

878517

2

**VNIVERSIDAD NVEVO MVNDO**  
**ESCUELA DE INGENIERIA**  
**CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA U.N.A.M.**



**PROCESO DE CONSTRUCCION DE UN  
AUTOMOVIL SOLAR DE COMPETENCIA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA - INDUSTRIAL**

**P R E S E N T A**

**LUIS CARLOS LUNA ACEVES**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. ARTURO VARGAS W.**

**MEXICO 2002**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A MI MADRE: mi motor y mi alma.**

**A MI PADRE: mi ídolo y ejemplo.**

**A MIS HERMANAS: mis cómplices y amigas.**

**A MIS MAESTROS: por los conocimientos  
que me brindaron.**

**ESCUDEERÍA TORATIUH: por la  
confianza y seguridad.**

**AL AGÜELO: mi maestro personal  
y tercer hermano.**

**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:  
por quitarme tiempo para  
hacer mi Tesis, por el que  
vale la pena la vida.**

# INDICE

## CAPITULO I

INTRODUCCION Y MARCO TEORICO	1
------------------------------	---

## CAPITULO II

SISTEMA DE DISEÑO	25
CHASIS Y CARROCERÍA	25
FUNDAMENTOS BÁSICOS DE AERODINÁMICA	25
FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ERGONOMIA	28
RELACION DE LA AERODINÁMICA CON LA ERGONOMIA	32
LA CARROCERÍA Y SUS MATERIALES	35
CHASIS	38

## CAPITULO III

SISTEMA MECANICO	43
TRANSMISIÓN	43
SUSPENSIÓN	46
DIRECCIÓN	49
FRENOS	57
LLANTAS Y RINES	58
Llantas	58
Rines	60

<b>CAPITULO IV</b>	<b>61</b>
<b>SISTEMA ELECTRICO</b>	<b>61</b>
<b>SUBSISTEMA PROPULSOR</b>	<b>61</b>
Motor Eléctrico	61
Controlador	65
<b>SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO (BATERIAS)</b>	<b>66</b>
<b>CAPITULO V</b>	<b>76</b>
<b>EL PANEL SOLAR</b>	<b>76</b>
<b>CONSIDERACIONES DE CARGA Y OPERACIÓN</b>	<b>87</b>
<b>CALCULO DEL ARREGLO</b>	<b>87</b>
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<b>88</b>
Substrato	88
Adhesión	92
Recubrimiento	93
Ensamble	95
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>100</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>103</b>

# CAPITULO I

## **INTRODUCCIÓN Y MARCO TEORICO**

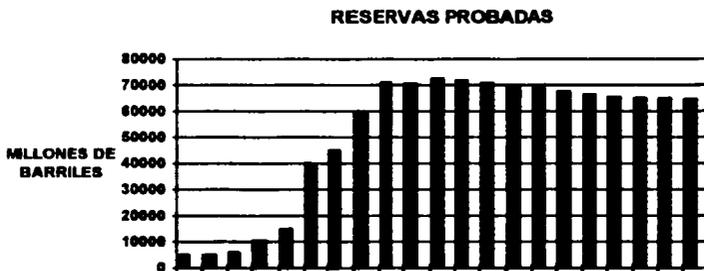
La evolución de la humanidad ha estado indisolublemente ligada a la utilización de la energía en sus distintas formas. La búsqueda de fuentes de energía que optimicen el trabajo, ha sido lo que, desde un principio, ha movido a la humanidad hacia el progreso. Cada vez que el hombre ha encontrado alguna nueva fuente de energía o creado un procedimiento distinto para aprovecharla, se han experimentado grandes avances.

El descubrimiento del fuego, su control y producción marcan el primer acontecimiento importante en la historia de la sociedad. El aprovechamiento de la fuerza de tracción de los animales permitió el desarrollo de la agricultura; fue así como algunos pueblos nómadas se asentaron y establecieron las bases para el surgimiento de las antiguas culturas. La utilización de la energía del viento mediante la invención de la vela dio un fuerte impulso a la navegación, al comercio y al intercambio de ideas y conocimientos entre los pueblos de la antigüedad. El empleo de la energía cinética de las corrientes de agua, gracias a la rueda hidráulica, liberó al hombre de una gran cantidad de tareas que requerían de un gran esfuerzo físico y dio lugar a la creación de los primeros talleres y fábricas, remotos antecedentes de la modernas plantas industriales.

Pero seguramente cuando el hombre descubrió el fuego, o cuando en 1767, James Watt, inventó el primer motor de vapor que desató la revolución industrial, y aún más tarde, cuando el petróleo y los combustibles fósiles tomaron su lugar como las fuentes de energía más importantes, nadie imaginaba las repercusiones ambientales que el desarrollo tecnológico tendría en nuestros días.

Claro está que a la era actual podría llamarse "la era del petróleo", aunque algunos consideran que debería llamarse "la era de la electrónica", o "la era atómica", sin embargo los hechos son que el 88 % de la energía comercial que se consume en el planeta se deriva de combustibles fósiles<sup>1</sup>, y en México, esta cifra asciende al 90 %<sup>2</sup>. En sólo 20 años, de 1970 a 1990, la economía mundial quemó 450 mil millones de barriles de petróleo, 90 mil millones de toneladas de carbón y 1100 billones de metros cúbicos de gas natural<sup>3</sup>. La conferencia mundial de energía, proyectó en 1989 que, a la tasa contemporánea de crecimiento poblacional y de capital, las demandas energéticas mundiales aumentarían en un 75 % para el año 2020. Todo esto parecería no ser un asunto de qué preocuparse si no es porque, a la tasa actual de consumo, se ha estimado que el petróleo durará unos 40 años más, el gas natural 50 años y el carbón, menos de 200 años.

FIGURA 1-1



<sup>1</sup>MEADOWS D.L., MEADOWS D.H., RANDERS J., Beyond the limits, U.S.A. Chelsea Green Publishing Co., 1992.

<sup>2</sup>FIGUEROA N.L., Discurso Inaugural XIII Seminario Nacional de la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, México, 1992.

<sup>3</sup>MEADOWS, op. cit. 1.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Si se estudia el caso de México, según datos proporcionados en el anuario estadístico de Pemex correspondiente a 1994, se notará que el problema es similar y quizá más grave tomando en cuenta que el petróleo ocupa un lugar primordial en la economía del país.

FIGURA 1-2

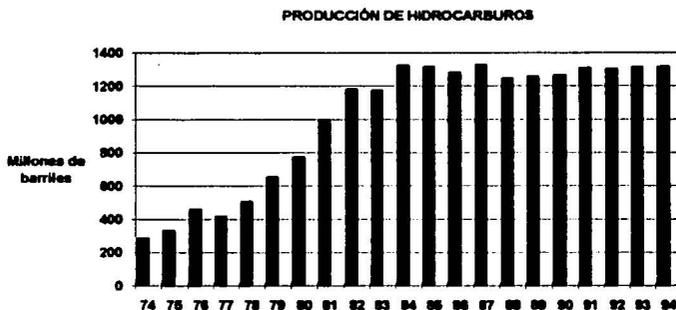
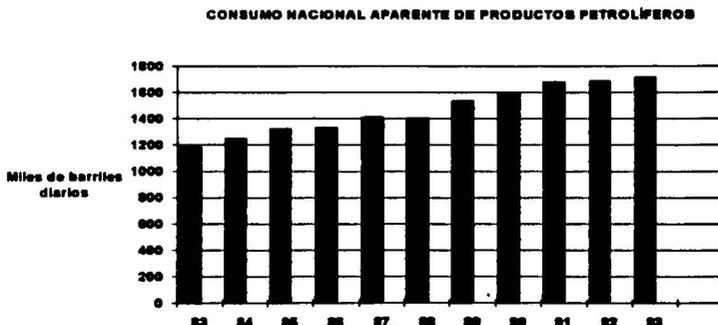


FIGURA 1-3



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



FIGURA 1-4

De aquí se derivan dos grandes problemas de la humanidad: La contaminación ambiental y la exagerada dependencia de la economía mundial en estos energéticos no renovables.

Respecto a la dependencia en los combustibles fósiles, basta con imaginar lo que sería de un país si en este momento se agotara la última gota de petróleo. Si bien el mundo no sufre de una carestía de combustibles fósiles actualmente, sí se debe prever, que esta futura carestía, producirá un alza en el precio de los hidrocarburos, causando un fuerte impacto económico a nivel mundial, por lo tanto es de vital importancia que se utilicen los combustibles fósiles en el desarrollo de nuevas fuentes de energía renovables.

En cuanto a la contaminación ambiental, un panorama aún más preocupante, es ya una realidad en nuestros días.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Desde 1860, cuando se hicieron estadísticas confiables, hasta 1984, cerca de 333 mil millones de toneladas de gases se han arrojado a la atmósfera, y actualmente se arrojan 6 mil millones de toneladas por año<sup>4</sup>. El bióxido de carbono está a un nivel de 353 ppm<sup>5</sup>. La contaminación del aire es muy grave y es el causante de serios problemas.

El primero de ellos es la lluvia ácida. Ésta ocurre cuando el bióxido de azufre y el óxido de nitrógeno, que son emitidos cuando se queman combustibles fósiles, sufren una transformación química al combinarse con formaldehídos en la atmósfera, produciendo diversos ácidos. Éstos caen a la tierra al ser absorbidos por el agua de la lluvia, la nieve, e incluso la niebla. La lluvia ácida tiene graves efectos en la agricultura y en la pesca, contamina el agua afectando los suelos y un sinnúmero de ecosistemas; también es responsable de daños materiales por corrosión en edificios, monumentos, autos, etcétera. Se calcula que sólo en Europa, la lluvia ácida produce daños por 20,000 millones de dólares<sup>6</sup>.

El segundo, recientemente revelado por la NASA, es el alarmante crecimiento del hoyo en la capa estratosférica de ozono, que es ya, 4 veces el tamaño del territorio de los Estados Unidos y que cubre parte del territorio de Sudamérica, específicamente el puerto chileno de Punta Arenas con una población de 115, 000 habitantes<sup>7</sup>. La capa de ozono está siendo destruida por químicos hechos por el hombre, cuya base son cloro y bromo. Se calcula que sólo una molécula de algún cloruro puede destruir 100 000 moléculas de ozono. El ozono representa el 0.0005% de nuestra atmósfera; si todo el ozono que rodea a la tierra se pudiera poner en una sola capa, ésta sería de aproximadamente 7mm de espesor<sup>8</sup>, y sin embargo, este delgado escudo es nuestra única protección contra radiaciones que podrían acabar con gran parte de la vida en el planeta. Este hoyo deja pasar las

---

<sup>4</sup>SHAFFER John, *Alternative Source Book*, U.S.A., Real Goods, 1992, (7a ed.), p. 9.

<sup>5</sup> *Ibidem*.

<sup>6</sup> DADD Debra, *Nontoxic, Natural & Earthwise*, U.S.A., Tarcher/Perigee, 1990, p. 29.

<sup>7</sup>SHAFFER, *op.cit.* 4, p. 6.

<sup>8</sup>DADD, *op. cit.* 6, p. 27.

muy peligrosas radiaciones B de los rayos ultravioleta, contra las cuales la mayoría de los seres vivos tienen muy poca, si no es que nula, protección.

Un tercer problema son los efectos en la salud de los seres humanos por la respiración de contaminantes, que incluyen: numerosas enfermedades respiratorias, como enfisemas, bronquitis y asma; cambios bioquímicos importantes en los niños, cáncer, reducción en la cantidad de oxígeno que llega a los tejidos del cuerpo, debilidad en las contracciones del corazón, efectos sobre la función mental, la agudeza visual, los reflejos y la capacidad de aprendizaje, efectos en el sistema nervioso y hematológico, jaquecas, enfermedades en los ojos y se cree que el síndrome de muerte repentina en niños recién nacidos está altamente relacionado también.

Otro problema más, y quizá el más grave de todos, es el calentamiento global producido por el efecto invernadero. En un invernadero, la energía del sol que pasa por el cristal, queda atrapada, provocando que el clima dentro del invernadero sea más caliente y que las delicadas semillas germinen. En la tierra, el enorme invernadero, no está hecho de cristal, sino de gases como son los óxidos de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno y azufre, los clorofluorcarbonos, el vapor de agua y partículas suspendidas en el aire, entre las que se encuentra el plomo. El calentamiento mundial pone en peligro a una gran parte de los sistemas biológicos, produce sequías en algunas regiones y aumento de precipitación en otras, afectando seriamente la agricultura, y es muy probable que produzca grandes inundaciones. En este siglo la temperatura de la tierra aumentó 1 grado centígrado, lo que incrementó el nivel de los océanos por 15 cm. Se espera que dentro de los siguientes 40 años la tierra aumente su temperatura 2 grados más, lo que provocaría 30 cm. de incremento en el nivel del mar<sup>9</sup>. Con esto muchos puertos quedarían bajo las aguas.

A estos problemas se suman muchos otros que agravan la situación: la explotación desmesurada de los recursos naturales, el agotamiento del suelo,

---

<sup>9</sup>Union of Concerned Scientists, "The Global Warming Debate, answers to controversial questions", U.S.A, 1990.

reduciendo su productividad, el peligro de extinción de un tercio de las especies que habitan en la tierra, la deforestación que avanza con un ritmo alarmante, y que de continuar así representará la desaparición de las selvas tropicales y los bosques antes del final del próximo siglo<sup>10</sup>, los derrames de petróleo en los mares y la destrucción de los ecosistemas acuáticos, la contaminación de los mantos acuíferos subterráneos, los desastres nucleares ocurridos en *Chernobyl* y en *Three Mile Island* y las guerras por intereses petroleros como la de Irak, en la que se incendiaron los pozos kuwattíes arrojando grandes cantidades de gases a la atmósfera.

Este cuadro que parece propio de un pasaje del Apocalipsis, desgraciadamente no se lee en la Biblia sino en los periódicos, pero existen ya dos soluciones tecnológicamente viables para estos problemas: La utilización de fuentes alternativas de energía, y la eficiencia en el uso de la energía.

Por eficiencia se entiende producir los mismos bienes y servicios con la menor cantidad de energía posible, o bien, producir la mayor cantidad posible de bienes y servicios para una cantidad determinada de energía. La eficiencia es inversamente proporcional a las pérdidas en un sistema, es decir, que en un sistema donde las pérdidas tienden a ser pequeñas, la eficiencia tiende a ser mayor y viceversa.

Es una pena que la cultura actual no esté familiarizada con este concepto, sin embargo, y sobre todo en lo que se conoce como el primer mundo, está despertando el interés por la eficiencia de una manera efervescente. Algunos piensan que Japón y Alemania, son países mágicos, por la manera en que se levantaron después de la devastación sufrida en la Segunda Guerra Mundial, hasta llegar a ser dos de las economías más fuertes del mundo actual en menos de 45 años, pues resulta ser que su magia no es otra cosa que la eficiencia. Si Estados

---

<sup>10</sup>NorthEast Sustainable Energy Association, *Solar and Electric Vehicles 92*, U.S.A. US Department of Energy, 1992, Volumen I.

Unidos, que es el mercado de consumo más grande del planeta, utilizara la energía tan eficientemente como Japón o Alemania, ahorraría ¡200 mil millones de dólares anualmente!<sup>11</sup>. Se debe imaginar lo que la eficiencia podría hacer por los países en vías de desarrollo, y en concreto, por México.

Existen ya en el mercado una variedad enorme de productos de uso común que tienen alta eficiencia, amigables ecológicamente hablando, que de ninguna manera representan un sacrificio en el *modus vivendi* de la cultura moderna, y que de usarse, representarían un ahorro del 75 % en el consumo de la energía<sup>12</sup>. Cambiar los ineficientes focos incandescentes por los super eficientes focos compactos fluorescentes; el excusado, las regaderas y las diferentes tomas de agua convencionales de alto gasto, por las de bajo gasto; reciclar vidrio, papel, plástico y los metales; usar jabones y limpiadores no tóxicos y biodegradables; usar aparatos electrodomésticos de bajo consumo de energía, como refrigeradores, bombas de agua, etcétera.

Se calcula que el 50% de la basura que se tira en una ciudad es reciclable; reciclar papel, usa 60 % menos energía que fabricarlo, si se reciclara todo el papel que se usa, se salvarían unos 500,000 árboles de ser cortados cada semana<sup>13</sup>.

Por donde se vea, la eficiencia lo único que produce es bienestar. En México, es de suma importancia que se adopte y se difunda entre la población, la industria y las instituciones de educación, e incluso que se tome como política económica del Gobierno.

Respecto a las fuentes alternativas de energía, hay también mucho de que hablar. El sol, el agua y el aire, representan enormes fuentes de energía gratuita,

---

<sup>11</sup> SHAEFFER, op. cit. 4, p 9.

<sup>12</sup> *Ibidem*.

<sup>13</sup> SHAEFFER, op. cit. 4, p 107.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

no contaminante, disponible para todos y eterna; digo eterna, puesto que el día que se acabe alguna de ellas, también se acabará la humanidad.

El agua se ha utilizado ya desde tiempo atrás para la generación de electricidad en las plantas hidroeléctricas, la idea de utilizar molinos movidos por el agua ha existido por siglos, pero el desarrollo de la turbina hidráulica por Lester Pelton en 1880 impulsó aún más la utilización de las caídas de agua para la generación de electricidad.

El viento, es una de las fuentes alternativas de energía más antiguas y más benignas para el ambiente. Desde tiempos remotos se usó la fuerza del viento para mover embarcaciones. En Holanda por ejemplo, se usó para mover los enormes molinos que bombeaban el agua para ganarle terreno al mar. La energía del viento ha tomado un gran auge en los últimos 10 años para la generación de electricidad, entre 1981 y 1988 cerca de 1 500 MW se han instalado en California, donde la mayor parte del aprovechamiento de la energía eólica ha tenido lugar<sup>14</sup>. Este tipo de energía está dentro de las más económicas en la generación de electricidad y es ideal para lugares remotos de difícil acceso para las líneas de transmisión, costas, montañas y grandes planicies.

Existen otros tipos de energía como la geotérmica, que es la energía calorífica que se encuentra atrapada en los substratos de la tierra, sin embargo, es el sol la fuente alternativa de energía más importante que hay, por lo que a continuación explicaré:

El consumo actual de energéticos produce 5 Terawatts (5 billones de watts) diariamente, con lo que se satisfacen las necesidades de la humanidad hasta el momento<sup>15</sup>. La potencia total del sol es de  $2.81 \times 10^{23}$  KW, es decir, que en un segundo, suficiente energía es liberada para satisfacer las necesidades energéticas

---

<sup>14</sup>UCS, "Cool Energy, the renewable solution to global warming", U.S.A, 1992.

<sup>15</sup>MEADOWS, op. cit. 1.



de la humanidad por 2000 años<sup>16</sup>. La tierra recibe menos de una millonésima parte de esta energía,  $1.52 \times 10^{18}$  KWh/año, y aún así las necesidades energéticas de la humanidad son menos del 0.1 % de esta cantidad<sup>17</sup>. Cada metro cuadrado de la tierra recibe alrededor de 1 KW, a medio día, totalmente gratis, ¿por qué no se aprovecha?, el hecho es que algunos países empiezan a tomar conciencia de este potencial, pero aún falta mucho por hacer.

El sol, siempre ha sido algo muy importante para todas las culturas e incluso muchas llegaron a considerarlo como un dios. Resulta difícil saber exactamente cuándo fue que el hombre comenzó a utilizar la energía que emana del gran astro para aplicaciones específicas.

Los antiguos griegos y chinos incorporaron diseños solares pasivos en sus construcciones 500 años A.C.. Leonardo Da Vinci, propuso el uso de la energía solar para propósitos industriales, en 1515 D.C.. Sin embargo, fue hasta 1839 que se descubrió el primer fenómeno fotovoltaico por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel. De este descubrimiento y de la historia de las celdas fotovoltaicas se hablará en capítulos posteriores, pero gracias a este descubrimiento, hoy se utiliza la energía solar en un gran número de aplicaciones: satélites, barcos, plantas generadoras de electricidad, en casas autosuficientes, en lugares remotos donde es difícil que lleguen las líneas de transmisión, y en una variedad enorme de aplicaciones pequeñas como calculadoras, relojes, lámparas de mano, recargadores, etcétera.

Hasta ahora se ha hablado de dos grandes problemas de la humanidad, derivados del consumo de combustibles fósiles, y de dos alternativas de solución: la optimización de los recursos energéticos, mediante su uso racional y eficiente, y el empleo de fuentes alternativas de energía; pero ¿qué relación tiene todo esto con el desarrollo de un auto solar de competencias?

---

<sup>16</sup>SOLAREX, "Discover the Newest World Power", U.S.A., 72021-1, 1992.

<sup>17</sup> Ibidem.

Si se entiende un automóvil solar como aquel vehículo que es impulsado únicamente por celdas fotovoltaicas, entonces los automóviles solares no son los que se estarán conduciendo en un futuro, ya que en realidad no son nada prácticos, son excesivamente caros, complicados, frágiles y aún en el caso de que se lograran obtener celdas solares con 100 % de eficiencia, la energía que podría captar un vehículo de tamaño regular sería muy poca para cubrir las necesidades de transporte actuales, además de que la luz solar no siempre está presente.

La verdadera importancia de un automóvil solar no radica pues en un futuro transporte comercial, sino en lo siguiente:

\* Un automóvil solar es un verdadero proyecto de investigación y desarrollo de adelantos tecnológicos en aerodinámica, materiales, fotoceldas, electrónica, motores, baterías y llantas, que pueden ser posteriormente aplicados a los vehículos eléctricos para hacerlos competitivos frente a los vehículos de combustión interna y acelerar así, su aceptación en el mercado. Se debe recordar que una gran parte de los avances tecnológicos incorporados hoy en los vehículos de combustión interna, que nos transportan cotidianamente, fueron desarrollados en prototipos para competencias automovilísticas.

\* Un automóvil solar, resalta los términos "eficiencia" y "energía solar" de una manera por demás atractiva, lo que ha provocado un efervescente interés por estos términos entre los ingenieros. El automóvil solar, es capaz de recorrer enormes distancias y viajar a una velocidad promedio de 70 km/h con una potencia menor a 1 kw, potencia equiparable a aquella que se podría encontrar en cualquier aparato electrodoméstico, como un secador de pelo. La idea de realizar grandes cantidades de trabajo utilizando muy poca potencia, es exactamente lo que se entiende por eficiencia. Esto se logra, gracias a que el auto solar utiliza en su construcción materiales super ligeros y resistentes como lo son el Kevlar y la fibra de carbono a manera de *sandwich* con panel de abeja de fibra de aramida, logrando

## TESIS CON FALLA DE ORIGEN

así obtener el menor peso para una estructura con una resistencia que cumple con los requisitos de seguridad, también, se reducen al máximo las pérdidas mecánicas por fricción en rodamientos, y en la transmisión, se tiene una forma aerodinámica de muy bajo coeficiente de arrastre, se reducen también las pérdidas en la electrónica usando componentes de calidad y diseñando circuitos que manejen una adecuada relación voltaje-corriente y se utilizan llantas especiales para reducir la resistencia al rodamiento. El intentar reducir el peso, las pérdidas aerodinámicas, las mecánicas y las electrónicas es lo que hacen de este "laboratorio" un hervidero de tecnología.

\* Por último, un auto solar no solamente es una excelente propaganda para la eficiencia y el uso de la energía solar, sino también para la ingeniería como una verdadera opción para los estudiantes, y esto es muy importante, ya que el ingeniero es un recurso humano fundamental para el desarrollo industrial y económico de México.

La historia de los autos solares se remonta a 1982, cuando un visionario aventurero australiano, de origen danés, Hans Tholstrup, y el piloto de carreras Larry Perkins, construyeron y manejaron el primer auto solar, el "BP Quiet Achiever" desde Perth hasta Sidney. Cruzar Australia de oeste a este por un total de 4058 Km. tomó 20 días con un promedio de velocidad de 23 km/h

FIGURA 1-5 "BP QUIET ACHIEVER"



El propósito de este primer auto, fue el de mostrar al mundo tres cosas básicamente, que la energía solar era una fuente muy importante y suficientemente desarrollada para sustituir a los combustibles fósiles, que el transporte terrestre tiene alternativas no contaminantes como el vehículo eléctrico, y crear el interés en el mundo científico por el desarrollo de ambas.

El primer fruto de este propósito se dio en 1985, cuando el suizo Urs Muntwyler creó la primera competencia mundial de autos solares el "Tour de Sol", misma que creó una gran expectación y atrajo la mirada del mundo. Desde entonces esta carrera se celebra anualmente en Europa.

Posteriormente en 1987, el mismo Hans Tholstrup inició en Australia el "World Solar Challenge", competencia que se lleva a cabo cada tres años y en la que se recorre Australia de norte a sur, desde Darwin, latitud 12.5° sur, hasta Adelaide, latitud 35° sur, a través del desierto, por un total de 3000 km. Rápidamente esta competencia se convirtió en la más importante de todas, con la participación de un sinnúmero de universidades y empresas de todo el mundo, pero sobre todo de las principales compañías constructoras de autos, General Motors, Ford, Nissan, Honda, y Toyota.

Inmediatamente después, en todo el mundo se empezaron a desarrollar competencias de autos tanto solares como eléctricos. Destacan el "Solar Cup USA" en 1988, el "Tour de Sol USA" en 1989, el "Sunrayce" en 1990 que es otra de las carreras que se ha vuelto muy importante, pues reúne a las principales universidades de Estados Unidos y está patrocinada por la General Motors, y por último y no menos importante la carrera "Solar & Electric 500" que es la primera carrera de vehículos eléctricos y se lleva a cabo anualmente en Phoenix, Arizona desde 1991.

Después del "BP Quiet Achiever" se han construido en el mundo cerca de 200 prototipos, con la participación de más de 20 países, promediando velocidades de 85 km/h y desarrollando velocidades pico de hasta 140 km/h, con presupuestos que llegan a los 10 millones de dólares por un sólo auto. Con estas cifras se puede obtener una idea del progreso que han tenido estos vehículos y del interés tan fuerte que hay en el desarrollo de estos "laboratorios".

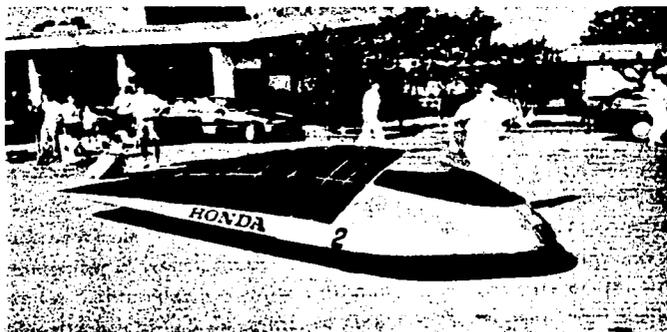


FIGURA 1-6 PROTOTIPO

A pesar de que la historia del automóvil eléctrico es más antigua que la de los automóviles solares, es evidente el gran auge que ha tomado la idea del vehículo eléctrico a partir de este tipo de competencias que definitivamente han logrado captar el interés del mundo científico, afocándolo al desarrollo del vehículo eléctrico.

La General Motors, después de haber ganado el *World Solar Challenge* en 1987 con su extraordinario automóvil solar, el "Sunracer", decidió diseñar y construir con miras comerciales, uno de los autos eléctricos más prometedores; el "Impact".

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este automóvil es capaz de desarrollar velocidades de 160 km/h y tiene una autonomía de 190 km a un velocidad de 90 km/h.



FIGURA 1-7 "IMPACT" AUTOMÓVIL ELECTRICO

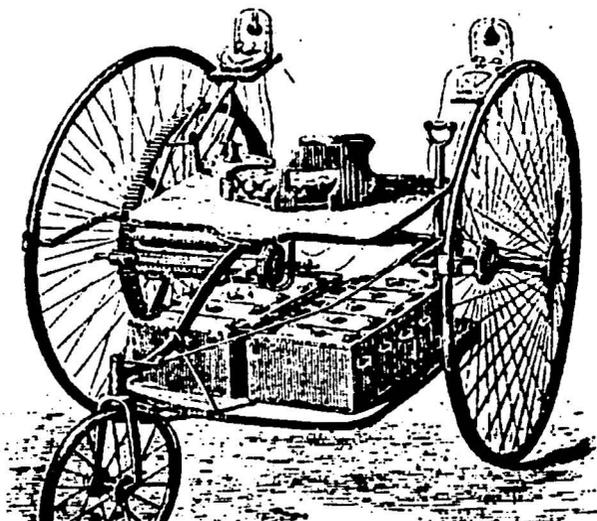
Actualmente casi todas las grandes constructoras de autos tienen prototipos de autos eléctricos que piensan lanzar al mercado próximamente si es que no lo han hecho ya.

El automóvil eléctrico se empezó a desarrollar casi un siglo después que el automóvil de vapor. Francia e Inglaterra fueron las primeras naciones en desarrollar el vehículo eléctrico. Aún que Davenport, en EUA, usó por primera vez un rudimentario e imperfecto motor eléctrico para operar un torno en 1835, y Mortiz Jacobi usó un primitivo motor eléctrico para impulsar un bote en 1838, en ambos casos la fuente de poder fue una batería primaria que acabaría su vida útil sin posibilidades de recarga.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fue M. Gustave Trouvé de Francia quien por primera vez aplicó la batería secundaria recargable de plomo-ácido inventada por Gaston Planté en 1859, y el motor eléctrico de corriente directa mejorado, para una aplicación de transporte terrestre. En 1881, en una exhibición internacional de electricidad, Trouvé mostró un bote, un triciclo y un dirigible impulsados por motores eléctricos. Posteriormente en 1882, los profesores Ayrton y Perry, en Inglaterra, mostraron un triciclo impulsado por baterías plomo-ácido similar al de Trouvé.

FIGURA 1-8 TRICICLO IMPULSADO POR BATERIAS



El primer norteamericano que construyó un auto eléctrico fue Andrew Riker en 1890; le siguió William Morrison en 1891. Rápidamente en el mundo circulaba

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

la idea del surgimiento de lo que entonces llamaban "The Horseless Age" o la era sin caballo.

El desarrollo del vehículo eléctrico era prometedor para entonces, incluso en 1899 el francés Camille Jenatzy estableció el récord mundial de velocidad de 110.7 km/h en su automóvil "La Jamais Contente". Otro récord más se estableció en 1901 cuando el auto francés "Krieger", logró recorrer 309 km con una sola carga de baterías, posteriormente en 1904, Baker, con el "Torpedo Kid", logró una velocidad de 167 km/h en Daytona Beach, Florida. A pesar de estas cifras tan impresionantes, considerando la época, el automóvil eléctrico tenía un alto costo relativo y necesitaba de recargas frecuentes de batería, que tomaban mucho tiempo.

El golpe final que acabaría con los sueños de muchos entusiastas de los vehículos eléctricos fue el desarrollo del motor de combustión interna a finales del siglo XIX. La alta energía específica y la alta potencia específica de los combustibles fósiles, como la gasolina que llega a tener hasta 12 KWh/kg<sup>18</sup>, hizo de los ineficientes motores de combustión interna de fácil y rápida recarga, la mejor opción dejando a los demás en el olvido.

Hoy, 500 millones de automóviles de combustión interna circulan en el planeta y millones se suman anualmente, al mismo tiempo que se ha creado toda una infraestructura de servicios y estaciones de recarga de tal modo que se puede encontrar una, prácticamente en cada esquina. Solamente en México se cuentan 3268 gasolineras, 241 de éstas en el D.F.<sup>19</sup>

---

<sup>18</sup>RJEZENMAN Michel, "Electric Vehicles", IEEE Spectrum, U.S.A., 0018-9235. noviembre 1992, p 20.

<sup>19</sup>PEMEX, "Anuario Estadístico 1994", México 1994, p. 19.

De no ser por los problemas ecológicos derivados de este crecimiento sin control, los autos eléctricos seguirían en el olvido, sin embargo este nuevo entusiasmo por los vehículos eléctricos parece ser definitivo. En California, en noviembre de 1990, se aprobó una ley emitida por el CARB (*California Air Resources Board*), en la que se ordena que el 2% de los vehículos de menos de 1700 kg, que se vendan de cada compañía en 1998, sean vehículos de emisión cero. Este porcentaje se incrementará a 5% en el año 2001 y a 10% en el año 2003.

**FIGURA 1-9 Clasificación de vehículos por emisiones según CARB**

	MONÓXIDO DE CARBONO	HIDROCARBUROS	ÓXIDOS DE NITRÓGENO	DESCRIPCIÓN
VIBI	3.4	0.4	0.125	Vehículo de Emisión Baja Transitorio
VIB	3.4	0.2	0.075	Vehículo de Emisión Baja
VIUB	1.7	0.2	0.04	Vehículo de Emisión Ultra Baja
VIC	0	0	0	Vehículo de Emisión Cero

Nota: Todas las cantidades están dadas en gramos por milla

**FIGURA 1-10 Porcentaje de vehículos según CARB**

AÑO	% VIBI	% VIB	% VIUB	% VIC
1994	10			
1995	15			
1996	20			
1997		25	2	
1998		48	2	2
1999		73	2	2
2000	0	96	2	2
2001	0	90	5	5
2002	0	85	10	5
2003	0	75	15	10

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Esta ley tiene como uno de sus objetivos principales, reducir la cantidad de petróleo que Estados Unidos importa. Esto es algo que nos debe preocupar a todos los mexicanos, si se considera que Estados Unidos representa el 66 % de las exportaciones del petróleo mexicano<sup>20</sup>.

La mayoría de los estados en Estados Unidos están adoptando esta misma ley con lo que se demuestra la seriedad del movimiento en favor del auto eléctrico, sin embargo los vehículos eléctricos para poder sustituir a los vehículos de combustión interna, deberán sobreponerse a los siguientes problemas:

- \* Un vehículo eléctrico no puede recorrer la misma distancia con una sola carga de baterías, como un vehículo de combustión interna con un tanque de gasolina.

- \* Toma cerca de 8 horas recargar un banco de baterías, mientras que llenar un tanque de gasolina toma sólo 5 minutos.

- \* Los vehículos eléctricos cuestan más que los vehículos de combustión interna. Actualmente un vehículo eléctrico de tipo sedan, puede alcanzar un precio similar al de un automóvil de lujo de combustión interna.

- \* Los vehículos eléctricos no cuentan con una infraestructura de servicios, ni de estaciones de recarga como los vehículos de combustión interna.

---

<sup>20</sup>ibidem.

En contra de estos argumentos, se puede decir lo siguiente:

\* Es cierto que un automóvil eléctrico no puede recorrer la misma distancia que su contraparte de combustión interna, pero se han hecho estudios en los que se demuestra que en una ciudad como los Ángeles, la gente maneja un promedio de 40 km por día<sup>21</sup>, rango que puede ser perfectamente cubierto por un vehículo eléctrico. La mayoría de los viajes que se hacen en una ciudad, como ir de la casa al trabajo y del trabajo a la casa, llevar a los niños a la escuela, ir de compras o de paseo, etcétera. podrían ser cubiertos por un vehículo eléctrico, como primer auto, y tener un segundo auto de combustión interna para viajes largos en carretera.

\* También es cierto el segundo argumento, sin embargo, si se tomara el tiempo que un vehículo en particular circula, se notaría que la mayor parte del tiempo está estacionado. Un vehículo eléctrico podría ser recargado en casa durante toda la noche, en el trabajo mientras esté estacionado, en las escuelas, en los centros comerciales, e incluso en la calle en estaciones de recarga cuando se tenga la infraestructura, con esto, prácticamente no se sacrificaría tiempo productivo para recargar el auto. Hablando sobre la recarga, muchas personas piensan que usando automóviles eléctricos, sólo se transporta el smog, de las grandes ciudades a los lugares donde se encuentra la planta generadora de electricidad. Sin embargo, esta acusación no puede estar más alejada de la realidad, ya que mientras que todos los vehículos de combustión interna son impulsados por combustibles fósiles, un porcentaje de las plantas generadoras de electricidad utilizan otras fuentes de energía que no contaminan el aire, como las hidroeléctricas, además, las plantas termoeléctricas, queman el combustible de manera más eficiente y limpia que los autos, también es más sencillo afinar y rastrear una fuente fija de emisiones, como lo es una planta, y no los millones de automóviles que circulan diariamente, muchos de ellos, en muy mal estado.

\* El costo es uno de los temas más difíciles, ya que debido al bajo valor de la energía específica y de la potencia específica de las baterías, los autos eléctricos se

---

<sup>21</sup>NESEA, op. cit. 10.

han visto en la necesidad de ser diseñados y contruidos para ser altamente eficientes. Deben ser ligeros, sin sacrificar la seguridad de sus pasajeros, deben tener forma aerodinámica de bajo coeficiente de arrastre, y baja resistencia al rodamiento, aparte de estar dotados de electrónica costosa. Si a todo esto se le suma un bajo volumen de producción, se obtiene sin lugar a dudas un automóvil caro. Conforme la tecnología en baterías avanza y los volúmenes de producción de los autos aumente, los costos se abatirán, mientras tanto, tendrá que ser el gobierno quien mediante subsidios o incentivos fiscales, haga del vehículo eléctrico una opción atractiva para el consumidor. En este punto se debe considerar un costo que es difícil de medir, pero que es muy tangible y es el costo de salud, que es bastante alto, por lo que definitivamente es mejor pagar unos pesos más por un auto eléctrico, si con esto se logra tener un mejor ambiente.

\* Sobre la infraestructura, sólo se puede decir que es una cuestión de tiempo, donde nuevamente el gobierno juega un papel muy importante. Es verdad que existe toda una infraestructura para los vehículos de combustión interna, pero ésta no se hizo en un día, tuvo que pasar más de un siglo.

Además, un vehículo eléctrico es mucho menos complicado que un vehículo de combustión interna, y por lo tanto, requiere de menos mantenimiento y servicios. No hay comparación entre la simplicidad de un motor controlado por electrónica y la complejidad del motor de combustión interna con sus inyectores de combustible, compresores, bombas, radiador, mangueras, filtros, bandas, carburador, mofles, aceite, etcétera.

En Estados Unidos, se ha formado un comité por el EPRI (*Electric Power Research Institute*), integrado por las tres grandes constructoras de autos americanos, Ford, General Motors y Chrysler, por la SAE (*Society of Automotive Engineers*), la *Electric Vehicle Association of the Americas* y el *Edison Electric Institute*, con el fin de estudiar las posibilidades para la creación de una infraestructura para vehículos eléctricos.

De los países interesados en el desarrollo de los autos solares, del tercer mundo, solamente Brasil figuraba en la lista, sin embargo desde diciembre de 1992, un grupo multidisciplinario de estudiantes de diferentes universidades del país entre las que se encuentran la UNAM, la UIA, la UAM, la ULSA, el ITESM, la UNUM y la UP, construyeron el primer auto solar de carreras TONATIUH, asesorados por profesionales.

TONATIUH fue ideado, diseñado y es construido totalmente en México, por mexicanos y fue financiado por importantes compañías mexicanas entre las que se encuentran, Industrias Unidas S.A., la CONAE, y Nacional Financiera S.A. y trabaja bajo el marco académico e institucional del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

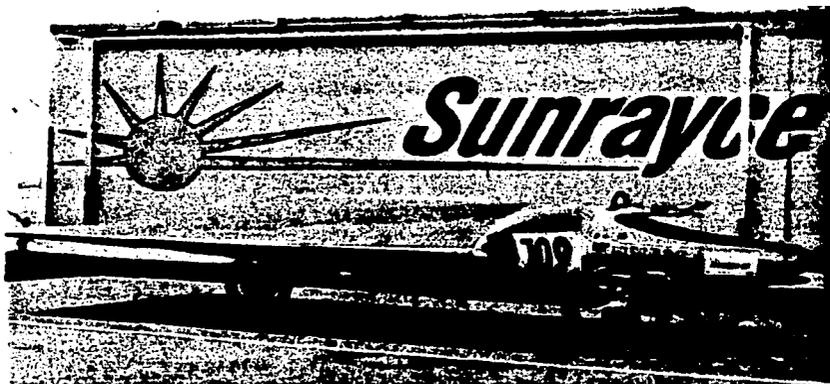
Con TONATIUH, como con los demás autos solares, se busca difundir en México, el interés por el transporte limpio y motivar a los jóvenes para el estudio de carreras ingenieriles.

En esta tesis se presenta una metodología para diseñar y construir automóvil solares de competencias, basado en la experiencia que se obtuvo con la participación dentro del proyecto TONATIUH.

TABLA 1-11. TONATIUH, tiene las siguientes especificaciones

Longitud.....	5.90 m:	Cámbor.....	0°
Ancho:.....	2.12 m	Cáster:.....	0°
Altura:.....	1 m	Convergencia.....	0°
Distancia entre ejes:.....	3.10 m	Dirección:.....	Piñon y cremallera.
Distancia entre ruedas:..	1.95 m	Transmisión:.....	Cadena
Distancia al piso:.....	12 cm	Motor:.....	C.D. de imán permanente sin escobillas. UniQ Mobility DR0S6s. 3.5 Kw, 100 V, 5500 RPM máximas sin carga. 4 Kg
Peso sin piloto:.....	480 Kg	Controlador:.....	Unique Mobility CR10-100 con freno regenerativo. 12 Kg
Chasis y Carena:.....	Tipo monocasco hechos de Kevlar pre-impregnado a manera de sandwich con panel de abeja de fibra de aramida y reforzados con fibra de carbono pre-impregnado. La carena puede rotar con respecto al chasis.	Baterías:.....	7 baterías Delco Remy de plomo ácido de 19 Kg, 56 Ah y 12 V c/u, conectadas en serie.
Parabrisas:.....	Policarbonato termoformado	Panel solar:.....	852 celdas Kyocera de silicio policristalino, grado terrestre de 13% de eficiencia y 100 cm <sup>2</sup> c/u. Substrato curvo orientable de 4 m de largo por 2.12 de ancho con un área total de 8.5 m <sup>2</sup> . Adhesivo y recubrimiento: silicón Dow Corning. Diodos de paso ECG580. Arreglo: 4 módulos conectados en paralelo de 213 celdas en serie c/u. Vca=130, Icc=12 A, potencia máxima=900 W
Rin delantero:.....	Aluminio de 26" x 1.5"	Rastreadores de potencia Advanced Energy Systems, tipo boost, 98% eficiencia. 1Kg de peso.	
Rin trasero:.....	Acero de 17" x 2"		
Llantas delanteras:.....	Avocet de 26" x 1.5", sin dibujo a 90 psi		
Llanta trasera:.....	Pirelli de 17" x 2", sin dibujo a 90 psi		
Frenos:.....	Hidráulicos de disco en las tres ruedas.		
Suspensión delantera:...	Doble brazo en A. Amortiguamiento por epoxifibra.		
Suspensión trasera:.....	Brazo y amortiguador.		

FIGURA 1-12,13 "TONATIUH" EN  
COMPETENCIA



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO II

### **SISTEMA DE DISEÑO.**

#### CHASIS Y CARROCERIA

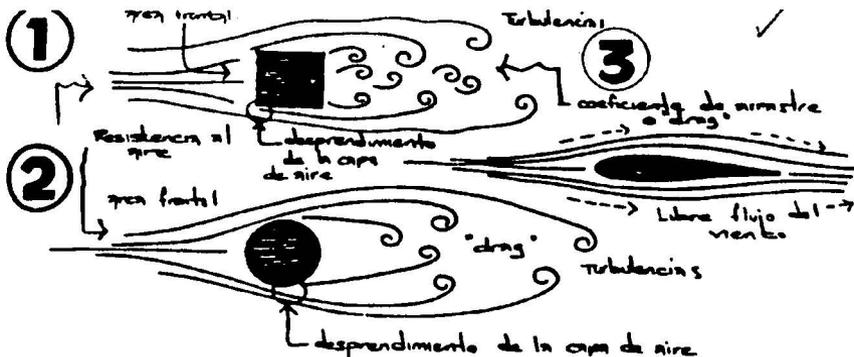
#### FUNDAMENTOS BÁSICOS DE AERODINÁMICA

La aerodinámica estudia las condiciones que resultan de la acción del aire sobre un cuerpo en movimiento. Esto nos permite analizar óptimas formas para que el vehículo que se pretende construir disminuya la resistencia del aire y lograr mejores condiciones de desplazamiento. Por ejemplo, en un auto convencional que se desplaza a 100km/h, la resistencia del aire obliga al motor a consumir un 30% más de su potencia, por lo tanto habrá mayor gasto de energía. Esto sucede porque la resistencia que presenta el viento al desplazamiento del vehículo va aumentando de magnitud conforme éste aumenta su velocidad, por lo tanto, mientras la silueta del móvil presente una mejor aerodinámica, el esfuerzo del motor será menor y por ello existirá un ahorro de energía.

Sometiendo diferentes siluetas a un flujo de viento obtendríamos los siguientes resultados:

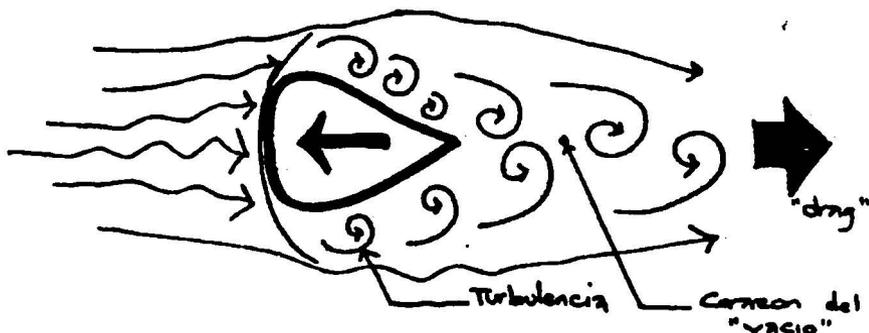
En la figura 2-1 tenemos dos siluetas con alta resistencia al flujo de aire (1 Y 2). El factor fundamental que impide su desplazamiento se llama **resistencia del aire**.

FIGURA 2-1 DIFERENTES FLUJOS DE VIENTO



1. Resistencia del aire. Es la oposición que presenta el aire al libre desplazamiento de un cuerpo. Dicha resistencia aumenta en gran proporción a medida que el vehículo incrementa su velocidad. Otro factor fundamental relacionado con la resistencia del aire es el área frontal de la carrocería del vehículo; a mayor área frontal, mayor resistencia.

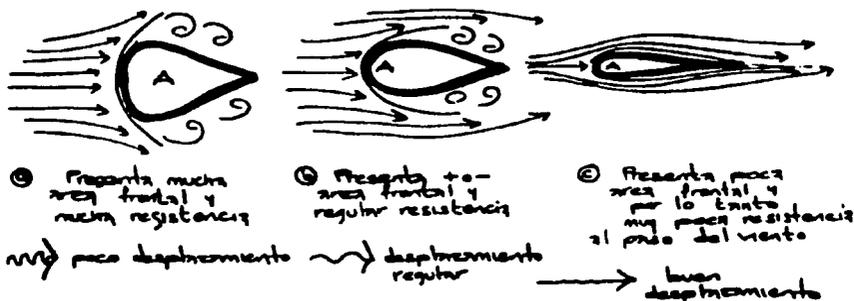
FIGURA 2-2 RESISTENCIA DEL AIRE



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

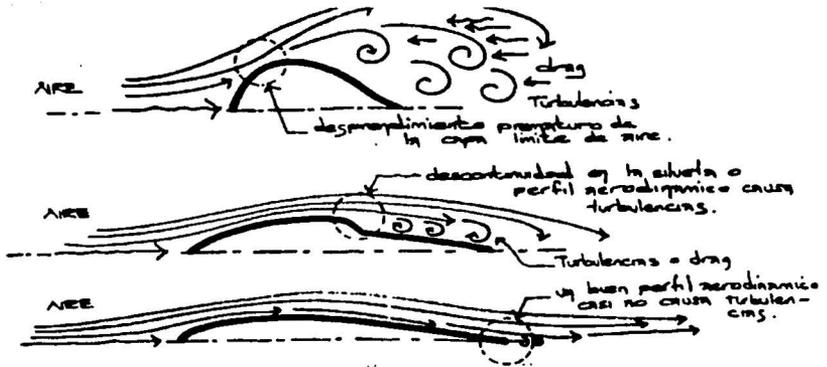
2. Arrastre. Es el vacío que se genera en la parte posterior de un vehículo al desplazarse, originado por el desprendimiento de la capa límite de aire (producto de una silueta con mala aerodinámica). Este vacío succiona el móvil en dirección contraria a su trayectoria impidiendo un libre desplazamiento. Por esta razón, es indispensable cuidar la forma posterior de la carrocería que se pretende diseñar. La manera en que éste se cuantifica para las diferentes formas, es por medio del coeficiente de arrastre.

FIGURA 2-3 ARRASTRE



3. Capa límite. Es la película de aire que se desliza sobre la superficie de un cuerpo en movimiento. Cuando tenemos una discontinuidad en la silueta de la carrocería de un auto, se presentará un desprendimiento prematuro de dicha película, dando lugar a la aparición del arrastre. Cuando logramos que la silueta aerodinámica de un vehículo tenga un perfil continuo y adecuado, disminuimos la probabilidad de un desprendimiento de la película de aire sobre el cuerpo aminorando el de arrastre.

FIGURA 2-4 CAPA LIMITE



## FUNDAMENTOS BÁSICOS DE ERGONOMÍA

Ergonomía es la disciplina que estudia la relación del hombre con los objetos que utiliza y que le rodean. En los vehículos, mediante la aplicación de la ergonomía, podemos desarrollar un espacio confortable, adecuado y seguro para el conductor.

Los factores ergonómicos que deben aplicarse al diseñar un vehículo solar, en donde el objetivo principal es ser, ligero y eficiente, son un estudio antropométrico y biomecánico del humano para crear una cabina lo más pequeña y confortable posible, con el fin de optimizar los materiales de construcción.

**1. Movilidad del piloto.** Es necesario, mediante un estudio antropométrico, establecer las dimensiones de los usuarios que utilizarán el auto para poder definir los espacios y las distancias en donde deben colocarse los controles e instrumentos.

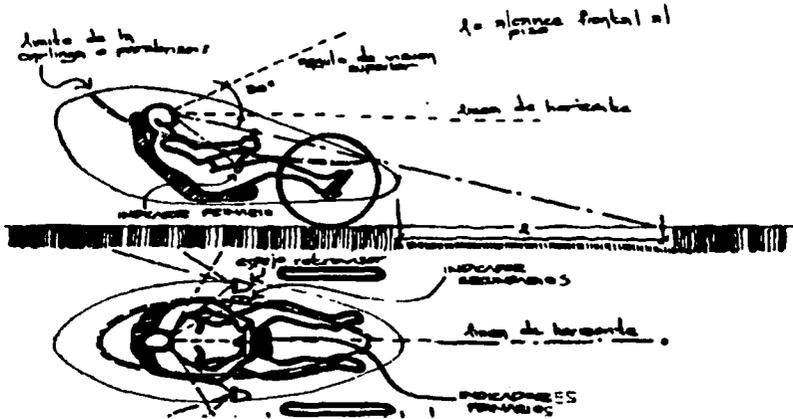
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lo anterior, con el fin de que los movimientos del cuerpo se desarrollen con la mayor naturalidad posible para lograr el mejor desempeño del piloto dentro de la cabina.

A través del estudio biomecánico se deben analizar los movimientos de las extremidades inferiores y superiores para establecer en cuál de éstas existe un mayor aprovechamiento muscular y evitar así, que el piloto tenga fatigas musculares innecesarias.

**2. Visibilidad.** Es uno de los puntos más importantes relacionados con la seguridad del piloto y resulta imprescindible realizar un análisis con los siguientes puntos:

FIGURA 2-5 VISIBILIDAD



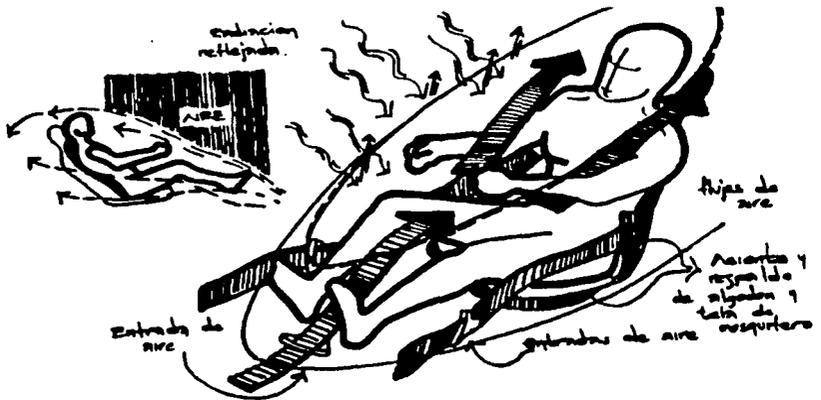
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

a) Alcance visual frontal y periférico. Se debe contemplar el límite de los movimientos de la cabeza y de los ojos para diseñar un parabrisas adecuado, también es necesario considerar una correcta ubicación de *espejos de retrovisión* para poder abarcar el mayor rango de visión posible.

b) Alcance visual para indicadores e instrumentos de control. La posición de los instrumentos será rígida por su nivel de importancia, además de que, los indicadores no deben ser motivo de distracción para el conductor en el momento en que éste los utilice.

3. **Temperatura dentro de la cabina.** En el caso de que se construya un vehículo con carrocería cerrada, se debe contemplar que las temperaturas aumentan considerablemente dentro de la misma. Por este motivo, debemos crear corrientes de aire en el interior, las cuales se logran por medio de entradas o aperturas en la parte frontal y en la parte posterior de la carrocería. Así se produce un flujo de aire fresco y se evita la acumulación de aire en el interior.

FIGURA 2-6 FLUJO DE AIRE EN LA CABINA



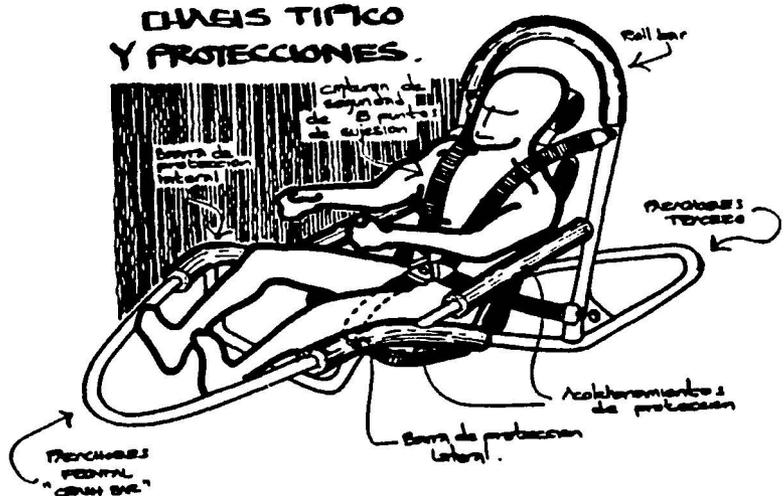
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4. Seguridad del piloto. El diseñar un auto de competencias requiere de cuidar rigurosamente este aspecto, ya que en caso de accidente, el conductor debe de encontrarse en las condiciones más seguras para evitar ser lesionado por partes internas del mismo auto, como controles o barras de protección.

Cuando se diseña el interior de una cabina, ya sea de estructura tubular o monocasco, se debe dejar un espacio mínimo de 5 cm, entre el cuerpo del piloto y las barras de protección.

Otro punto importante es el cinturón de seguridad de un mínimo de tres puntos de sujeción, el cual debe estar perfectamente sujeto al chasis.

FIGURA 2-7 PROTECCION PARA EL PILOTO



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## RELACIÓN DE LA AERODINÁMICA CON LA ERGONOMÍA

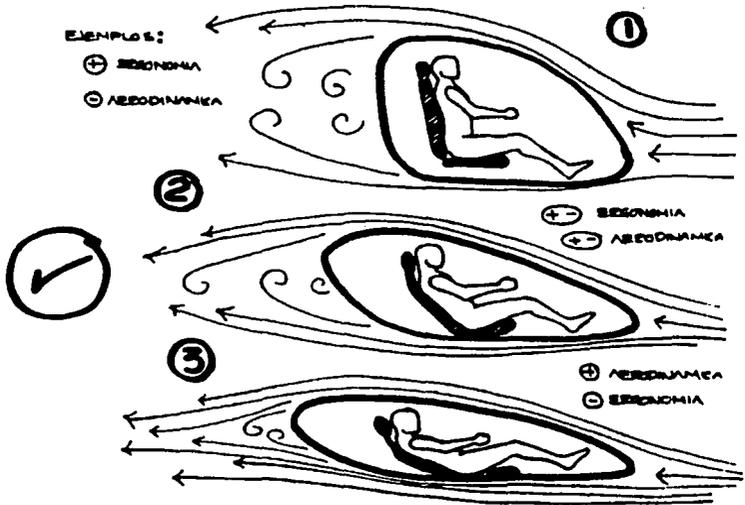
Este auto deberá ser muy eficiente, es decir, tener un mínimo de pérdidas, por lo cual se debe realizar un estudio aerodinámico minucioso para encontrar la forma de la carrocería que minimice las pérdidas por arrastre sin descuidar su aspecto ergonómico.

Desafortunadamente, estas disciplinas se rigen por principios opuestos: "la forma más aerodinámica de un automóvil solar es inversamente proporcional al diseño más ergonómico de la cabina del mismo".

Esto significa que las posturas que puede adoptar el conductor dentro de una cabina diseñada bajo un parámetro totalmente aerodinámico, resultan ser inadecuadas para que un humano se desenvuelva confortablemente en él. Ahora bien, si la cabina estuviera diseñada bajo un concepto netamente ergonómico, la silueta aerodinámica del vehículo sería tan inadecuada que provocaría un esfuerzo mayor del motor provocando un gasto innecesario de energía.

A pesar de lo anterior, es posible encontrar un equilibrio entre dichos factores, de tal manera que se lleve a cabo un óptimo diseño del vehículo.

FIGURA 2-8 RELACION ERGONOMIA-AERODINAMICA



Primer caso:

La posición del individuo es la más ergonómica ya que alinea su espalda con el eje del cuello. Mantiene la cabeza erguida proporcionando una buena visibilidad, el nivel de sus piernas se encuentra por debajo de la cadera, lo cual proporciona una buena circulación a las extremidades inferiores y se presenta un amplio espacio para la movilidad del piloto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por el contrario, en su factor aerodinámico, tenemos que: se presenta una gran área frontal que nos causa resistencia al desplazamiento del aire y se crea un desprendimiento prematuro de la capa límite generando un alto coeficiente de arrastre.

#### Segundo caso:

Aquí, la posición del individuo se ve modificada de tal manera que no se afectan en demasía los factores analizados en el caso anterior, por ejemplo: Se crea un ligero ángulo entre el eje del cuello y la espalda que aún permite una buena movilidad de la cabeza, el nivel de las rodillas sobrepasa el de la cadera, pero los pies se mantienen por debajo sin afectar considerablemente la circulación.

En cuanto a la silueta aerodinámica, se presenta una optimización considerable, por la reducción área frontal, se mejora el flujo de viento y se disminuye el coeficiente de arrastre (drag).

#### Tercer caso:

La silueta aerodinámica que se presenta es muy satisfactoria, ya que no causa el desprendimiento prematuro de la capa límite y, como presenta poca área frontal, la resistencia del aire es mínima.

Sin embargo, en el factor ergonómico la recta del cuello con respecto a la espalda genera un ángulo tal, que la movilidad y comodidad se ven muy

afectadas. También las piernas se ubican por encima de la cadera, lo cual dificulta el proceso de circulación provocando un cansancio prematuro del piloto.

En el caso de los autos solares es recomendable inclinar la balanza hacia el factor aerodinámico, ya que dadas las condiciones que se permiten dentro de una competencia, permite sacrificar hasta cierto punto, el factor ergonómico. Sin embargo, es importante contemplar la buena visibilidad, movilidad y seguridad del piloto para evitar poner en riesgo a participantes y espectadores durante los eventos.

## **LA CARROCERÍA Y SUS MATERIALES**

La carrocería de un vehículo se define como la cubierta del chasis que proporciona características de aerodinámica y estética. En algunos casos, ésta puede ser parte estructural del vehículo, como los autos conformados por un monocasco fabricado con materiales compuestos siendo este el caso.

Para llevar a cabo la construcción de una carrocería es importante tomar en cuenta la ligereza de los materiales a utilizar, así como los acabados finales. Es recomendable que las formas de la carrocería sean suaves, de tal manera que cumplan con los patrones aerodinámicos antes mencionados. También es importante que todas las terminaciones perimetrales o uniones se refuercen para evitar flexiones o roturas de la pieza.

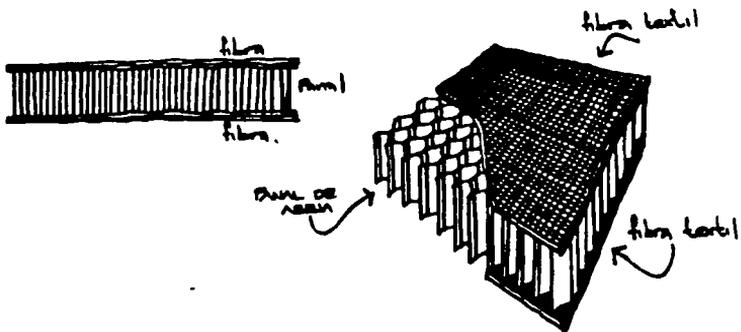
**Materiales.** Existen diversos tipos de materiales que se pueden utilizar en la fabricación de una carrocería. Los principales son: fibras textiles (naturales y artificiales), materiales compuestos, plásticos laminados y plásticos espumados.

a) **Fibras Textiles.** Difícilmente podría explicar cada una de las fibras posibles a utilizar, sin embargo mencionare las más recomendables: fibras artificiales como la fibra de vidrio, fibra de carbono y fibra de keviar, y las fibras naturales como el ramio, yute y coco. También se pueden dar soluciones de carrocería con tela tensada, lo cual aminora los costos y puede ayudar considerablemente a la aerodinámica.

b) **Materiales compuestos.** Son aquellos cuya estructura se logra por medio del empalme ordenado de fibras textiles y materiales porosos unidos a través de algún adhesivo o resina.

c) **Plásticos laminados.** Aquí nos referimos principalmente a los que sirven para la fabricación de parabrisas:

FIGURA 2-9 EJEMPLO DE MATERIAL COMPUESTO ("KEVLAR").



TESTIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Policarbonato.** Es un material muy resistente, por lo tanto es recomendable para altos impactos, además de que tiene la propiedad de proteger al piloto contra los rayos ultravioleta. Desafortunadamente, su manejo requiere el uso de tecnología de alto nivel que aumento los costos, y además, cuando se raya resulta difícil de pulir.

**Acrílico.** No es recomendable para generar piezas grandes, ya que su resistencia al impacto es insuficiente, sin embargo, su termoformado es fácil y menos costoso de realizar, además de que el proceso de pulido resulta más sencillo.

**Mylar reflejante.** Es una película que se adhiere al parabrisas que tiene la propiedad de reflejar la radiación solar impidiendo el sobrecalentamiento en el interior de la cabina.

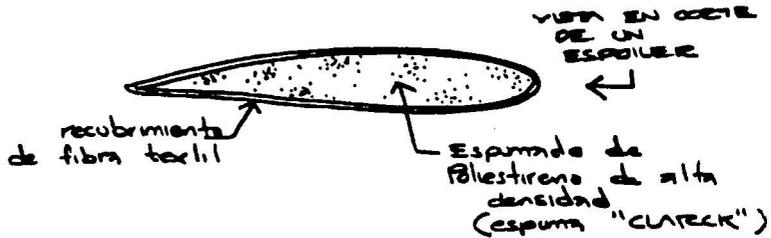
d) **Plásticos espumados.** Se utilizan en piezas que deben llevar un relleno estructural (piezas resistentes y ligeras), además de ser útiles para la fabricación de modelos preliminares debido a su gran moldeabilidad, Estos se dividen en :

**Espumas de poliuterano.** Los espumados sólidos son ideales para rellenos y talla de modelos. Los espumados esponjosos son ideales para acojinamientos que tiene contacto continuo con el conductor.

**Espumas de poliestireno.** Los sólidos, en especial los de alta densidad (poro muy cerrado), son buenos para el relleno de aletas, faldones (spoilers), alerones o toda clase de piezas que se recubran de alguna fibra textil con resina. Los

esponjosos sirven para el acolchonamiento de tubos o barras parachoques, sobre todo porque una de sus presentaciones más comunes es la tubular.

FIGURA 2-10 ESPOILER CON RELLENO DE PLASTICO ESPUMADO



## CHASIS

Se define como chasis a la estructura del vehículo donde se montan todos los componentes del sistema mecánico y eléctrico, además de la cabina y la carrocería.

1. Tipos de chasis. El chasis puede construirse con materiales compuestos en forma de monocasco, o bien, con perfiles tubulares. Estos dos presentan diferentes características:

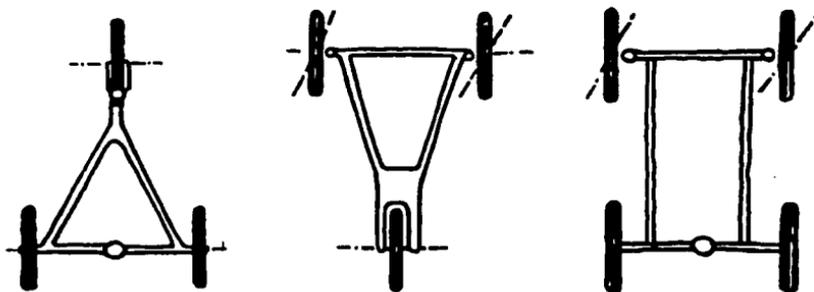
a) Monocasco. Tiene la ventaja de ser, además de un chasis, una parte de la carrocería que hace más sencillo el vehículo; además de contar con las buenas características de rigidez y ligereza que nos proporcionan los materiales compuestos.

En la mayoría de los casos, para realizar este tipo de chasis se requiere de la fabricación preliminar de un modelo (esc 1:1) y de sus respectivos moldes.

c) Tubular. Este tipo de chasis nos ofrece bastante rigidez y ligereza, dependiendo del material con que se encuentre fabricado, como por ejemplo de duraluminio o de acero al cromo molibdeno. Su fabricación es sencilla y además se pueden hacer cambios fácilmente a raíz de pruebas preliminares. Sin embargo, se presenta la desventaja de tener que adaptar una carrocería con fines aerodinámicos que nos representa un aumento de peso.

2. Configuraciones. La forma que pueda adquirir la estructura de un chasis tubular o de materiales compuestos se deriva directamente de la configuración seleccionada. Estas configuraciones son básicamente el punto de partida para el diseño del vehículo.

FIGURA 2-11 TIPOS DE CONFIGURACIÓN



TESTIS CON  
FALLA DE ORIGEN

a) **Triciclo en forma de flecha.** Nos permite tener una mayor sencillez en los sistemas de dirección y suspensión, ya que se cuenta con tan solo una rueda directriz. Desafortunadamente, al tener dos ruedas de tracción, el sistema de transmisión se complica, además de que es la configuración que peor estabilidad presenta.

b) **Triciclo de flecha inversa.** En comparación con el caso anterior, esta configuración ofrece mucho mejor estabilidad manteniendo la ventaja de un triciclo sobre los vehículos de cuatro ruedas. Al contar con una sola rueda trasera se simplifica el sistema de transmisión; sin embargo, para desarrollar el sistema de dirección y suspensión es necesario introducir conceptos como : ángulos de divergencia, camber, caster y geometría de suspensión, los cuales son factores importantes para el desempeño eficiente del vehículo.

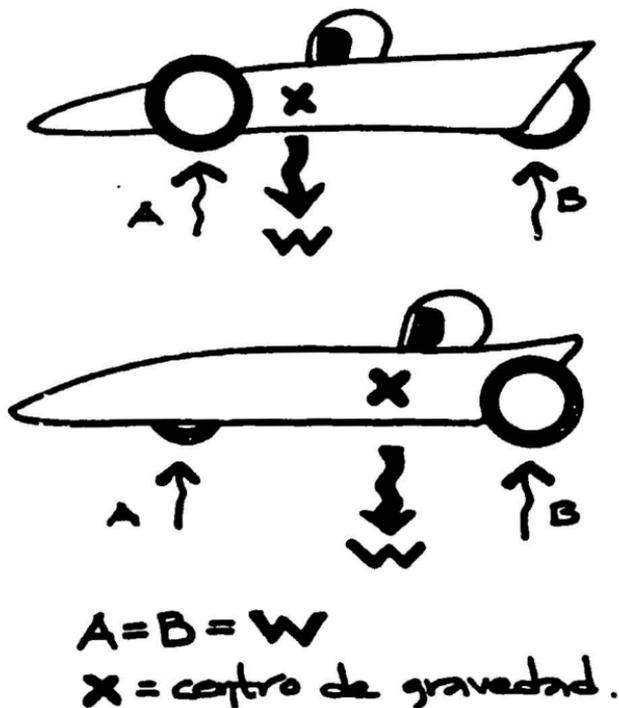
**Nota:** Una gran ventaja que nos otorgan las configuraciones de triciclo es la reducción de la resistencia al rodamiento en comparación a un chasis de cuatro ruedas.

c) **Cuatro ruedas.** Es la configuración que mayores características de estabilidad ofrece, sin embargo, su grado de complejidad en los sistemas mecánicos aumenta (diferencial) y su resistencia al rodamiento es mayor al contar con una rueda más.

4. **Centro de gravedad.** El centro de masa o centro de gravedad es el punto exacto de balance entre los ejes del auto y puede estar situado hacia delante o hacia atrás dependiendo de donde se concentre el mayor peso. Localizar

adecuadamente este punto es factor crítico para una buena maniobrabilidad y estabilidad del vehículo.

FIGURA 2-12 CENTRO DE GRAVEDAD



Este centro de masa debe estar situado de tal forma que cada una de las ruedas del auto, soporten el mismo peso, esto significa que el peso total del vehículo debe estar distribuido por partes iguales en cada llanta. Para determinar el peso total del vehículo no solo se debe contemplar el del piloto, sino el de todos

los componentes como baterías, motor controlador, etc. Es importante que el centro de gravedad se encuentre al nivel de los ejes de las llantas o por debajo para obtener una óptima estabilidad.

4. Materiales. Como ya mencionamos, existen dos maneras de construir un chasis: monocasco, con materiales compuestos y tubular, con perfiles metálicos. Estos perfiles pueden ser de distintos materiales, sin embargo, es recomendable que el aspecto de ligereza y resistencia se mantenga presente.

a) Aluminio. Existen diversos tipos de aluminios. El aluminio convencional no es muy recomendable para una estructura, ya que su bajo coeficiente de resistencia a la flexión lo hace inseguro, aunque este problema se puede solucionar utilizando tubos con pared gruesa (tubos de cédula)

Las aleaciones de aluminio realizadas para uso aeronáutico, mejor conocidas como duraluminios, resultan ser adecuadas para la fabricación de chasis, ya que cuentan con un buen factor de ligereza y resistencia a la flexión. Existen muchos tipos de aleaciones y entre las más comerciales encontramos la 6061T6 y la 204T4.

b) Acero al cromo molibdeno. Aunque su costo es elevado, esta aleación de acero es una de las más empleadas en todo tipo de máquinas en donde dureza, resistencia y ligereza son requisito indispensable. Este metal, de color gris oscuro, presenta gran resistencia a la flexión, torsión, esfuerzo cortante y fatiga.

Acero al carbón. Este tipo de acero resulta ser un material muy noble, ya que tiene buenas características mecánicas, es fácil de soldar y tiene un precio accesible.

Sin embargo, hay que ser muy cauteloso con él, ya que por miedo a

## CAPITULO III

### **SISTEMA MECÁNICO.**

En este sistema se conjuntan las partes móviles que integran los diferentes sistemas que proporcionan movilidad a un vehículo. Estos sistemas se dividen en transmisión, suspensión, dirección y frenos.

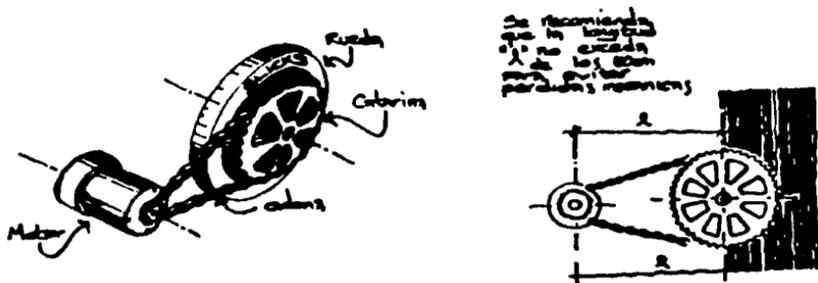
#### TRANSMISIÓN

Este sistema se compone por aquellas partes que transmiten el movimiento del motor al tren motriz. Utilizar un motor eléctrico es un proceso sencillo, la dificultad comienza cuando haya que transmitir el movimiento a las ruedas de la manera más eficiente para el aprovechamiento de la limitada energía con la que se cuenta. Existen múltiples formas de llevar a cabo el sistema de transmisión, pero para el caso de un vehículo solar, se mencionarán sólo las más usuales.

1. Sistema de piñón, cadena y catarina. Este sistema puede llegar a ser un mecanismo muy eficiente, siempre y cuando exista un perfecto ajuste de la tensión de la cadena y una alineación adecuada del piñón con la catarina.

Los diámetros de catarina y piñón serán determinados por las especificaciones del motor y por el tipo de terreno donde se utilizará. La buena determinación de estos diámetros es factor fundamental para el buen desempeño y eficiencia del motor, ya que de lo contrario, habrá pérdida innecesaria de energía.

FIGURA 3-1 SISTEMA PIÑON CADENA Y CATARINA



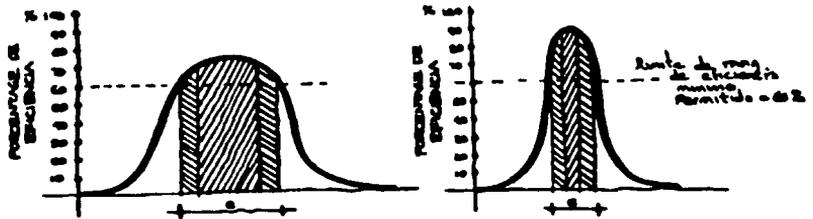
2. Sistema de banda dentada y poleas. Este sistema no es tan eficiente como el de cadena, sin embargo, presenta ciertas ventajas sobre el anterior. La primera es que el ajuste de una banda dentada siempre será a la mayor tensión haciendo que su instalación sea mucho más sencilla que la de cadena.

Otra ventaja es la reducción de peso en los componentes, ya que el desgaste que genera el hule es menor que el de una cadena metálica, por esta razón, las poleas pueden ser fabricadas en aluminio o nylon. Además el sobrecalentamiento por fricción del sistema se ve disminuido considerablemente.

Esta gráfica representa la comparación de los dos sistemas mencionados. En ella ejemplificamos la curva de eficiencia y el rango de error que permite cada uno.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3-2 COMPARACION ENTRE EL SISTEMA DE BANDA DENTADA-POLEAS Y EL DE PINÓN-CADENA-CATARINA



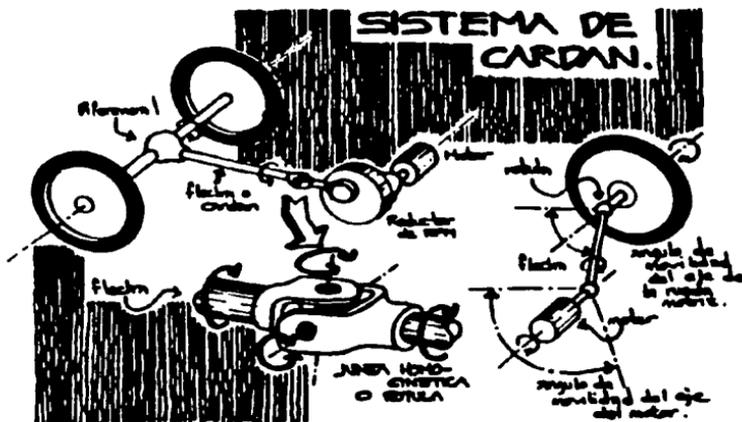
3. Sistema de flecha o cardán. Este sistema, al igual que el de cadena, presenta un alto índice de eficiencia al transmitir el movimiento, además cuenta con la ventaja de poder colocarse en muy diversos sitios del auto, incluyendo fuera de la suspensión de la llanta de tracción, a diferencia de los sistemas anteriores. Esto significa que una flecha o cardán puede transmitir el movimiento sin importar la alineación entre el eje de la rueda y el del motor.

Cuando se tiene un tren motriz de llantas separadas, el sistema de flecha debe funcionar acompañado de una caja de satélites (diferencial) para evitar el arrastre de las mismas al momento de virar el vehículo.

Nota: es importante recordar que, entre menor sea el número de piezas en el sistema de transmisión, las pérdidas por fricción y calor serán menores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3-3 SISTEMA DE FLECHA O  
CARDAN



## SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión es aquel que nos evita que las vibraciones producidas por el camino se transmitan íntegramente al vehículo; además, ayuda a mejorar en gran medida la estabilidad haciéndolo más seguro en vueltas o virajes a altas velocidades. Para crear una buena suspensión es necesario conocer los siguiente términos.

### 1. Elasticidad y capacidad de amortiguación.

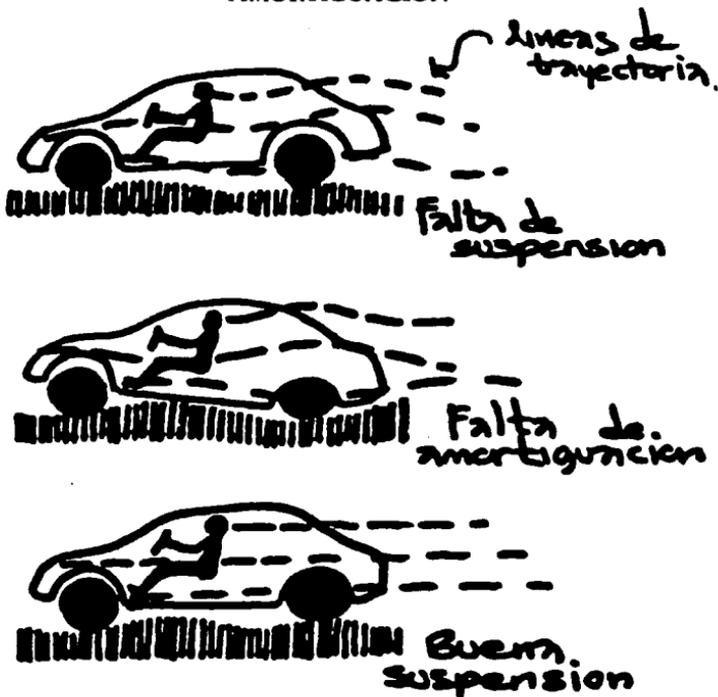
La elasticidad evita que las desigualdades del pavimento se transmitan como impactos a los ocupantes del vehículo. Esto se logra a través del uso de muelles, que son elementos que guardan energía cuando se deforman utilizando la misma para regresar a su posición original.

TESTS CON  
FALLA DE ORIGEN

La amortiguación es la capacidad para absorber parte de la energía de una muelle deformada, ya que, si dicha energía no fuera absorbida, la muelle continuaría oscilando produciendo que el vehículo no dejara de rebotar.

Los amortiguadores transforman la energía mecánica de la muelle en calor por medio de fricción. La unión de muelles con instrumentos de amortiguación generan una suspensión que disminuye la vibración y el ruido, haciendo la marcha del vehículo más confortable.

FIGURA 3-4 SUSPENSION-AMORTIGUACION

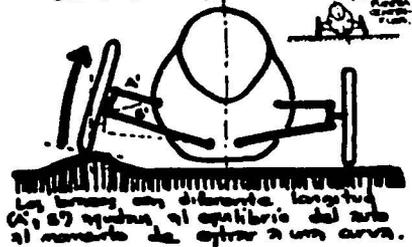
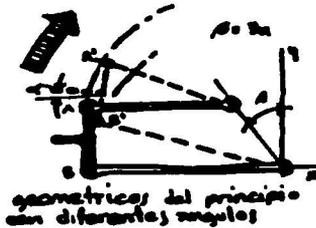
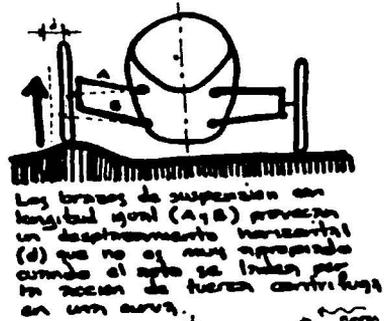
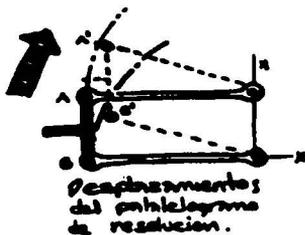


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. Geometría. Para poder diseñar una buena suspensión es necesario analizar el comportamiento del vehículo cuando se desplaza. Por ejemplo, un auto se encuentra con curvas, baches, desniveles y una gran cantidad de factores que crean anomalías en su trayectoria, provocando inseguridad para el conductor.

El principio de barras paralelas nos ayuda a absorber tales anomalías, por lo cual, es necesario aplicarlo al diseñar un sistema de suspensión para poder controlar los desplazamientos verticales que se generan en las llantas.

FIGURA 3-5 PRINCIPIO DE BARRAS PARALELAS



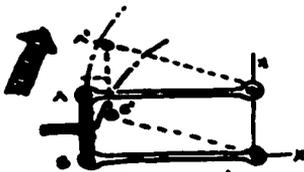
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## SISTEMA DE DIRECCIÓN

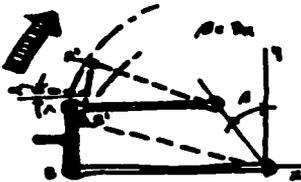
La dirección es el sistema que permite al conductor tener el control de maniobrabilidad del vehículo y para diseñarla correctamente es importante conocer los conceptos que forman su geometría.

1. Principio Ackerman. Este principio nos indica que de la prolongación del eje de las ruedas tiene que nacer un centro común al radio de giro. Significa que cuando las llantas del vehículo giran para producir una vuelta, no lo hacen de manera paralela sino que describen ángulos desiguales de acuerdo a su radio de giro. Si el giro fuera paralelo, la llanta exterior rozaría con el pavimento provocando severas pérdidas por fricción; sin embargo, por medio de una barra de acoplamiento se logra evitar dicho problema.

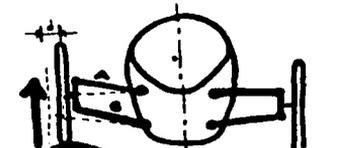
FIGURA 3-6 PRINCIPIO ACKERMAN



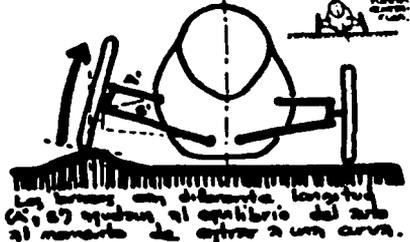
Desplazamiento; del paralelogramo de resolución.



geometría del principio con diferentes ángulos



Los brazos de suspensión con longitud igual (A y B) provocan un desplazamiento horizontal (d) que no es muy apropiado cuando el auto se inclina por la acción de fuerza centrífuga en una curva.

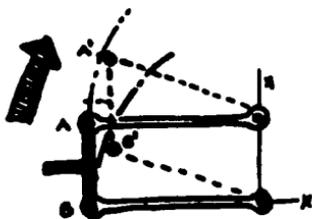


Los brazos con diferente longitud (A y B) ayudan al equilibrio del auto al momento de entrar a una curva.

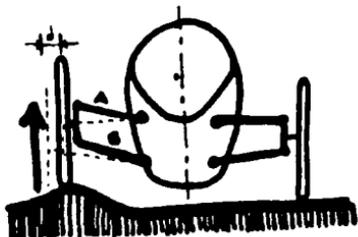
TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

La barra de acoplamiento (L2) debe tener una longitud menor a la barra soporte (L1) en cuyos extremos se encuentran los centros de giro de los pernos maestros de las ruedas. Esta longitud se determina trazando una línea imaginaria del centro del eje trasero hacia los centros de los pernos maestros; dichas líneas generan un ángulo con respecto al eje longitudinal del auto que es equivalente al ángulo  $(\delta)$ . Este ángulo  $(\delta)$  nos muestra la posición con la que deben colocarse los brazos Ackerman de la dirección determinando así, la longitud de la barra de acoplamiento.

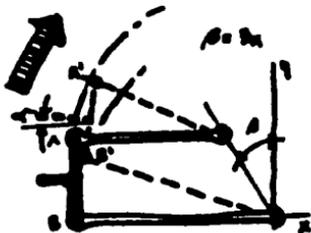
FIGURA 3-7 PRINCIPIO ACKERMAN (2)



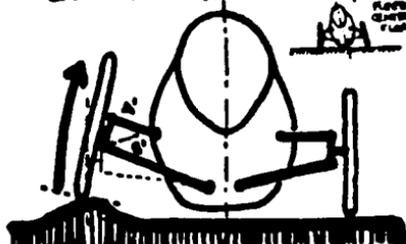
Desplazamientos  
del paralelogramo  
de resolución.



Los brazos de suspensión con  
longitud igual (A y B) provocan  
un desplazamiento horizontal  
(d) que no es muy apropiado  
cuando el auto se inclina por  
la acción de fuerzas centrífugas  
en una curva.



geometrias del principio  
con diferentes ángulos

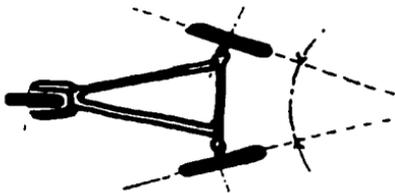


Los brazos con diferente longitud  
(A y B) ayudan al equilibrio del auto  
al momento de entrar a una curva.

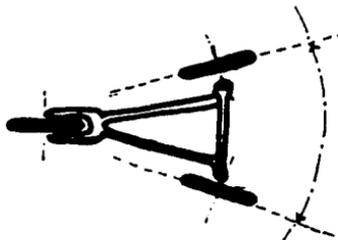
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

2. **Convergencia y divergencia.** Las llantas de un vehículo que lleva una trayectoria recta lucen aparentemente paralelas, sin embargo, presentan ligeros ángulos de convergencia y divergencia causados por una fuerza que se opone al avance del vehículo.

FIGURA 3-8 CONVERGENCIA-DIVERGENCIA



Ángulo de convergencia



Ángulo de divergencia

Estos ángulos sirven para mantener el paralelismo de las ruedas cuando el auto va en marcha y no deben ser mayores a lo 4°. El ángulo de convergencia (Toe in) sirve para los autos que utilizan tracción trasera y el de divergencia (Toe out) se utiliza para los que llevan tracción delantera. ES necesario mencionar que en un auto solar es indispensable mantener dicho paralelismo para evitar al máximo las pérdidas por arrastre.

Nota: El Toe out se puede utilizar para mejorar el funcionamiento de la dirección Ackerman, cuando se presenta un caso en donde la geometría de la dirección es deficiente.

5. **Ángulos de caída (Camber).** Si alguna vez se ha observado un automóvil desde el frente, seguramente se habrá notado una ligera inclinación de

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

las ruedas hacia adentro o hacia fuera. Esta inclinación forma un ángulo con respecto al piso que puede ser positivo, negativo o de cero grado.

a) **Camber positivo.** Es cuando las ruedas, en su parte inferior, se encuentra más cerca que en su parte superior. Esta conformación permite un fácil manejo del auto y evita un desgaste en las piezas que integran el mecanismo de la dirección.

FIGURA 3-9 CAMBER POSITIVO



b) **Camber negativo.** Es cuando las ruedas, en su parte superior, se encuentran más cerca que en su parte inferior. Esta conformación proporciona mayor estabilidad en las vueltas, pero endurece el mecanismo de la dirección.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3-10 CAMBER NEGATIVO



c) Camber cero. Es cuando las ruedas se encuentran perpendiculares con respecto al piso. Esta conformación dificulta el manejo del auto y envía mucha carga a los pivotes (pernos maestros) de la dirección.

FIGURA 3-11 CAMBER CERO

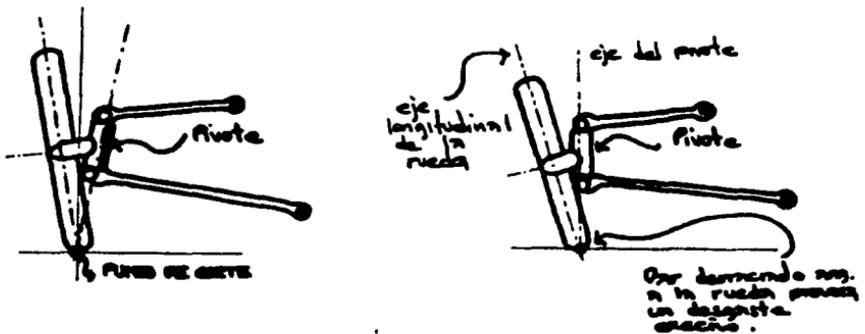


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4. **Ángulos de salida de la rueda.** Es la inclinación del pivote de la dirección con respecto a la vertical. La prolongación del eje del pivote, por medio de una línea imaginaria, debe cortar con el eje longitudinal de la rueda en el piso, lo cual se logra inclinando la rueda, el pivote o ambos.

Una ligera desviación entre el centro de la huella del neumático (eje longitudinal) y el punto de corte de la línea imaginaria del eje del pivote dificulta el manejo y provoca un desgaste anormal en los neumáticos. El ángulo de salida de la rueda, con respecto a la vertical, no debe pasar del 5° cuando el vehículo se encuentra totalmente cargado.

FIGURA 3-12 ANGULO DE SALIDA DE LA RUEDA



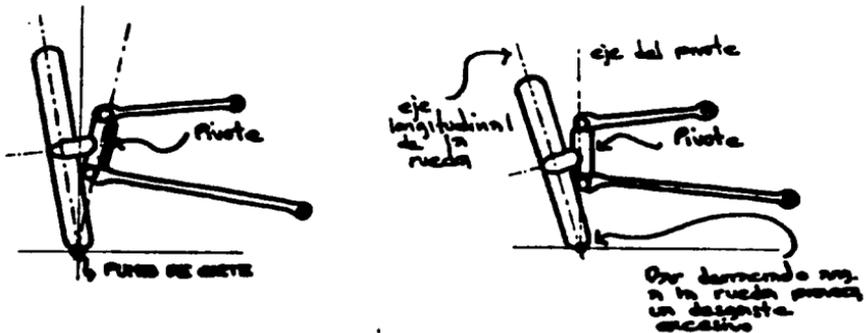
5. **Ángulo de avance del eje del pivote:** Los automóviles deben tender a desplazarse en línea recta al terminar un viraje. Esta tendencia que asegura la estabilidad del coche al circular y que permite que el volante vuelva a la posición de línea recta después de terminar una vuelta, se debe en gran medida al ángulo de avance del pivote o Caster.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Este ángulo se determina rotando el eje del pivote, de tal manera que el eje vertical de la rueda, quede por detrás del punto de corte de la prolongación del eje del pivote sobre el piso. Un ejemplo en donde se aplica este ángulo se observa en las "rueditas de carrito de supermercado", las cuales, al rodar por detrás del eje del pivote, siguen la dirección en la cual son empujados, de modo que siempre se desplazan en línea recta, a no ser que se modifique intencionalmente su trayectoria.

El ángulo de avance del pivote no debe exceder los 6° de inclinación, porque de llegar a hacerlo, podrían presentarse oscilaciones violentas en las ruedas directrices provocando inestabilidad en el vehículo.

FIGURA 3-13 ANGULO DE AVANCE DEL EJE DEL PIVOTE



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

6. Desmultiplicación de la dirección. Se le llama desmultiplicación a la relación que existe entre los ángulos de rotación del volante con respecto al de las ruedas.

Por ejemplo, si un giro completo del volante hace oscilar las ruedas  $30^\circ$ , se dice que desmultiplicación es de 12:1

Es decir: 1 giro completo =  $360^\circ$

oscilación de =  $30^\circ$

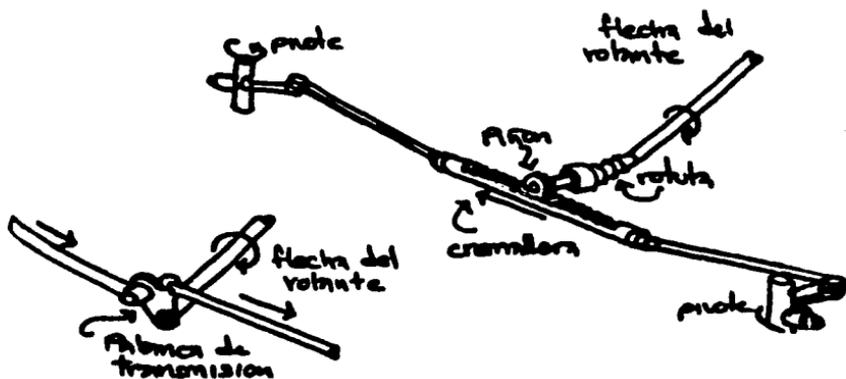
Relación =  $360^\circ/30^\circ = 12$  por lo tanto = 12:1

Para un auto solar, es recomendable una relación de 15:1, es decir, es necesario girar el volante dos veces y media ( $2\frac{1}{2}$ ) para completar una oscilación de  $60^\circ$  entre los topes de la dirección, Si un vehículo no contar con esta desmultiplicación, la relación sería de 1:1 haciendo difícil el control de la dirección y causando imprecisión en los movimientos.

Se debe contar con topes que limiten el movimiento de giro u oscilación de las ruedas para que éstas no rocen o golpeen con la carrocería cuando gira al máximo el sistema. Estos topes pueden situarse indistintamente en el pivote de la rueda o en el mecanismo de dirección.

Existen distintas maneras de realizar esta desmultiplicación y entre los sistemas más sencillos contamos con la relación de poleas, de palancas o de piñón y cremallera.

FIGURA 3-14 RELACION DE POLEAS, PALANCAS Y PIÑÓN-CREBALLERA



## FRENOS

Un buen sistema de frenos es indispensable en todo auto. Estos nos proporcionan confiabilidad y seguridad en el manejo, requisitos indispensables para todo vehículo de competencia.

1. Hidráulicos. Las pruebas que se han realizado en competencias han demostrado que los frenos hidráulicos al estilo GO-Kart (mordaza y disco) son los

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

que mejores resultados han proporcionado. Estos se recomiendan para autos con un peso superior a los 150kg o que sobrepasen una velocidad de 60km/hr.

Lo anterior se debe a que este sistema tiene una alta velocidad de reacción al frenado y pueden aplicar una mayor presión al sistema mejorando los resultados. Es importante mencionar que , para que un sistema hidráulico funcione adecuadamente, el ajuste debe ser muy preciso.

2. Mecánicos. Otro tipo de frenos recomendables para autos con un peso menor de 180 kg. (con piloto) es el sistema compuesto por fleje y tambor. Este no cuenta con una reacción tan veloz como con el anterior, sin embargo, sigue siendo una buena opción para un auto pequeño, además de ser más fácil de ajustar.

3. Recomendaciones. Es importante asegura que ningún componente del sistema de frenos roce con las partes móviles de las llantas (discos o tambores) y que las mordazas se calibren por igual para evitar que el auto frene en forma dispareja.

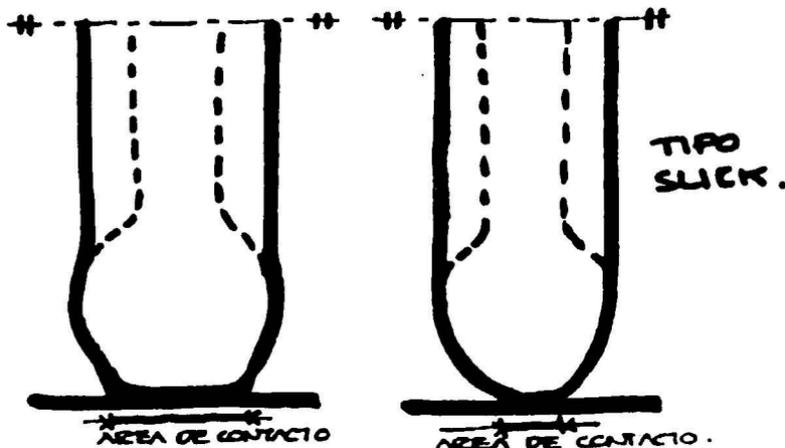
## LLANTAS Y RINES

### LLANTAS.

Otro de los factores importantes para el ahorro de energía son los neumáticos, se ha observado que las llantas con menor superficie de contacto y de cara lisa son las que mejores características proporcionan. También el inflado de las llantas

tiene que ser a la mayor presión posible, sin descuidar las características de resistencia del neumático que se escoja.

FIGURA 3-15 AREA DE CONTACTO SEGÚN EL TIPO DE LLANTA



Para poder lograr una presión arriba de las 100PSI (libras por pulgada cuadrada) se necesita tener llantas que cuenten con un tejido interno especial (kevlar o acero).

Una de las marcas que nos puede servir para este fin es la "AVOCET" del tipo Slicks. Este tipo de neumático entrega un buen coeficiente de flexibilidad y agarren en el frenado con una presión de 100-120 libras.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **RINES.**

Es necesario recordar que la ligereza del auto es indispensable, por tal razón, los rines que se escojan o se diseñen tienen que cumplir con características de elevada resistencia axial y bajo peso.

Aunque existe gran variedad de configuraciones para rines, con respecto a los ligeros (para vehículos con diseños eficientes) podremos enunciar los siguientes:

- a) Aro, rayos y masas
- b) Tapones y aro de materiales compuestos
- c) Plato macizo de metal
- d) Aro, hilos de fibras y masas

En realidad cualquiera de estas configuraciones puede realizar una buena función dependiendo de las condiciones de la competencia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO IV

### **EL SISTEMA ELÉCTRICO PRIMARIO**

El sistema eléctrico primario de un vehículo solar de competencias, está compuesto de 5 elementos, que se agrupan en tres subsistemas:

- a) El subsistema propulsor, compuesto por el motor y el controlador.
- b) El subsistema de almacenamiento, o banco de baterías.
- c) El subsistema de suministro, compuesto por el panel solar y los rastreadores de potencia pico.

Existe un elemento más que tiene una gran importancia dentro del sistema eléctrico y es el arnés de interconexión. Éste se analiza al final del capítulo.

#### **EL SUBSISTEMA PROPULSOR.**

##### **EL MOTOR ELÉCTRICO.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

El motor eléctrico, es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Existe una gran variedad de tipos, tamaños y formas de motores eléctricos, pero todos se componen únicamente de dos partes básicas; una móvil, o rotor, y una fija, o estator.

Fue Michael Faraday quien, en 1821, consiguió por primera vez fuerzas rotacionales utilizando las propiedades del magnetismo y la electricidad. Este descubrimiento condujo finalmente a la construcción del primer motor eléctrico.

La selección de un motor eléctrico depende totalmente de las necesidades específicas de la aplicación. Dependiendo de cuál sea la característica más importante, se determina qué tipo de motor puede ser adecuado. Gracias a la versatilidad del motor eléctrico, se puede encontrar un tipo de motor para cada aplicación, así que el primer paso en la selección de un motor es definir las características requeridas. Mientras que para un automóvil eléctrico, con miras comerciales, el costo puede ser el parámetro más importante, para los vehículos solares se necesita contar con una alta eficiencia en un ancho rango de operación y una muy buena relación potencia/peso y potencia/volumen.

Tomando en cuenta los tipos de motores existentes en el mercado, se seguirá un proceso de eliminación de motores que no sean adecuados para la aplicación.

Los motores que comúnmente se conocen como motores de corriente alterna, son motores diseñados para operar a 60 Hz con energía obtenida de la planta generadora de luz. Estos motores son óptimos para operarse a una velocidad constante y son diseñados para la industria donde el tamaño estándar, el costo y el torque inicial a 60 Hz son los puntos principales en su diseño. Este tipo de motores, no es adecuado para la aplicación.

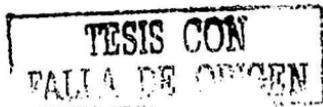
Los motores de corriente directa tienen, normalmente, escobillas, conmutadores, y un devanado girando. Todo esto se traduce en un decremento de la eficiencia, a un mayor costo de mantenimiento, y a limitaciones en la velocidad del rotor según el diseño de la armadura y el conmutador. Más adelante se analizará este tipo de motores.

Existen muchas ventajas de los MCDSE sobre los que tienen conmutación mecánica, que los hacen mejores para los vehículos solares:

- Más eficiencia.
- Mejor relación potencia/peso.
- Mejor disipación de calor.
- Mejor utilización del espacio por lo tanto más compactos.
- Hay menos caída de voltaje en los transistores que en las escobillas.
- No hay fricción por escobillas.
- No hay chisporroteo.
- Menor costo de mantenimiento.

Una ventaja importante es la posibilidad de adaptar un interruptor al devanado del estator, que permita cambiar la conexión del devanado de serie a paralelo.

Al conectarse en serie, la constante de par del motor se duplica y la velocidad máxima se reduce a la mitad. En paralelo, la constante de par se reduce a la mitad



y la velocidad máxima se duplica. Esto es útil pues funciona como una transmisión electrónica variable que permite aprovechar al máximo la energía que recibe el subsistema propulsor en las diversas condiciones del terreno. Durante la aceleración o durante las cuestas se puede conectar en serie y al alcanzar velocidad o estar en terreno nivelado se puede usar la conexión en paralelo.

Hasta ahora los MCDCE (Motor Corriente Directa Con Escobillas) han sido los motores que se han usado en los vehículos eléctricos, y esto se debe básicamente a su bajo costo y a la larga experiencia en su uso. Sin embargo conforme la tecnología ha ido avanzando nuevos adelantos en la electrónica han hecho atractivos otros tipos de motores como los motores de inducción de frecuencia variable y los motores de corriente directa sin escobillas.

Actualmente muchos de los autos eléctricos prototipo de las grandes constructoras de autos, Ford, General Motors, Toyota, VW y Nissan utilizan motores de inducción. Sin embargo para vehículos solares se han utilizado, motores de corriente directa sin escobillas (MCDSE), con objeto de eliminar el inversor requerido por los motores de inducción. Por otra parte un auto solar generalmente trabaja a velocidades constantes, y los MCDSE son más eficientes, que los motores de inducción, cuando trabajan en su punto óptimo de operación, alrededor de su potencia máxima (par bajo y velocidad angular elevada).

## **EL CONTROLADOR**

Todos los motores eléctricos de un tamaño regular, necesitan un control de corriente para arrancar. Este control evita que corrientes muy grandes circulen por los devanados del motor.

Mientras el motor acelera y vence poco a poco la inercia, comienza a aparecer la fuerza contraelectromotriz. Ésta se irá incrementando con la velocidad del rotor produciendo un balance en el voltaje y un autocontrol en la corriente.

Como el motor que se seleccionó, como la mejor opción para autos solares fue el motor de corriente directa sin escobillas de imán permanente, se explicará únicamente el funcionamiento del controlador respectivo

De esta manera el controlador convierte la corriente directa en corriente alterna, para producir el campo magnético giratorio en el estator, y convierte también la corriente alterna a directa cuando se utiliza el freno regenerativo, es decir cuando el motor funciona como generador, regresando la corriente generada a las baterías en la forma que éstas la pueden aprovechar para su recarga.

El controlador también regula la dirección de giro del motor y por último, el controlador desempeña la función de protección para el motor, limitando la corriente que recibe el motor en caso de que la temperatura se acerque a los valores máximos de operación permitidos.

El futuro éxito de los vehículos eléctricos depende en gran medida de las continuas mejoras en la tecnología de motores y sus controladores.

### **SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO.**

Es sabido que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma, por lo tanto, cualquier tipo de energía puede ser almacenada en la forma que se

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

encuentra, o puede ser transformada en alguna de las otras formas, para ser almacenada de ese modo, y ser transformada nuevamente para su aprovechamiento. En todos los procesos de transformación y almacenamiento de energía, existen pérdidas que disipan parte de la energía.

Dentro de las características que debe tener una batería para ser usada en un automóvil eléctrico o solar, se encuentran las siguientes:

- Alta energía específica.
- Alta potencia específica.
- El mayor número de ciclos de vida, con bajo mantenimiento.
- Bajo costo.

La energía específica, se refiere a la cantidad de watt-horas de electricidad que la batería puede almacenar por kilogramo de su masa.

Por ejemplo, en una batería de plomo-ácido convencional, la energía específica práctica tiene un valor de 35 Wh/kg, mientras que el valor teórico es de 171 Wh/kg<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> RIEZENMAN, op. cit. 18, p 97.

La potencia específica es el número máximo de watts por kilogramo que la batería puede entregar a una determinada profundidad de descarga, generalmente 80 %.

El ciclo de vida, se refiere al número de veces que una batería puede ser descargada hasta un 80 % de profundidad y cargada totalmente de nuevo. Una batería común está entre el rango de 500 a 1000 ciclos.

Finalmente, el costo es uno de los factores decisivos y es determinado por los materiales usados en la batería y por el proceso de fabricación.

Las baterías de plomo-ácido son las más usadas para el almacenamiento de energía eléctrica, y esto se debe más que nada a su buena retención de carga por muy bajo costo.

Gracias a la versatilidad en su diseño, se ha utilizado como acumulador para los automóviles de combustión interna, en carros eléctricos pequeños como los que se usan en el golf, en grúas pequeñas, y como baterías de respaldo en teléfonos y otras aplicaciones que requieren una fuente continua de electricidad sin interrupciones. Sin embargo, una batería de plomo-ácido diseñada para una aplicación específica, no necesariamente servirá para otra.

Para los vehículos eléctricos, este tipo de baterías no funcionan. Como se vio antes, para los vehículos eléctricos, se necesitan baterías de gran capacidad, que soporten ciclos de descarga profunda. Numerosos diseños que buscan maximizar la energía específica y la potencia específica, conservando el bajo precio de las baterías plomo-ácido se han propuesto con nuevas tecnologías que están siendo desarrolladas como resultado de una extensa investigación para la creación de nuevas baterías ideales para automóviles eléctricos. Esta investigación es

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

encabezada por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DoE), y el Consorcio de Baterías Avanzadas de los Estados Unidos (USABC), constituido principalmente por las tres grandes constructoras de autos, Ford, General Motors y Chrysler.

La batería de plomo-ácido tienen las siguientes ventajas, que la hacen ser la batería más adecuada para ser utilizada en los vehículos eléctricos, al menos al corto plazo: es la batería que ofrece el menor costo por unidad de energía almacenada, es reciclable, está disponible en el mercado y cuenta con una gran infraestructura, desde la producción del metal, hasta la producción de la batería y los servicios que ésta pueda necesitar, producto de la larga experiencia en el uso de esta batería, es menos tóxica o peligrosa en caso de accidente que otros tipos de batería, y tiene, como se mencionó anteriormente, enormes posibilidades de mejora, con nuevas tecnologías.

Dentro de las desventajas que la batería plomo-ácido puede tener en primer término, el peso.

Otra desventaja importante es la producción de gases durante la recarga, estos gases, son una combinación altamente explosiva de hidrógeno y oxígeno, por lo que las baterías plomo-ácido deben ser instaladas en un lugar perfectamente ventilado para evitar concentraciones peligrosas.

La gasificación, obliga a realizar un mantenimiento constante en este tipo de baterías, chequeando el nivel de agua, y limpiando las terminales, que muestran cierta corrosión después de un tiempo.

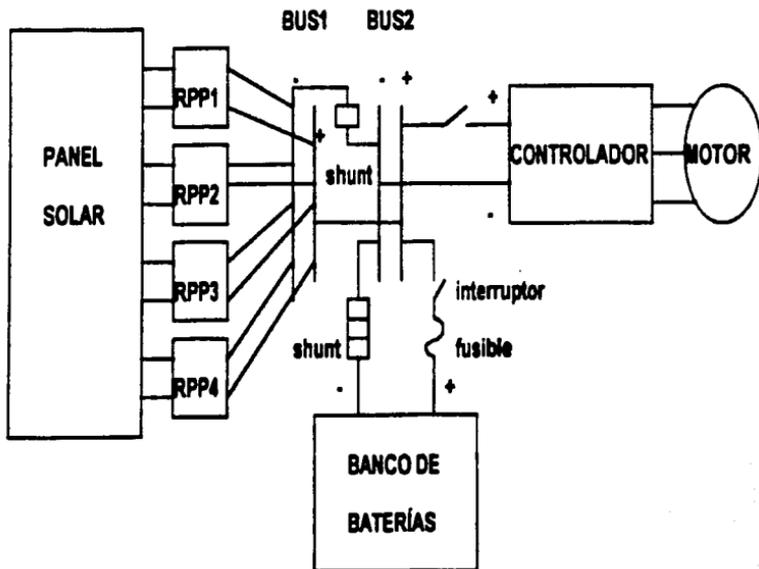
TABLA 4-1 COMPARATIVA DE LAS DIVERSAS TECNOLOGÍAS EN BATERIAS

Tipo de batería	Anodo	Cátodo	Electrolito	Voltaje celda (volts)	Densidad de energía (Wh/Kg)	Densidad de potencia (W/Kg)	Vida ciclica (ciclos)	Costo (US\$/Kwh)
Plomo ácido	Plomo	Bióxido de plomo	Acido sulfúrico	2.1	25 a 40	100 a 200	400 a 1000	100 a 150
Níquel cadmio	Cadmio	Hidróxido de níquel	Hidróxido de potasio	1.3	40 a 55	150 a 250	500 a 2000	400 a 800
Níquel hierro	Hierro	Hidróxido de níquel	Hidróxido de potasio	1.3	50 a 60	90 a 120	800 a 2000	600 a 800
Plata zinc	Zinc	Oxido de plata	Hidróxido de potasio	1.6	130 a 160	160	20 a 50	
Sodio azufre	Sodio	Azufre	Beta-alúmina	2.08	90 a 120	120 a 160	350 a 1000	300 a 800
Zinc bromo	Carbón inerte	Carbón inerte	Doble sistema de electrolitos: Bromuro de zinc y bromo	1.8	70 a 80	90 a 100	700 a 1000	200 a 400
Níquel zinc	Zinc	Hidróxido de níquel	Hidróxido de potasio	1.7	50 a 60	130 a 180	200 a 500	300 a 600
Níquel hidruro de metal	Aleación	Hidróxido de níquel	Hidróxido de potasio	1.4	70 a 80	150 a 300	500 a 1000	400 a 1000
Zinc aire	Zinc		Hidróxido de potasio	1.62	100 a 180	< 50	50 a 70	20 a 50
Litio	Litio	Bisulfato de hierro-aluminio	Polimero	1.66 a 3.5	90 a 200	80 a 1600	50 a 1000	800 a 1600
Volantes de inercia	Ninguno	Ninguno	Ninguno	rpm	100 a 150	5000 a 10000	100,000	300 a 1000
Celdas combustible	Hidrógeno en combustible	Oxígeno	Varios	1.23	?	?	1000 a 2000	?

Nota: Algunos valores de las celdas combustibles no se han determinado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 4-2 ARNES DE INTERCONEXIÓN (GROSSO MODO) DE UN AUTO SOLAR .



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **SUBISTEMA DE SUMINISTRO**

### **EL PANEL SOLAR, ANÁLISIS**

Este es el más importante en un vehículo solar, pues es el que proporciona la energía eléctrica necesaria para que el vehículo se mueva.

Se debe establecer un criterio de selección que satisfaga la aplicación específica, que en este caso es un panel solar fotovoltaico para un automóvil de carreras.

Por panel solar se entiende el conjunto de todos los componentes que desempeñan un papel importante en la conversión de energía solar a energía eléctrica, y aquéllos que proporcionan estructura y protección. Básicamente esos componentes son: el sustrato, el adhesivo, el arreglo, y el recubrimiento.

Por arreglo se entiende al conjunto de elementos necesarios para convertir la luz del sol en electricidad; esto es, las celdas solares, los conductores, los diodos de paso y los diodos de bloqueo.

El arreglo está generalmente diseñado de forma modular, esto es, el arreglo se compone de un grupo de módulos conectados entre sí. A su vez los módulos están integrados por submódulos y éstos por series de celdas solares, llegando así a la unidad básica: la celda solar.

Los rastreadores de potencia pico, son circuitos electrónicos cuya función es forzar al módulo a operar en el punto de máxima potencia en todo momento.

Como se comentará en el próximo capítulo, en las competencias de automóviles solares, se recorren distancias considerables con autos que pesan de 150 kg hasta 600 kg, con un tamaño de panel regulado, por lo que para esta aplicación se necesitará obtener la máxima potencia de salida posible, con el tamaño de panel permitido. Esto sólo se logra utilizando las celdas solares más eficientes, como lo son la celda tipo cascada, la de arsenuro de galio, o algunas celdas de silicio de alta eficiencia. Sin embargo, estas celdas tienen un costo altísimo, por lo que el factor decisivo para la selección de celdas solares es un compromiso entre costo y eficiencia.

Al construir un automóvil solar, se debe destinar una parte importante del presupuesto (cerca del 15% del costo total del vehículo) para la compra de celdas solares, y se podría pensar que se deben comprar las celdas solares más eficientes que este presupuesto pueda pagar, sin embargo se debe considerar dentro de este presupuesto el costo de manufactura del panel, que añade una razón más para que las celdas solares no sean excesivamente caras.

La fabricación de un panel solar, involucra la selección de un sustrato firme pero a la vez ligero, un adhesivo que mantenga firme y perfectamente sostenidas a las celdas, pero que al mismo tiempo amortigüe vibraciones, y permita la pequeña contracción o expansión que puedan sufrir éstas con la temperatura. Se necesita también un recubrimiento, no conductor, con un muy bajo índice de reflexión, que las aisle bien eléctricamente y las proteja de la humedad, del polvo, y otros factores corrosivos del medio ambiente, sin que sufra un deterioro. También se debe considerar que las celdas serán soldadas entre sí, por lo que se debe conocer un método de soldadura adecuado según el material de la celda, que sea resistente mecánicamente, pero de muy baja resistencia eléctrica. Por último se debe tener en cuenta la fragilidad de las celdas, ya que un manejo ligeramente brusco puede producir la fractura irremediable de éstas.

Por todo lo anterior, se concluye que si se cuenta con la experiencia y los recursos, tanto económicos como de instalaciones, la mejor opción será la celda

más eficiente que el presupuesto pueda pagar, pero de no tener ni la experiencia ni los recursos, se deberán comprar celdas comerciales con la relación eficiencia-costo más alta. Estas pueden ser celdas de silicio monocristalino o policristalino con eficiencias del 13% al 17% que se utilizan en la fabricación de módulos solares terrestres, que se encuentran fácilmente en el mercado.

El siguiente capítulo se dedica específicamente al panel solar en cuanto a cálculos y construcción.

## **INTERCONEXIÓN.**

Se sabe que una celda solar produce aproximadamente 0.5 volts y unos 3 A. Como virtualmente cualquier carga que se quiera usar requiere de niveles más altos, tanto de corriente como de voltaje, se hace necesaria la conexión en serie, para incrementar el voltaje y en paralelo para incrementar la corriente.

Una celda solar tiene sus polos en la parte posterior y en la anterior, es decir, toda el área de la celda que recibe la luz es uno de los polos (generalmente el polo negativo), y la parte posterior es el otro (positivo).

Para interconectar celdas en serie, por lo tanto se debe unir la parte posterior de una, con la parte anterior de la siguiente y así sucesivamente hasta alcanzar el voltaje deseado para la aplicación.

Las celdas conectadas en serie, suman su voltaje, pero proporcionan la misma corriente que proporciona la peor celda de la serie. Es en este punto donde los diodos de paso tienen su importancia. Cuando una celda solar falle o se rompa, quedando en circuito abierto, el diodo de paso ofrecerá una ruta de paso alternativa para la corriente, evitando así que se pierda toda la serie.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Típicamente los diodos de paso se conectan en paralelo con el número de celdas en serie, que se esté dispuesto a perder en el caso de que una falle, con el ánodo del diodo en la terminal negativa de la serie y con el cátodo a la terminal positiva.

Los diodos de bloqueo obligan a la corriente a fluir en un solo sentido, del arreglo a las baterías, o del arreglo al controlador del motor. Se instalan en serie con la terminal positiva de cada módulo. El ánodo se orienta hacia el arreglo y el cátodo hacia la carga.

## **OPTIMIZACIÓN Y RASTREADORES DE POTENCIA PICO**

En toda curva característica de una celda solar o de un módulo, existe un punto en la rodilla de la curva, en el cual el producto de la corriente y el voltaje es máximo. A este punto se le conoce como punto de potencia máxima o punto de potencia pico. En este punto es donde se quisiera que el panel operara en todo momento. Sin embargo, debido a que las condiciones atmosféricas varían todo el tiempo y que si además se tiene un panel curvo en el que el nivel de irradiación no es constante para todas las celdas ni tampoco las temperaturas, resulta prácticamente imposible operar en el punto de potencia pico.

Es precisamente aquí donde los rastreadores de potencia pico (RPP) tienen su función. Estos son circuitos electrónicos de control que tienen la habilidad de localizar y operar a un voltaje en el que el módulo maximiza su potencia de salida, en todo momento y bajo cualquier tipo de condiciones.

Lo anterior es una explicación básica del funcionamiento, sin embargo el circuito es más complejo. Generalmente los RPP tienen microprocesadores basados en la tecnología RISC, que controla numerosas funciones, entre ellas:

- \* Determina el voltaje ideal de recarga para las baterías, según la temperatura de éstas. Si las baterías son selladas utiliza un mismo voltaje todo el tiempo, pero si las baterías no son selladas, las carga a un voltaje un poco más alto, una vez por día por aproximadamente una hora con el fin de equilibrar los voltajes de las celdas y reducir la estratificación.

- \* Limita la corriente de entrada, en caso de que ésta sea muy grande y pueda dañar la electrónica.

- \* Si la corriente de entrada es demasiado baja, el rastreador no podrá hacer operar al panel en su punto de eficiencia máxima pero tratará de regular el voltaje de cada módulo para que éste sea máximo.

Los RPP junto con el controlador, representan el cerebro del auto solar, sus funciones de control y distribución de corrientes, son básicas para el funcionamiento óptimo de todo el auto. Al ser ambos, módulos electrónicos, y al ser la electrónica una de las ciencias que más rápido evolucionan, el ingeniero debe estar al día para poder escoger el mejor equipo.

## CAPITULO V.

### **EL PANEL SOLAR**

#### CONSIDERACIONES DE CARGA Y OPERACIÓN.

Al diseñar un auto solar se busca maximizar la eficiencia ( $\eta$ ) global del vehículo, lo cual implica establecer un compromiso óptimo entre los términos de la siguiente ecuación:

$$E_{\text{útil}} = E_{\text{entrada}} - E_{\text{perdida}}$$

donde:

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{recibida}} \times \eta_{\text{panel}}$$

y

$$E_{\text{perdida}} = E_{\text{aerodinámica}} + E_{\text{mecánica}} + E_{\text{Eléctrica}}$$

Se estudiará en primer lugar lo referente a las pérdidas. Las pérdidas que existen en un vehículo solar son básicamente de tres tipos: Aerodinámicas, mecánicas y eléctricas:

Las aerodinámicas son de dos tipos: Por arrastre y por fricción viscosa:

Las pérdidas aerodinámicas por arrastre se deben a la resistencia que experimenta un cuerpo de una determinada área frontal al moverse a través de un fluido como el aire. Esa resistencia se puede expresar de la siguiente manera:

$$F_A = 1/2 \rho v^2 S C_d$$

En donde:

$F_A$  = Fuerza que se opone al movimiento del cuerpo en el fluido.

$\rho$  = Densidad del fluido.

$v$  = Velocidad relativa del cuerpo respecto al fluido.

$S$  = Área frontal del cuerpo, normal al flujo.

$C_d$  = Coeficiente de arrastre aerodinámico.

Para el caso de Tonatiuh, se tienen los siguientes valores:

$\rho_{\text{aire}} \approx 1.2 \text{ Kg/m}^3$  @ condiciones estándar a nivel del mar

$S \approx 1 \text{ m}^2$

$C_d \approx .15$

Suponiendo aire estático, la ecuación anterior queda, en función de la velocidad:

$$F_A = 1/2 (1.2 [\text{Kg/m}^3]) (v [\text{m/s}])^2 (1 [\text{m}^2]) (.15)$$

$$F_A = .09 v^2 [\text{Kg.m/s}^2]$$

Las pérdidas aerodinámicas por fricción viscosa, se deben a los esfuerzos cortantes que existen entre la superficie del cuerpo que se mueve en el fluido y el fluido, y entre las diferentes capas del fluido. Estas se pueden expresar como:

$$F_v = \mu A dv/dz$$

En donde:

$F_v$  = Fuerza resultante por rozamiento.

$\mu$  = Coeficiente de viscosidad del aire.

A = Área sobre la que se aplican los esfuerzos cortantes.

$dv/dz$  = gradiente de velocidad.

Para Tonatiuh se tienen:

$\mu_{\text{aire}} \approx 1.83 \times 10^{-5}$  [Kg/m.s] @ condiciones estándar al nivel del mar

$A \approx 25 \text{ m}^2$

$dv/dz \approx (0.35)$  [1/s]

Al substituir los valores en la ecuación queda en función del gradiente de velocidad:

$$F_v = (1.83 \times 10^{-5} [\text{Kg/m.s}]) (25 [\text{m}^2]) (dv/dz [1/\text{s}])$$

$$F_v =: 0004575 (dv/dz) [\text{Kg.m/s}^2]$$

El valor de esta fuerza es despreciable para los posibles valores del gradiente de velocidad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El sistema mecánico de un automóvil solar se compone básicamente de suspensión, dirección, frenos y transmisión. Cuando este sistema está bien diseñado, esto es, cuando el camber, el caster y el toe son cero y la fricción en los frenos cuando éstos no son accionados es cero, se puede decir que las únicas pérdidas representativas son las originadas por resistencia al rodamiento y a la transmisión.

Las pérdidas en una transmisión tipo cadena de bicicleta, bien lubricada, son de aproximadamente un 5%.

Las pérdidas por resistencia al rodamiento son debidas a la energía que utiliza la llanta al contraerse y expandirse al contacto con el suelo y por fricción en los rodamientos. En Tonatiuh se utilizan llantas de bicicleta de 26 pulgadas de diámetro con un coeficiente de resistencia al rodamiento  $Crr \approx .006$ . Este coeficiente cuando se multiplica por el peso total del auto y por el número de llantas, nos da el valor de la fuerza (Frr) que se opone al giro de la llanta:

$$Frr=(crr)(Wt)(\#llantas)$$

$$Frr=(.006)(1588.67N)(3)$$

$$Frr=28.6 \text{ N}$$

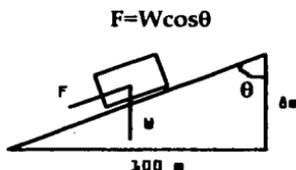
Las pérdidas eléctricas, son básicamente por resistencia. Estas pérdidas se ven reflejadas en la eficiencia de cada componente del sistema eléctrico. La eficiencia del panel solar que incluye la eficiencia de los rastreadores de potencia pico se analizará más adelante.

Existe una componente de pérdidas más, que puede ser de gran importancia, según el terreno donde se lleva a cabo la carrera: el peso.

El peso afecta de diferentes formas el desempeño de un auto: disminuye la capacidad de aceleración del vehículo por tener mayor masa e incrementa la resistencia al rodamiento por mayor deformación en las llantas y mayor carga sobre los baleros. Pero el mayor impacto que el peso puede tener se refleja en las pendientes.

En un terreno relativamente plano, como Australia, controlar el peso es importante pero no es tan crítico como controlar las pérdidas aerodinámicas. Se calcula que por cada kilogramo extra de peso, es necesario alrededor de un watt más en poder mecánico a velocidades de entre 70 y 80 Km/h. Sin embargo en terrenos montañosos, el peso se convierte en el factor principal de pérdidas.

En carreras como Sunrayce 95, se pueden encontrar pendientes de hasta el 8%, con longitudes de 8 Km. Vencer la componente del peso en esa dirección, puede ser la prueba más dura para un auto solar. Suponiendo un peso promedio, para un auto solar con baterías plomo ácido, de 440 Kg, la fuerza en oposición puede tener un valor de:



$$F = 440[\text{Kg}] \cos(85.426)$$

$$F \approx 35.1 [\text{Kg}] \approx 344.21 [\text{N}]$$

El amperaje necesario para subir una cuesta así, con una relación 7:1, es de 80A.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En conclusión, el desempeño de un auto solar es inversamente proporcional a las pérdidas.

Para lograr el mínimo de pérdidas un vehículo solar deberá tener:

- 1.- Un muy bajo arrastre aerodinámico
- 2.- Bajo peso
- 3.- Baja resistencia al rodamiento
- 4.- Alta eficiencia en los componentes eléctricos

La energía de entrada, como se dijo anteriormente, es igual a la energía recibida por la eficiencia del panel solar. Se estudiará en primer término, la energía recibida:

Existen una cantidad enorme de variables que afectan la cantidad de energía que se recibe del sol; la latitud, la altitud, el día del año, la hora del día, y las condiciones atmosféricas.

La latitud, en grados, es el lugar geométrico de los puntos de intersección de un cono imaginario y la superficie terrestre.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para latitudes mayores a los  $23^{\circ}$   $27'$ , correspondientes a los trópicos de cáncer y capricornio, el sol nunca está en el cenit. La latitud también influye en la duración del día.

La altitud, o sea la altura de un punto de la superficie terrestre respecto al nivel medio del mar, influye también de dos maneras: primero afecta el valor AM y segundo, influye en forma notable sobre la temperatura. La temperatura afecta directamente la operación de las celdas solares. Se sabe que por cada 1000 m de latitud, la temperatura disminuye  $6.4^{\circ}$  aproximadamente.

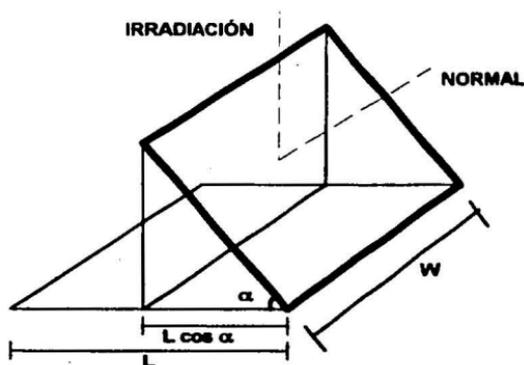
El día del año determina la cantidad de horas de sol que se pueden obtener según la latitud. Por ejemplo, para latitudes entre  $50^{\circ}$  y  $60^{\circ}$ , como en Londres, la cantidad de horas de luz solar varía de 7 hrs. en invierno hasta 16 hrs. en verano. Para la Ciudad de México, la variación es menor, desde 10.5 hrs. en invierno hasta 13.5 hrs. en verano.

Las carreras de autos solares, se efectúan generalmente a finales de la primavera, y se corren de las 8:00 a las 17:00 hrs. por un total de 9 horas para el WSC, y 8.5 horas, de las 10:00 hasta las 18:30 hrs. para el Sunrayce. En el WSC se va desde una latitud de  $12.5^{\circ}$  sur hasta  $36^{\circ}$  sur, con una altitud casi constante, unos cuantos metros arriba del nivel del mar. En el Sunrayce se corre a una latitud casi constante, cercana a los  $38^{\circ}$  norte, a altitudes variables.

De esta energía que se recibe durante el día, sólo un parte es aprovechada por el auto solar. Esto se debe a los siguientes factores que engloban en la eficiencia global del panel:

- Eficiencia de las celdas solares.
- Forma y dimensiones del panel solar
- Factor de montaje.
- Eficiencia de los rastreadores de potencia pico, y pérdidas en conducción y diodos de paso.

La orientación de las celdas solares afecta al igual que el día del año, la hora del día, y la latitud, el ángulo de incidencia. Este ángulo reduce el área que recibe radiación y aumenta la reflexión.



$$A_{\text{efectiva}} = L \cdot W \cdot \cos \alpha$$

Dentro de un panel solar curvo, se tienen diferentes orientaciones para cada una de las celdas solares. Existen más de 800 celdas solares en un panel y cada

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

una tiene dos ángulos de incidencia respecto a la dirección de la radiación, por lo que calcular el área efectiva para cada celda resultaría tedioso. Para efecto de cálculos se considerará esta área efectiva como  $8\text{m}^2$ .

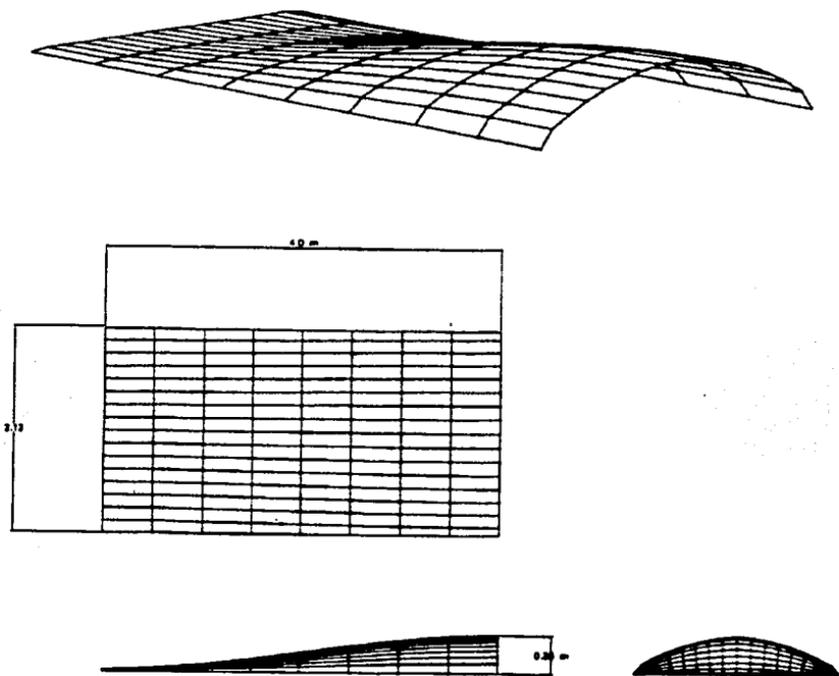
Respecto a la forma y dimensiones del panel solar, en los reglamentos de las competencias se estipula que el panel solar deberá tener dimensiones tales que quepa dentro de un paralelepípedo rectangular de 4.4 m de largo, por 2 m de ancho y 1.6 m de alto; pero además el área proyectada verticalmente al piso no debe ser mayor a  $8\text{ m}^2$

Aunque esta limitación en las dimensiones permite jugar un poco con la forma del panel, la eficiencia ordena que esta forma sea el resultado de un compromiso entre la aerodinámica y el área de captación. Esto se analiza más a fondo próximamente.

Para Tonatiuh se eligió el panel curvo y las dimensiones de 2.12 m de ancho por 4 m de largo, sin embargo el panel siempre estará inclinado con un ángulo tal que su área proyectada al piso sea de  $8\text{ m}^2$  y el máximo ancho del auto será de 2 m.

El factor de montaje es el porcentaje del área de sustrato que está cubierta por celdas solares. Generalmente en los arreglos solares se deja un pequeño espacio entre celda y celda y entre módulos, para efectos de dilatación. Esto evita que el factor de montaje sea 1. Utilizando la técnica denominada "*shingling*", en la que una celda, se encima sobre la siguiente cerca de 1 mm, se logran factores de montaje de hasta 0.98. El factor de montaje disminuye, el área efectiva.

FIGURA 4-3 DIMENSIONES DEL PANEL SOLAR



Por último se considerará la eficiencia de los rastreadores de potencia pico y las pérdidas por conducción y diodos de paso.

$$\eta_{RPP} \approx 98 \%$$

$$\eta_{cond} \approx 99 \%$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$\eta_{\text{diodos}} \approx 99 \%$$

Considerando todos los factores anteriores, la eficiencia global del panel solar es:

$$\eta_{\text{panel}} = (\eta_{\text{celda}})(A_{\text{efectiva}})(\text{Factor de montaje})(\eta_{\text{RPP}})(\eta_{\text{cond}})(\eta_{\text{diodos}})$$

$$\eta_{\text{panel}} = (.12)(8\text{m}^2)(.98)(.98)(.99)(.99)$$

$$\eta_{\text{panel}} = 0.9031 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, la energía de entrada que se puede esperar durante un día de carrera es:

$$E_{\text{entrada}} = E_{\text{recibida}} \cdot \eta_{\text{panel}}$$

$$E_{\text{entrada}} = (6.5 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{día})(.9031 \text{ m}^2)$$

$$E_{\text{entrada}} = 5.8 \text{ KWh/día}$$

Con esta cantidad de energía se deberá lograr un desempeño adecuado del subsistema propulsor sin provocar una descarga profunda de las baterías. Nuevamente este valor al ser muy limitado, resalta la importancia de reducir las pérdidas para lograr un buen desempeño del auto.

Para mejorar la eficiencia del panel se deberán utilizar celdas solares de la mayor eficiencia posible, altos factores de montaje, el mayor tamaño de área efectiva y minimizar las pérdidas por conducción, diodos de paso, y recubrimiento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CALCULO DEL ARREGLO.

En el caso de Tonatiuh se utiliza un banco de 7 baterías conectadas en serie, de plomo ácido de 12 V y 56 Ah cada una. Esto equivale a 84 V y una capacidad de 4.7 KWh para todo el banco.

El voltaje de carga de las baterías es de 15 V por batería, esto es, 105 V para el banco. Las baterías utilizadas tienen una eficiencia coulombica de 91 %, lo que significa que por cada ampere hora que sale del banco, hay que meter 1.1 ampere hora para recargarla. Por lo tanto para un banco de baterías con 56 Ah habrá que recargar:

$$Ah_{\text{recarga}} = Ah_{\text{nominales}} / \eta_{\text{coulombica}}$$

$$Ah_{\text{recarga}} = 56Ah / .91$$

$$Ah_{\text{recarga}} = 61.5Ah$$

El panel solar deberá pues ser capaz de proporcionar 105 V al ser conectado al banco de baterías y dar el amperaje suficiente que pueda recargar el banco eficientemente. Para lograr un voltaje de 105 V, considerando que cada celda proporciona 0.5 V en circuito abierto se deberán conectar en serie:

$$\# \text{ celdas en serie} = \text{voltaje deseado} / \text{voltaje celda}$$

$$\# \text{ celdas en serie} = 105 / 0.5$$

$$\# \text{ celdas en serie} = 210 \text{ celdas.}$$

El substrato de "Tonatiuh" fue diseñado para tener cuatro módulos de 213 celdas en serie, para un total de 852 celdas con un área de 100cm<sup>2</sup> cada una.

## CONSTRUCCIÓN.

En este tema, se analiza la construcción del panel, y se mencionan las características que deben tener las partes que lo integran.

Antes que nada se deberá hacer la selección de tres componentes importantes del panel: el substrato, el adhesivo y el recubrimiento.

### EL SUBSTRATO.

El substrato es el material donde estarán sustentadas las celdas solares. Por lo general, el substrato es una parte integral de la carrocería del automóvil, por lo que sus características físicas de forma y peso son acordes a la filosofía de diseño para máxima eficiencia.

La forma del substrato se determina en base a un compromiso entre la forma que permita una máxima captación solar y aquella que proporcione una mejor aerodinámica respetando, claro está, las limitaciones de tamaño que los reglamentos impongan. En base a estos dos parámetros se han ideado diferentes soluciones, que se pueden generalizar en cuatro:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

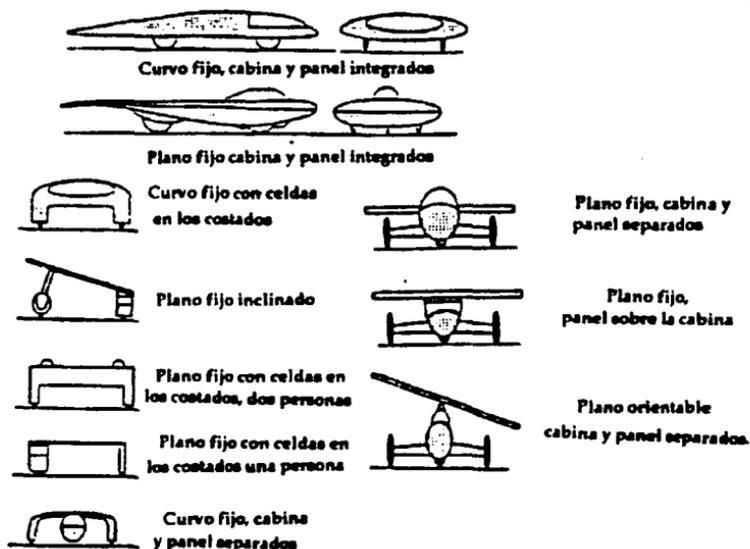
- \* Panel plano, fijo.
- \* Panel plano, orientable.
- \* Panel curvo, fijo.
- \* Panel curvo, orientable.

Desde el punto de vista de la aerodinámica, el panel curvo fijo es el más adecuado, permitiendo una mayor área de captación solar. Sin embargo, éste es más difícil de construir y provocará la existencia de áreas con diferentes niveles de radiación y temperatura, lo que añade problemas al momento de conectar las celdas. Si éstas se conectan en serie, aquellas celdas que reciban la menor cantidad de luz, limitarán la corriente de las demás y si se conectan en paralelo, aquellas con mayor temperatura, tendrán un menor voltaje que las que están frías limitando el voltaje. Este problema se puede solucionar dividiendo el arreglo en módulos que tengan una temperatura y un nivel de radiación similar, y utilizando los rastreadores de potencia pico, para mantener cada segmento en su punto de operación óptimo.

Por lo tanto si se tiene un panel curvo fijo, se gana en aerodinámica y en captación solar, pero se pierde en peso, dificultad de construcción y pérdidas de energía por imperfecciones en la electrónica durante el rastreo.

El panel curvo orientable, tiene las mismas ventajas y desventajas que el panel curvo fijo, pero además, éste tiene una mejor captación solar, pues puede rastrear al sol, pero también, el mecanismo de giro agrega peso, y las propiedades aerodinámicas se ven un poco disminuidas, sobretudo en vientos laterales.

FIGURA 4-3 TIPOS DE PANELES



El panel plano fijo, es el más fácil de construir, y no presenta mayor problema en la conexión de celdas, ya que éstas tendrán el mismo nivel de radiación y la misma temperatura. No tiene tan buena aerodinámica como el panel curvo fijo, y esto se acentúa cuando el panel plano es orientable, pues se genera una gran turbulencia que aumenta considerablemente el arrastre. El panel plano orientable, puede incluso llegar a ser peligroso en caso de fuertes vientos laterales.

En los diferentes automóviles solares que hay en el mundo, se han implementado todas estas posibles soluciones, y por el momento el panel curvo fijo es el que ha mostrado un mejor desempeño, sin embargo, no existe mucha diferencia con el panel plano fijo, y éste es mucho más fácil de construir, por lo que es recomendable que se elija un panel plano si no se tienen la experiencia e infraestructura para construir un panel curvo.

El panel plano orientable ha sido utilizado por una gran número de vehículos, pero su desempeño deja mucho que desear. Son muy pocos los automóviles solares que han usado panel curvo orientable, pero han obtenido buenos resultados.

Existen algunos otros autos que utilizan un sustrato que no forma parte integral de la carrocería, con objeto de hacer submódulos intercambiables, de esta manera, si se rompe una celda o si algún submódulo deja de funcionar por alguna razón, se reemplaza rápidamente por uno nuevo. Esta solución, tampoco ha demostrado ser una de las mejores, ya que se añade peso y se corre el riesgo de romper más celdas al momento de remover el sustrato. Los diodos de paso actúan suficientemente bien en el caso de ruptura de una celda.

En cuanto al peso, se busca, como en toda la carrocería, que éste sea el menor, pero al mismo tiempo proporcionando una estructura suficientemente rígida que no se flexione o se torsione, exponiendo las celdas a una posible ruptura. Por todo esto, generalmente se utilizan fibras compuestas como el Kevlar o la fibra de carbono, que por sus características físicas, proporcionan una muy alta resistencia y un muy bajo peso, aunque a un muy alto costo.

Aunque la fibra de carbono es más rígida que el Kevlar, ésta tiene una desventaja; es conductora de la electricidad, por lo que añade una gran dificultad en la construcción del panel pues hay que aislar perfectamente el sustrato y las celdas. Esto también añade peso. Una solución a este problema, es el de utilizar Kevlar reforzado con costillas de fibra de carbono, que den la rigidez necesaria, al mismo tiempo de que se evita el aislamiento, pues el Kevlar no es conductor.

A modo de aumentar la ligereza del sustrato y al mismo tiempo permitir una mayor ventilación de las celdas, algunos autos solares, con muy buenos

resultados, en lugar de tener un sustrato continuo, tienen un sustrato en forma de red.

El sustrato debe además tener, maquinabilidad, es decir, que sea fácilmente perforable para permitir el paso de cables a través de él, y debe también permitir una buena adhesión, es decir debe tener un cierto acabado rugoso.

Tonatiuh utiliza un panel curvo-orientable hecho de Kevlar reforzado con fibra de carbono, en forma de red.

## ADHESIÓN

En la selección del adhesivo, se deben tomar en cuenta los materiales del sustrato y de las celdas. Cualquier material que se adhiera bien en ambos será adecuado. Sin embargo se debe cuidar que éste no sea conductor, que sea lo más ligero posible, ya que el área del panel es muy grande y por lo tanto se deberá usar una gran cantidad de él. El costo es otro factor importante que se ve agravado por la cantidad de adhesivo que se usa. Debe ser de fácil aplicación y no debe ser demasiado rígido, sino que debe permitir ciertos movimientos térmicos de expansión y contracción del sustrato y de las celdas. También debe amortiguar las vibraciones provenientes de la carrocería, para evitar que las celdas se rompan.

Por las características arriba mencionadas, son dos los adhesivos más utilizados, el silicón y la cinta de doble adherencia. Ambos tienen características semejantes pero básicamente difieren en tres: la cinta de doble adherencia, tiene un menor peso y se aplica de una manera más sencilla, pero tiene un mayor costo. El silicón tiene una densidad similar a la del agua (1.2 g/cm), por ser líquido viscoso puede ser aplicado con brocha o por aspersión y siguiendo un procedimiento

adecuado se pueden evitar escurrimientos en superficies curvas. El silicón tiene un tiempo de fraguado de aproximadamente 6 hrs.

## **RECUBRIMIENTO.**

El recubrimiento, es definitivamente una parte vital para el buen funcionamiento de un panel solar. Este debe tener propiedades ópticas tales, que no existan pérdidas en la luz que reciben las celdas solares, además, estas propiedades no se deberán perder con la temperatura, con el tiempo o con las diferentes condiciones atmosféricas a las que se exponga el recubrimiento. La función más importante del recubrimiento es la de aislar y proteger a las celdas solares de agua, del polvo, y cualquier otro factor del medio ambiente que pueda romperlas, erosionarlas o afectarlas eléctricamente.

Además de cumplir con estas dos funciones, el recubrimiento debe tener características similares a las del adhesivo en cuanto no ser conductor, ser ligero, de fácil aplicación, de bajo costo y que permita movimientos térmicos.

A continuación se presentan las pruebas realizadas a una serie de recubrimientos que se consideraron adecuados:

FIGURA 4-4 COMPARACION DE RECUBRIMIENTOS

<i>CELDA 1</i>			
Recubrimiento	Aire	Vidrio/Aire	Vidrio/Silicón
Icc (Amp)	1.213	1.11	1.19
Vca (mV)	585	584	596
Potencia (mW)	480	435	470
Temperatura. (°c)	27	27	25
Degradación pot.		10%	2%

<i>CELDA 2</i>			
Recubrimiento	Aire	Acetato/Aire	Acetato/Silicón
Icc (Amp)	1.24	1.11	1.21
Vca (mV)	597	588	587
Potencia (mW)	459	409	453
Temperatura. (°c)	29	30	29
Degradación pot.		11%	1.30%

<i>CELDA 3</i>			
Recubrimiento	Aire	Mylar/Aire	Mylar/Silicón
Icc (Amp)	1.23	1.02	1.19
Vca (mV)	591	585	583
Potencia (mW)	461	372	443
Temperatura. (°c)	27	28	25
Degradación pot.		19%	4%

<i>CELDA 4</i>			
Recubrimiento	Aire	Silicón	
Icc (Amp)	1.23	1.22	
Vca (mV)	597	578	
Potencia (mW)	463	461	
Temperatura. (°c)	28	27	
Degradación pot.		0.40%	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ENSAMBLE

Una vez que se han seleccionado y obtenido el sustrato, el adhesivo, el recubrimiento, las celdas solares y los diodos de paso, se puede comenzar a ensamblar el panel. Para esta delicada tarea se requiere de mucha paciencia y dedicación.

El primer paso en la construcción o ensamble del panel, es hacer, como se hizo en el capítulo del cálculo y diseño del arreglo, tomando en consideración, el área disponible, las condiciones de carga y operación y reglamentos de competencia. Es muy recomendable que en el diseño se considere el sistema modular, es decir, el arreglo final como resultado de la unión de un conjunto de módulos, los módulos, como resultado de la unión de un conjunto de submódulos, y así sucesivamente hasta llegar a la unidad básica que es la celda solar. De esta manera se puede empezar la construcción por pasos de lo particular a lo general.

El segundo paso es la unión de las celdas solares para hacer submódulos. Para realizar esta tarea es recomendable utilizar soldadura ordinaria para electrónica de 60% estaño y 40% plomo. Aunque también se puede usar soldadura especial con 2% de plata y 38% de plomo. Este tipo de soldadura es mucho más cara pero también es mejor, porque mantendrá a la soldadura caliente sin disolverse y así evita el debilitamiento de la unión con los delgados hilos de plata. Se debe contar también con un cautín tipo lápiz de 40 a 60 Watts con punta en forma de cono o bien en forma de pequeño desarmador, ya que estas formas son las que pueden dar una precisa cantidad de calor a un área pequeña.

La mayoría de las celdas solares comerciales vienen ya con terminales estañadas que facilitan su conexión. Sin embargo, en caso de que no tengan terminales, se pueden usar tiras de cobre delgadas de 2 ó 3 mm de ancho para unirlos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En un panel solar fotovoltaico para este tipo de autos se trata Siempre de aprovechar al máximo el área, pues se restringe por reglamento. Por lo tanto se debe procurar que las celdas solares cubran toda el área disponible en el sustrato de la mejor manera. Para lograr esto se debe tener cuidado en alinear las celdas perfectamente para soldarlas y evitar que exista espacio entre ellas, incluso se pueden empalmar ligeramente una con otra ocupando cuando mucho 1 mm de la orilla superior de la siguiente. Para lograr esta perfecta alineación es conveniente construir unas guías de referencia.

Es importante también limpiar las superficies que se van a soldar; se puede usar alcohol isopropílico para tal efecto. Por último es recomendable usar mascarilla con filtro de gases tóxicos para no respirar los gases emitidos por la soldadura pues contienen plomo.

En el proceso de soldadura se deberá ir de lo particular a lo general, desde la unión de celdas para formar series, hasta la unión de esas series para crear submódulos. En este proceso se deberán soldar los diodos de paso, como se indicó en capítulos anteriores.

Cuando se haya terminado el proceso de soldadura y se tengan ya soldados el número de submódulos que el diseño del arreglo ordene, se deberá probar el perfecto funcionamiento de éstos antes de conectarlos en módulos. Para esto se puede construir un simulador solar, que no necesariamente dé la cantidad de luz que podría dar el sol, sino que sólo sirva de iluminación constante que permita identificar diferencias entre submódulos y posibles fallas. Una vez que se haya probado que los submódulos están libres de falla, se puede iniciar la conexión de ellos para formar módulos.

Al formar los módulos sólo se debe tener cuidado de hacer una conexión adecuada tomando en cuenta la corriente y la temperatura máxima para calcular un diámetro apropiado de cable. Si los submódulos son muy grandes, la

interconexión de ellos se puede hacer directamente en el sustrato durante el ensamble final.

Para poder hacer el ensamble de las celdas al sustrato hay que prepararlo bien, de tal manera que ya tenga todos los mecanismos, insertos o perforaciones ya hechos. Esto con el fin de evitar un manejo excesivo o maquinados que puedan ser peligrosos, una vez que las celdas estén ensambladas.

Antes de aplicar el adhesivo se deberá limpiar el sustrato. Si el adhesivo es silicón, éste se deberá aplicar por zonas para evitar el escurrimiento o posibles desperdicios.

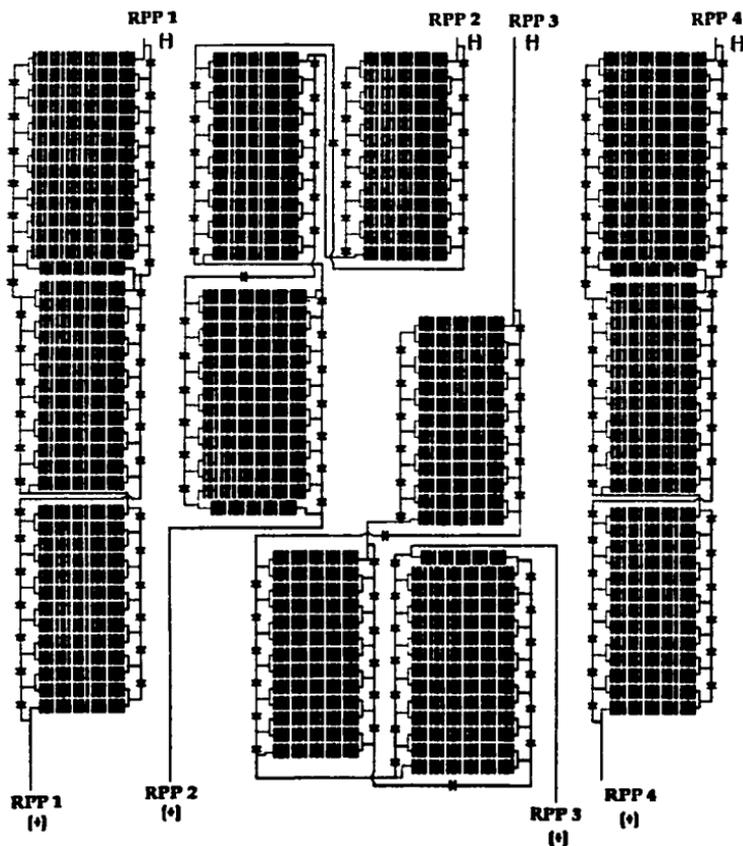
Una vez aplicado el adhesivo se hará la colocación de los submódulos cuidando que haya una buena interconexión entre ellos. Cuando se hayan colocado todos los módulos se procederá a la interconexión de módulos. Ésta se hará utilizando los diodos de bloqueo. Durante la interconexión de módulos se deben dejar listas las terminales para la conexión de cada módulo con los rastreadores de potencia pico. Después de esto se pondrá el recubrimiento.

El recubrimiento tendrá que aplicarse cuidando cubrir toda la superficie, de ser necesario se deberán aplicar varias capas. El aislamiento y la protección son una parte fundamental para el buen funcionamiento del panel. En el caso del silicón, como el utilizado en Tonatiuh, el fraguado es de aproximadamente 6 hrs., pero sea cual fuere la substancia que se utilice, es importante que se respete el tiempo de fraguado.

Al final de este ensamble se deben hacer pruebas para corroborar el buen funcionamiento del panel, después de lo cual se podrán conectar el resto de los elementos del sistema eléctrico primario.

A continuación se presenta el diagrama del panel solar de Tonatiuh:

FIGURA 4-5 DIAGRAMA DEL PANEL SOLAR DE "TONATIUH"



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CONCLUSIONES

Ante el evidente deterioro ambiental generado por el consumo desmesurado de hidrocarburos y ante el inminente agotamiento del petróleo, resulta indispensable fomentar la investigación y comenzar la explotación de fuentes alternativas de energía, que no dañen la atmósfera, y que al igual que los combustibles fósiles, satisfagan las necesidades energéticas del hombre.

La creación de autos solares representa uno de los eslabones principales que unifican el presente con la era del cambio energético.

Al diseñar y desarrollar un auto solar, los constructores nos enfrentamos con un concepto que todo ciudadano debería conocer y utilizar al emprender sus actividades diarias.

Este concepto, denominado "ahorro de energía" se tiene que hacer presente, cuando en una carrera de vehículos impulsados con la radiación del sol se debe obtener un desplazamiento de más de 60 Km/Hr con tan solo la potencia de 1 Kw, que es equiparable a la potencia generada por un tostador de pan. La idea de realizar un gran trabajo utilizando tan poca potencia, es lo que se denomina eficiencia.

Un auto solar debe construirse para obtener una alta eficiencia, por lo cual, hay que incursionar en el mundo de la alta tecnología para poder utilizar materiales súper ligeros y resistentes para lograr un bajo peso. Igualmente en el área de la aerodinámica se realizó un estudio minucioso para obtener un mínimo coeficiente de arrastre. Aunado a lo anterior, hay que lograr una mínima resistencia en los circuitos eléctricos y se debe manejar una adecuada relación entre el voltaje y la corriente para llevar un equilibrio energético del vehículo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para los elementos que conforman la construcción del automóvil se requiere:

- Hacer un estudio de las características, tipos, funcionamiento y costos de los diferentes elementos.
- Adecuar al proceso los mejores elementos y materiales, tomando en cuenta que no necesariamente el mejor material es el que mejor se adapta al sistema.
- Adquirir los componentes y probarlos, en muchas ocasiones el funcionamiento nominal varía al que especifica el fabricante, por lo que se tiene que realizar una serie de experimentos para evaluar sus características reales.

Estos y cantidad de detalles más dan origen al "Diseño por Eficiencia", que es la disciplina que muestra el camino a una cultura de ahorro de energía.

Es también de fundamental importancia la interacción entre las diferentes áreas previamente definidas con el fin de intercambiar información, recursos materiales y humanos, brindando apoyo sin el cuál resultaría mucho más difícil el desarrollo del proyecto.

Es por demás importante señalar que sería imposible este logro sin el apoyo de los patrocinadores a los cuáles se les hace una propuesta que debe convencerlos de la seriedad y de los objetivos que se quieren lograr.

El aprendizaje que se obtiene al emprender la construcción de un auto solar engloba todos los conceptos que son necesarios para enfrentarse a este nuevo reto de desarrollar tecnología limpia y renovable.

El propósito de la construcción de este auto fue demostrarle al mundo que el sol es una fuente importante de energía y que la tecnología para aprovecharla ya esta lo suficientemente desarrollada como para sustituir a los combustibles fósiles y crear una nueva alternativa de transporte terrestre.

Lo que se concluye como experiencia al culminar un proyecto de este tipo es la posibilidad de realizarlo de nuevo pero con una serie de modificaciones en los procesos optimizando tiempos y movimientos, además de mejorar la calidad en los mismos, todo esto en base a la experiencia obtenida en el trayecto y al paso del tiempo de trabajo.

Este proyecto ha servido para concientizar a la gente, y sobre todo a los jóvenes, que la naturaleza tarde o temprano nos cobrará los daños que le hemos hecho, por esto debemos de voltear hacia fuentes alternativas de energía provenientes de recursos renovables y una de las mejores es la energía solar.

Como mexicano este es un sueño hecho realidad el cual no termina aquí, pero es un paso importante para demostrar una vez más que tenemos amplia capacidad para realizar lo que nos proponemos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Advanced Energy Systems PTY. LTD., Maximum Power Point Tracker boost converter battery charger, Instruction Manual, Australia 1993.**

**APS Solar and Electric 500, "A chronology of Electric Vehicle Milestones", E.U.A., 1992.**

**BEISER Arthur, Conceptos de Física Moderna, (Arturo Nava J.), México, McGraw Hill, 1977, (2a Ed.).**

**BRANT Bob, Build your own Electric Vehicle, Mc Graw Hill, U.S.A., 1994.**

**CHEN C.P., Fracture Strength of Silicon Solar Cells, E.U.A., U.S.DoF, NASA, & Jet Propulsion Laboratory, Octubre 1979.**

**CLARIOND REYES José, "Tratado de las Baterías para Almacenamiento y uso de Energías Fotovoltaica y Eólica", México, 1992.**

**Comisión Federal de Electricidad, "Del Fuego a la Energía Nuclear", México, Julio de 1989, Cronografía S.A. de C.V.**

**CURTIS, Battery Book One, lead acid traction batteries, Curtis Instruments Inc., U.S.A, 1981, (3a ed.).**

**DADD Debra, Nontoxic, Natural & Earth wise, Tarcher Perigee, U.S.A, 1990.**

**DAWES Chester, Tratado de la Electricidad, corriente continua, (Santiago Rubio), México, Ediciones G. Gili, S.A. de C.V., 1986, tomo I**

**Eagle Picher Industries Inc., "Metal Hydride Systems", Electronic Division, E.U.A., 1993.**

Equipo Editorial McGraw Hill (com.), *Electrónica Práctica*, (Agustín Contin Sanz y Caupolicán Muñoz Gamboa), México, McGraw Hill / interamericana, 1990, tomo I.

FORBES Christian & PIERRE Joseph, "The Solid Fuel-Cell Future", *IEEE Spectrum*, E.U.A., octubre 1993, 0018-9235.

HALLIDAY David & RESNICK Robert, *Fundamentos de Física*, versión ampliada, (Alejandro Félix Estrada), México, Compañía Editorial Continental S.A. de C.V., 1987.

HAYT William H., *Teoría Electromagnética*, (Ing. Herbert Russell), México, McGraw Hill/ Interamericana, 1988.

International Solar Energy Society, *Solar Energy Solutions for an Environmentally Sustainable World*, United Nations Conference on Environment and Development, U.S.A., 1992.

KALYAN Jana, *Battery Application Handbook*, Hawker Energy Products Inc., U.S.A., 1994.

KOMP Richard, *Practical Photovoltaic*, electricity from solar cells, E.U.A., Aatec Publications, 1989, (2a Ed.).

KREUTZFELDT Richard, OHNACKER, "Maintenance of Electrical Equipment", E.U.A., 1993.

MARSH Douglas, "The Phoenix 500, a touch of panic in the battle of batteries", *Solar Mind*, E.U.A., junio-julio 1992.

MAYCOCK Paul & STIREWALT Edward, *A Guide to the Photovoltaic Revolution*, sunlight to electricity in one step, E.U.A., Rodale Press, 1985.

NESEA, *Sustainable Transportation, Solar and Electric Vehicles 94*, Doe, U.S.A., 1994.

NESEA, *Transportation Alternatives 92*, alternative fueled vehicles, E.U.A., U.S. Department of Energy, 1992, volume II.

Northeast Sustainable Energy Association (NESEA), *S/EV 92 Solar and Electric Vehicles*, E.U.A., U.S. Department of Energy, 1992, volume I.

PEMEX, *Anuario estadístico 1994*, México, 1994.

PEMEX, *Memoria de Labores 1993*, México, Marzo de 1994.

RAMIREZ PARRA Jorge, "Criterios de Selección de Baterías Alcalinas para Instalaciones Eléctricas", *Revista Mexicana del Petróleo*, México, marzo-abril, 1992.

RIEZENMAN Michael, "Electric Vehicles", *IEEE Spectrum*, E.U.A., 0018-9235, 1992, November 1992.

SAE, *GM Sunraycer Case History*, E.U.A., SAE, 1992 (2a Ed.).

SAE, U.S. DoE & USABC, "Battery and Electric Vehicle Update", *Automotive Engineering*, E.U.A., September 1992, 0098-2571, volume 100, number 9.

SAE, U.S. DoE, "Fuel Cells: an Overview", *Automotive Engineering*, E.U.A., April 1992, volume 100, number 4.

SHAEFFER John, *Alternative Energy Sourcebook*, E.U.A., Real Goods, 1992, (7a Ed.).

SOLAREX, "Discover the World Newest Power", E.U.A., 7202-1, enero 1992.

STRONG Steven & SCHELLER William, *The Solar Electric House, energy for the environmentally-responsive home*, E.U.A., Sustainability Press, 1991.

TAPLEY Byron, *Eshbach's Handbook of Engineering Fundamentals*, E.U.A., Wiley Interscience, 1990, (4a Ed.)

UCS, "Alternative Transportation Fuels", E.U.A., Julio 1990.

UCS, "Cool Energy the Renewable Solution to Global Warming", E.U.A., Mayo 1991.

UCS, "Energy on the Road, Transportation and the Environment", E.U.A., December 1990.

UCS, "How you can fight Global Warming", E.U.A., Julio 1992.

UCS, "Metro Vehicle Fuel Efficiency and Global Warming", E.U.A., mayo 1991.

UCS, "Nuclear Power, Past and Future", E.U.A., octubre 1990.

UCS, "The Global Warming Debate, Answers to Controversial Questions", E.U.A., marzo 1990.

Union of Concerned Scientists (UCS), "Solar Power for Today and Tomorrow", E.U.A., mayo 1992.

Unique Mobility Inc., "DR086s/CR10-100 Installation and Operating Instructions", E.U.A. 1992.

WAKEFIELD Ernest, History of the Electric Automobile, SAE, U.S.A.1994.

WILSON G. Howard, McCREADY Paul & KYLE Chester, "Lessons of Sunrayer", Scientific American, E.U.A., marzo 1989.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN