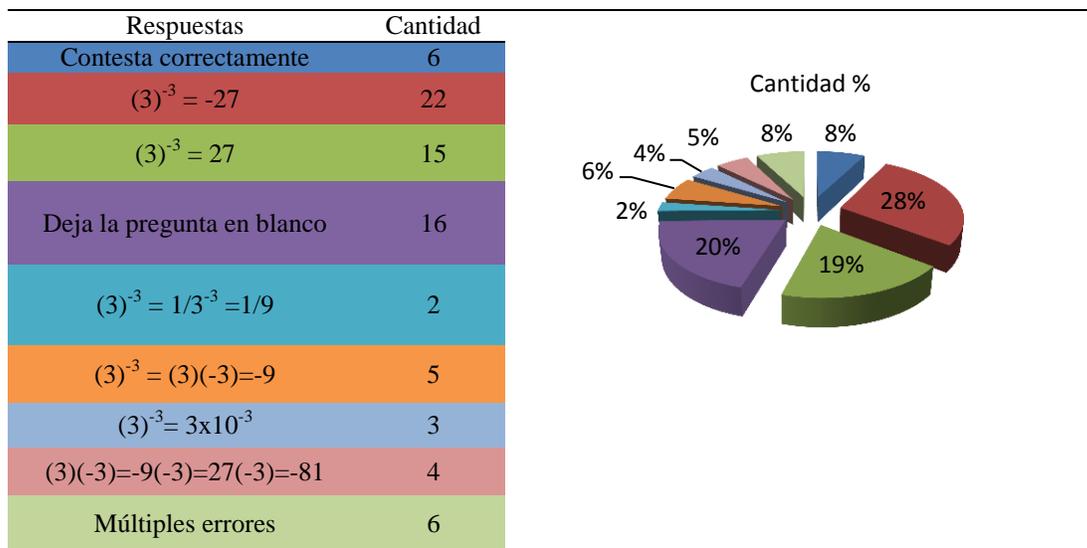
9. Despeje h de la siguiente ecuación:  $S = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$



10. Realice la siguiente operación:  $\left(-\frac{3}{4}\right)^3$ :

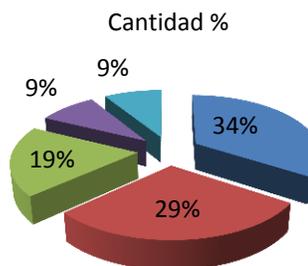


11. Realice la siguiente operación  $(3)^{-3}$



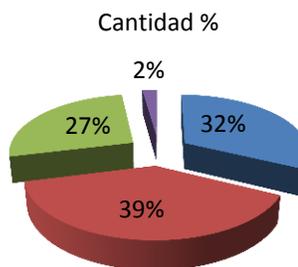
12. Multiplique correctamente los siguientes términos algebraicos  $\left[ \frac{3x^2yz}{4} \right] \left[ \frac{4x}{3yz} \right]$ :

Respuestas	Cantidad
Deja la pregunta en blanco	27
Multiplica bien pero no simplifica	23
Contesta correctamente	15
Múltiples errores	7
Resuelve como división	7



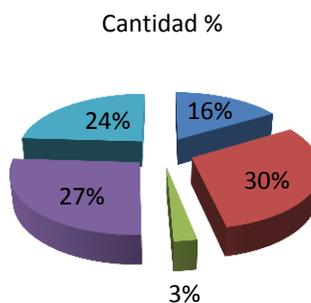
13. La solución o raíz de la ecuación  $14x - 10 = -6(x+2)$  es

Respuestas	Cantidad
Deja la pregunta en blanco	29
Contesta correctamente	35
Múltiples errores	24
Obtiene (1/10): $20x = -2$ ; $x = -2/-20$	2

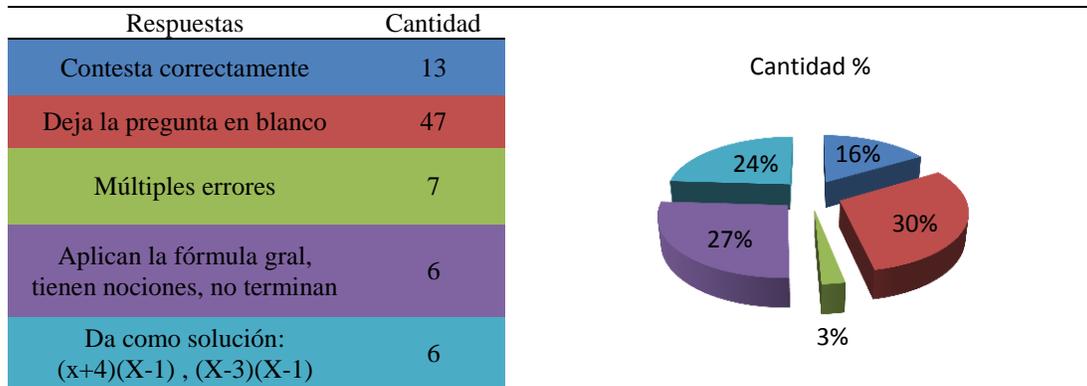


14. La descomposición en factores de  $x^2+3x-10$  es:

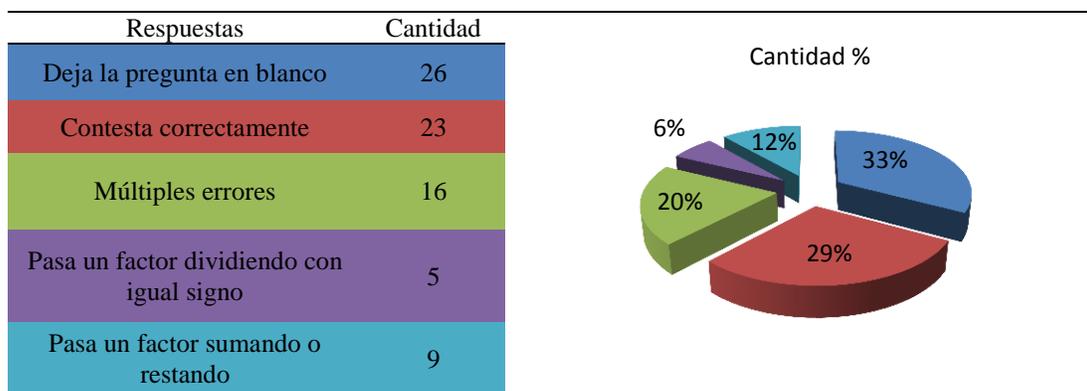
Respuestas	Cantidad
Contesta correctamente	13
Deja la pregunta en blanco	24
Múltiples errores	2
Resuelve una ecuación	21
$x(x+3)-10$	19



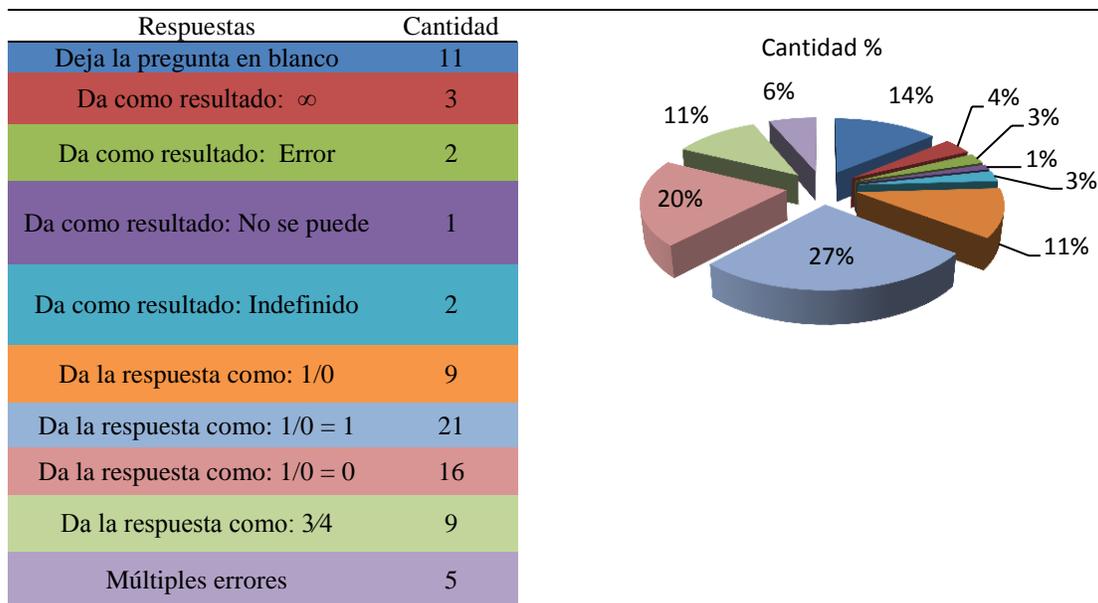
15. Las soluciones de la siguiente ecuación cuadrática  $x^2-4x+3=0$  son:



16. De la ecuación  $-\frac{2}{5}F_1 + 3F_2 = 5$  despeja  $F_1$

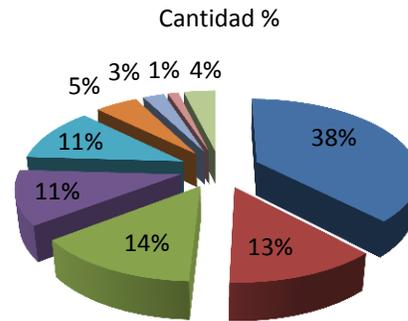


17. Realice la siguiente operación:  $\frac{4-3}{4-4}$



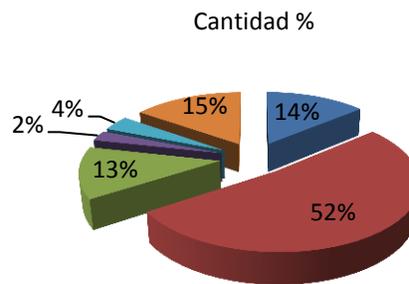
18. Realice la siguiente operación  $\frac{3-3}{8-3}$ :

Respuestas	Cantidad
Contesta correctamente	30
Deja la pregunta en blanco	10
Da como solución $0/5 = 5$	11
Dejan como solución $0/5$	9
Dejan como solución $3/8$	9
Dicen que $0/5 = 1/5$	4
Dicen que la solución no existe	2
Dicen que $0/5$ es indeterminado	1
Múltiples errores	3



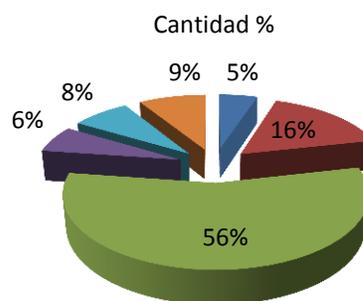
19. En la siguiente ecuación:  $-3x+2 = 5$ , encuentre el valor de x:

Respuestas	Cantidad
Deja la pregunta en blanco	11
Contesta correctamente	41
$(-3x = 3); (x = 3/3 = 1)$	10
$(-3x = 3); (x = 3 + 3 = 6)$	2
$(-3x = 5+2); (x = -7/3)$	3
Múltiples errores	12

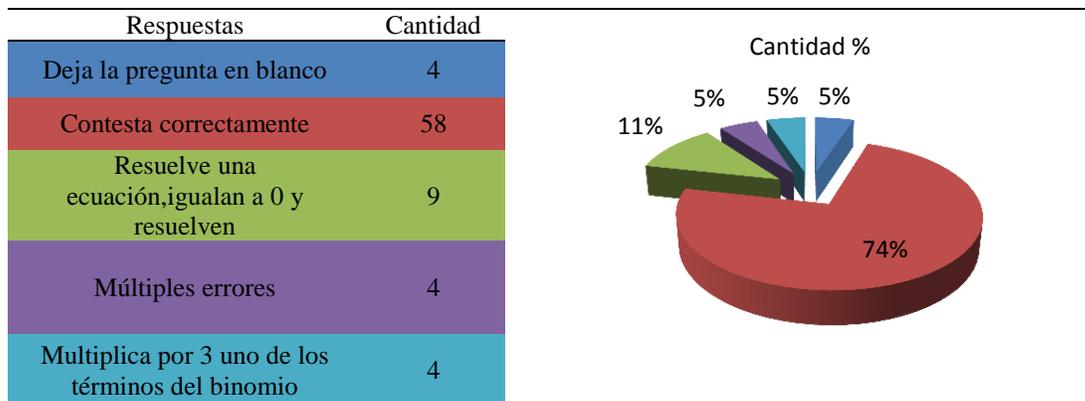


20. Realice la siguiente operación  $(a + b)^2$

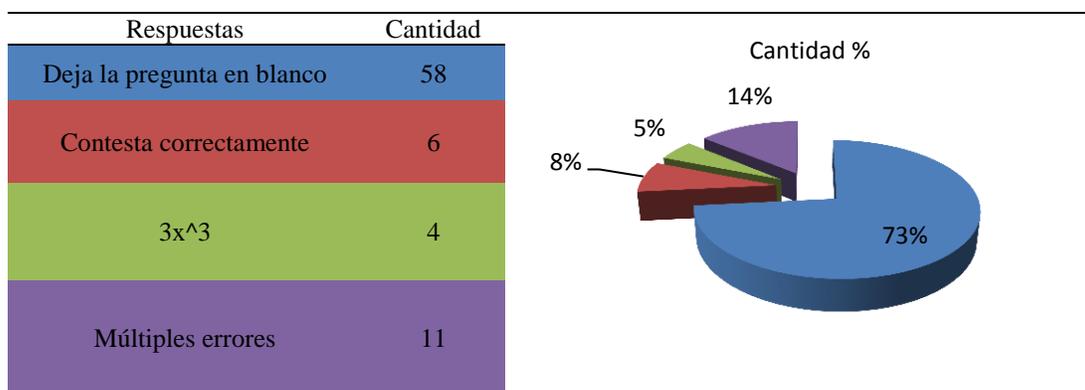
Respuestas	Cantidad
Deja la pregunta en blanco	4
Contesta $a^2+b^2$	13
Contesta correctamente	44
Contesta $a^2+ab+b^2$	5
Contesta $ab^2$	6
Múltiples errores	7



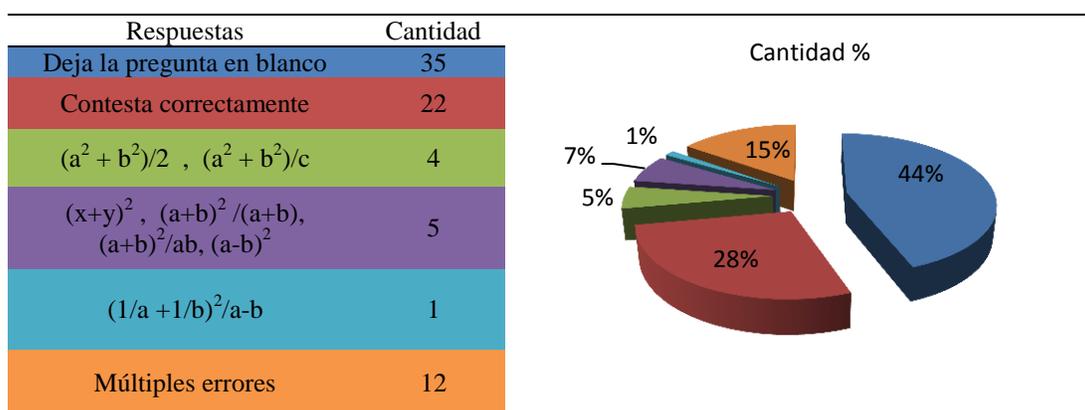
21. Realice la siguiente operación:  $3(x+6)$



22. Realice la siguiente operación  $[3x^2]^{\frac{3}{2}}$



23. ¿Cuál es la expresión algebraica que corresponde al siguiente enunciado? : “ El cociente de la suma de dos números al cuadrado entre la diferencia de dichos números ”



24. Factorice:  $4x^2yz - 8xy + 2x^3z$

