

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE VEHÍCULO
EXPERIMENTAL DE 40 Wp. CON ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**DIEGO SEBASTIAN BENAVIDES GALARZA
JAIME ARTURO GUILLÉN PALACIOS**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA
CODIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ**

**Abril 27, 2009
Sangolquí - Ecuador**

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE VEHICULO EXPERIMENTAL DE 40 Wp. CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**” fue realizado en su totalidad por Diego Sebastián Benavides Galarza y Jaime Arturo Guillén Palacios, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba

Ing. José Pérez

Sangolquí, 27 de Abril de 2009

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE VEHICULO EXPERIMENTAL DE 40 Wp. CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ELABORADO POR:

Diego Sebastián Benavides Galarza

Jaime Arturo Guillén Palacios

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Emilio Tumipamba
DIRECTOR DE LA CARRERA DE ING. MECÁNICA

Sangolquí, 27 de Abril de 2009

DEDICATORIA

Este proyecto de grado lo dedico primeramente a mis padres: José Antonio Benavides B. y María Magdalena Galarza V. por su gran apoyo en toda mi vida además de brindarme la libertad de escoger que camino seguir; por su incansable manera de trabajar para dar todo a cambio del desarrollo físico, moral, intelectual y sentimental de sus hijos.; por todos los grandes valores, el cariño y amor que nunca ha cambiado y ha sido la base para la unión de mi familia. Dedico también este proyecto a mis hermanos María Fernanda e Iván que cada uno con su conocimiento, experiencia y cariño han sabido darme el apoyo y el más acertado consejo. Y por último dedico también este proyecto de tesis a mi negrita Daisy quien en estos últimos años se ha convertido en mi gran apoyo, fortaleza e inspiración. Y que por más problemas que existan siempre será una alegría estar a su lado con todo el cariño y amor que nos une.

Diego S. Benavides G.

Dedico este proyecto de tesis a mi familia: a mis padres, quienes han sido los responsables por mi formación, quienes han sabido brindarme su amor, su apoyo y su confianza en los momentos buenos y, especialmente en los malos; a mi hermana cuyas palabras de ánimo y apoyo han logrado levantarme en los momentos en que las cosas parecían dificultarse; y al resto de mi familia, ya que siempre me han demostrado su cariño y la confianza que tenían puesta en mí.

Debo también dedicar este trabajo a todos mis amigos y compañeros de carrera, ya que la ayuda que de una u otra manera me han brindado ha hecho más fácil y placentero mi paso por esta prestigiosa universidad.

Jaime A. Guillén P.

AGRADECIMIENTO

En este proyecto, existen muchas personas las cuales fueron de gran ayuda en el desarrollo del mismo, enviamos el más sincero agradecimiento a los Ingenieros José Guásumba C. y José Pérez R., por su innegable ayuda y gran apoyo en el proyecto, buscando en nosotros el desarrollo y la aplicación de la Ingeniería Mecánica. También agradecemos a la carrera de Ingeniería Mecánica, a sus profesores, compañeros y el personal administrativo por siempre tener un trato de camaradería y compañerismo que destaca a los que conformamos esta carrera. Agradecemos también al Sr. Humberto Bernis del laboratorio de mantenimiento eléctrico de la ESPE por su valiosísima ayuda en la parte eléctrica y electrónica del vehículo y su amistad.

Enviamos también nuestros agradecimientos a nuestros familiares, amigos y a todos los que siempre han estado apoyándonos y dándonos el empuje para seguir adelante.

Diego S. Benavides G.

Jaime A. Guillén P.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	III
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	XVI
INDICE DE TABLAS.....	XXIII
RESÚMEN.....	XXVIII
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
CAPÍTULO 1	1
GENERALIDADES.	
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Problemas energéticos en la transportación.....	2
1.1.1.1 Tipos de transporte.....	3
1.1.1.2 Consumo energético.....	15
1.1.1.3 Contaminación ambiental.....	15
1.1.1.4 Recursos energéticos.....	50

1.1.2	Tecnologías de propulsión de vehículos.....	71
1.1.2.1	Motores de combustión interna.....	71
1.1.2.2	Impulsión con hidrógeno.....	78
1.1.2.3	Motores de vapor.....	83
1.1.2.4	Motores a reacción.....	86
1.1.2.5	Sistemas de propulsión híbridos.....	97
1.1.2.6	Sistemas fotovoltaicos.....	106
1.2	Definición del problema.....	107
1.3	Objetivos.....	108
1.3.1	Objetivo general.....	108
1.3.2	Objetivos específicos.....	108
1.4	Alcances y limitaciones.....	108
1.4.1	Alcances.....	109
1.4.2	Limitaciones.....	109
1.5	Justificación e importancia.....	109
1.5.1	Justificación.....	109
1.5.2	Importancia.....	110
CAPÍTULO 2.....		111
MARCO TEÓRICO		
2.1	Definiciones.....	111
2.2	Energía solar.....	112
2.2.1	Radiación solar.....	113

2.2.2	Medidores de radiación.....	115
2.2.2.1	Piranómetro.....	115
2.2.2.2	Pirheliómetro.....	116
2.2.2.3	Pirheliógrafo.....	116
2.2.2.4	Actinógrafo.....	117
2.2.2.5	Heliógrafo.....	118
2.2.3	Tipos de radiación solar.....	118
2.3	Conversión fotovoltaica.....	120
2.3.1	Conducción eléctrica.....	120
2.3.2	Semi-conductores.....	122
2.3.2.1	Tipos de semi-conductores.....	123
2.3.3	Celdas o células solares.....	127
2.3.3.1	Paneles fotovoltaicos.....	129
2.4	Rendimiento de sistemas fotovoltaicos.....	130
2.4.1	Rendimiento de acuerdo al material.....	130
2.5	Curvas de funcionamiento.....	132
2.6	Modelos de vehículos impulsados con energía solar fotovoltaica.	135
CAPÍTULO 3.....	139	
 DISEÑO DEL VEHÍCULO		
3.1	Esbozo del diseño del vehículo.....	145
3.1.1	Cinsideraciones iniciales.....	145
3.1.2	Tipos de estructuras aplicables a vehículos solares.....	146
3.1.3	Carrocería a utilizarse en el modelo de vehículo solar.....	151

3.2	Diseño estructural.....	156
3.2.1	Diseño estructural en CAD (diseño asistido por computadora). ...	156
3.3	Diseño Mecánico.....	169
3.3.1	Consideraciones iniciales en el diseño mecánico.....	170
3.3.2	Reductor de velocidad (Transmisión).....	174
3.3.3	Prestaciones del vehículo y cálculo de rueda.....	179
3.3.3.1	Cálculo de rueda.....	180
3.3.3.2	Prestaciones del vehículo.....	181
3.3.4	Eje delantero.....	192
3.4	Diseño fotovoltaico.....	200
3.4.1	Cálculo de las eficiencias del panel fotovoltaico.....	200
3.4.1.1	Eficiencia teórica.....	200
3.4.1.2	Eficiencia de operación.....	201
3.4.2	Análisis de la demanda energética del sistema.....	202
3.4.3	Cálculo de la eficiencia total del sistema.....	203
3.4.4	Irradiación incidente promedio.....	204
3.4.5	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	205
3.5	Diseño eléctrico.....	208
3.5.1	Desarrollo diseño eléctrico.....	208
3.5.2	Memoria de cálculo.....	210
3.5.2.1	Datos.....	210
3.5.2.2	Formulas.....	211

CAPÍTULO 4.....	213
------------------------	------------

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 Materiales y Accesorios.....	213
4.1.1 Materiales.....	213
4.1.2 Accesorios.....	216
4.2 Recursos humanos.....	217
4.2.1 Bastidor del vehículo.....	217
4.2.2 Eje delantero.....	217
4.2.3 Soporte plástico y ensamble eje posterior (tracción).....	218
4.2.4 Carrocería delantera , posterior y laterales.....	218
4.2.5 Sistema de mando y control remoto.....	218
4.2.6 Sistema fotovoltaico.....	218
4.2.7 Sistema eléctrico y panel de instrumentos.....	219
4.2.8 Ensamble general del vehículo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.....	219
4.2.9 Pruebas de sistemas, pruebas del vehículo, comprobaciones y medidas.....	219
4.3 Conformado de materiales y ensamblaje de piezas.....	220
4.3.1 Máquinas, herramientas y equipos.....	220
4.3.1.1 Máquinas.....	220
4.3.1.2 Herramientas.....	221
4.3.1.3 Equipos.....	223

4.3.2	Conformado y ensamblaje del bastidor del vehículo.....	223
4.3.2.1	Sección N° 1.....	224
4.3.2.2	Sección N° 2.....	226
4.3.2.3	Sección N° 3.....	228
4.3.3	Conformado y ensamblaje del eje delantero.....	231
4.3.3.1	Conformado del eje delantero.....	232
4.3.3.2	Ensamblaje del eje delantero.....	234
4.3.4	Conformado y ensamblaje del soporte plástico y el eje posterior..	235
4.3.4.1	Conformado del soporte plástico.....	235
4.3.4.2	Ensamblaje del soporte plástico y el eje posterior.....	235
4.3.5	Conformado y ensamblaje de la carrocería delantera, posterior y laterales.....	236
4.3.5.1	Conformado de la carrocería del vehículo.....	236
4.3.5.2	Ensamblaje de la carrocería del vehículo.....	237
4.3.6	Ensamblaje del sistema de mando y control remoto.....	238
4.3.7	Ensamblaje del sistema fotovoltaico.....	239
4.3.8	Conformado y ensamble del panel de instrumentos y sistema eléctrico.	241
4.3.8.1	Conformado del panel de instrumentos.....	241
4.3.8.2	Ensamble del panel de instrumentosd y circuito eléctrico.....	242
4.3.9	Ensamblaje general del vehículo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.....	243
4.4	Documentación técnica.....	244
4.4.1	Panel solar fotovoltaico.....	244
4.4.2	Controlador de carga y descarga.....	246
4.4.3	Bateria recargable.....	247
4.4.4	Sistema de mando y control remoto.....	248

4.4.5	Motor eléctrico.....	249
4.4.6	Planos.....	250
4.5	Organigrama de procesos.....	251
4.6	Criterios de seguridad industrial.....	252
4.6.1	Seguridad de trabajo.....	252
4.6.2	Técnicas de seguridad.....	252
4.6.3	Etapas de la actuación preventiva.....	254
4.6.4	Evaluación de los riesgos.....	255
4.6.5	Procesos de seguridad industrial aplicados al proyecto.....	255

CAPÍTULO 5..... 257

PRUEBAS DE OPERACIÓN

5.1	Consideraciones para las pruebas.....	257
5.2	Hojas de pruebas.....	258
5.2.1	Hoja de pruebas para recorrido en plano y sin peso.....	259
5.2.1.1	Hoja 1.....	259
5.2.1.2	Hoja 2.....	259
5.2.2	Hoja de pruebas para recorrido en plano y con peso.....	260
5.2.3	Hoja de pruebas para ascenso de pendientes.....	260
5.3	Parámetros de operación.....	261
5.4	Parámetros de operación.....	262
5.4.1	Datos de aceleración y velocidad máxima.....	262

5.4.2	Datos para cálculo de potencia (Radiaciones altas).....	263
5.4.3	Datos para cálculo de velocidad y aceleración llevando carga.....	264
5.4.4	Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie plana de asfalto y sin llevar carga.....	265
5.4.5	Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie de asfalto con pendiente de 5.24% (3°) y sin llevar carga.....	266
5.5	Parámetros de operación.....	266
5.5.1	Aceleración y velocidad máxima.....	267
5.5.2	Cálculo de potencia.....	270
5.5.3	Velocidad y aceleración bajo condiciones de carga.....	272
5.5.4	Velocidad y aceleración sobre superficie plana de asfalto y sin carga...	275
5.5.5	Velocidad y aceleración sobre superficie de asfalto con 5.24% (3°) de pendiente y sin carga.....	277
5.6	Seguridad operativa.....	279
5.7	Práctica recomendada para Laboratorio.....	281
 CAPÍTULO 6.....		 283
 ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO		
6.1	Análisis económico.....	283
6.1.1	Costos indirectos.....	284
6.1.1.1	Personal.....	284
6.1.1.2	Misceláneos.....	284
6.1.2	Costos directos.....	285
6.1.2.1	Remuneraciones a mano de obra externa.....	285

6.1.2.2	Remuneraciones a estudiantes.....	285
6.1.2.3	Materiales utilizados.....	285
6.1.2.4	Accesorios.....	287
6.1.2.5	Insumos.....	287
6.1.2.6	Otros costos indirectos.....	288
6.1.3	Total general.....	288
6.2	Análisis financiero.....	288
6.2.1	Financiamiento del proyecto.....	288
6.2.2	Entidades de financiamiento.....	289
6.2.3	Cronograma de desembolsos del proyecto.....	289
CAPÍTULO 7.....		291
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
7.1	Conclusiones.....	291
7.2	Recomendaciones.....	294
	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	297
	ANEXOS.....	299

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Contenido	Pág.
1.1	Locomotora a vapor.....	5
1.2	Locomotora diesel-eléctrica.....	5
1.3	Locomotora diesel-hidráulica.....	6
1.4	Locomotora eléctrica.....	6
1.5	Esquema de fuerzas magnéticas de suspensión.....	7
1.6	Tren de levitación magnética.....	7
1.7	El primer Mercedes Benz de 1886.....	9
1.8	El Mercedes Benz CL 65 AMG de 2008.....	9
1.9	Autobús de transporte de pasajeros.....	10
1.10	Vehículo de carga.	11
1.11	Galera impulsada por humanos.....	12
1.12	Embarcación de vela.....	12
1.13	Barco impulsado por rotor.....	13
1.14	El avión de los hermanos Wright.....	14
1.15	Avión propulsado con reactores.....	15
1.16	Variación de la temperatura atmosférica con la altitud. Se indican los nombres con que se designan las diversas formas.....	17
1.17	Variación de la temperatura de un volumen de aire que asciende, y del aire circundante.....	19
1.18	Porcentajes de emisiones de las cinco contaminantes principales, por sustancia y por fuente.....	29
1.19	Emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO _x) e hidrocarburos, en función de la relación aire combustible.....	31

1.20	Clases de estabilidad de la atmosfera.....	43
1.21	Valores de la dispersión horizontal (A) y de la vertical (B) en función de la distancia con respecto a la fuente.....	45
1.22	Colectares solares parabólicos que concentran la radiación solar aumentando temperatura en el receptor.....	56
1.23	Paneles solares que convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica.....	56
1.24	Una central eólica para generación de electricidad.....	57
1.25	Central eléctrica mareomotriz.....	58
1.26	Batería de paneles solares.....	60
1.27	Aerogenerador.....	63
1.28	Central hidroeléctrica.....	64
1.29	Cristal de silicio.....	69
1.30	Motor de dos tiempos.....	73
1.31	Motor a cuatro tiempos.....	75
1.32	Bomba de inyección diesel.....	76
1.33	Vista de un motor marino.....	77
1.34	Pila de hidrógeno.....	78
1.35	Esquema de funcionamiento de una pila de combustible.....	79
1.36	El Toyota FCHV PEM FC.....	82
1.37	Submarino Type 212 en el puerto.....	83
1.38	Motor a vapor de triple expansión.....	86
1.39	Pruebas de un motor turbofan.....	87
1.40	Motor de agua.....	87
1.41	Termorreactor.....	88
1.42	Turborreactor.....	88

1.43	Turbofan.....	89
1.44	Cohete.....	90
1.45.	Estatorreactor.....	91
1.46	Turbopropulsor.....	92
1.47	Propfan.....	92
1.48	Pulsorreactor.....	93
1.49	Scramjet.....	94
1.50	Turbocohete.....	95
1.51	Toyota Prius, un vehículo híbrido de gasolina y eléctrico.....	97
1.52	Vehículos híbridos en Expo 2005.....	98
1.53	Panel de información del vehículo híbrido Toyota Prius.....	100
1.54	Esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico.....	107
2.1	Distribución global de la radiación.....	113
2.2	Espectro electromagnético de la radiación solar.....	114
2.3	Piranómetro para medir radiación global.....	116
2.4	Pirheliómetro de cavidad absoluta, serie PMO – 6.....	116
2.5	Pirheliógrafo.....	117
2.6	Actinógrafo Fuess.....	117
2.7	Heliógrafo.....	118
2.8	Atenuación de la radiación solar por la atmósfera terrestre.....	119
2.9	Diagrama del modelo atómico de Bohr.....	120
2.10	Estructura de bandas de un semi-conductor.....	123
2.11	Dopaje de un semi-conductor tipo N.....	126
2.12	Dopaje de un semi-conductor tipo P.....	127
2.13	Esquema básico de una célula fotovoltaica.....	128

2.14	Panel solar o módulo fotovoltaico.....	129
2.15	Curvas experimentales I-V (amarillo)/P-V (rojo), obtenidas de un ensayo.....	133
2.16	Curva i-V característica de un panel para una irradiancia (E) y una temperatura (T) dadas.....	133
2.17	Esquema de referencias utilizadas en distintos ensayos.....	134
2.18	El Koenigsegg Quant.....	135
2.19	El Peugeot Shoo.....	136
2.20	El Italdesign Giugiaro Quaranta.....	136
2.21	El Mercedes-Benz de Fórmula Cero.....	137
2.22	El Astro Solo.....	138
2.23	El 1987 GM Sunraycer.....	138
2.24	El SEAT Brisa.....	133
2.25	El Six 50.....	136
2.26	El Lotus Elise Eco.....	140
2.27	El Enigma.....	140
2.28	El energy – powered de Volvo.....	141
2.29	El Eve.....	141
2.30	El Nuna4.....	142
3.1	a) Vista dimétrica del bastidor semi – monocasco, b) Vista isométrica del bastidor semi – monocasco.....	152
3.2	a) Vista dimétrica del bastidor en estructura espacial, b) Vista isométrica del bastidor en estructura espacial.....	153
3.3	Ensamble del bastidor del vehículo.....	156
3.4	Numeración y posición de los elementos de la estructura espacial.....	158
3.5a	Distribución de factor de seguridad según criterio de Von Mises en la estructura espacial.....	167

3.5b	Distribución de factor de seguridad según criterio del esfuerzo cortante máximo en la estructura espacial.....	168
3.6	Tensiones estáticas en la estructura.....	168
3.7	Desplazamientos de la estructura.....	169
3.8	Deformaciones unitarias en la estructura.....	169
3.9	Esquema de diseño del reductor de velocidad.....	175
3.10	a) Distribución de cargas en un engrane recto b)cargas hipotéticas en un diente.....	177
3.11	Ruedas para el vehículo.....	174
3.12	Ángulo de ataque.....	184
3.13	Diagrama de fuerzas actuantes sobre el vehículo en una curva....	186
3.14	Gráfica Tabla 3.24 y línea de tendencia.....	189
3.15a	Distribución de factor de seguridad según criterio de Von Mises en el eje delantero.....	198
3.15b	Distribución de factor de seguridad según criterio del esfuerzo cortante máximo.....	198
3.16	Tensiones estáticas en el eje delantero.....	199
3.17	Desplazamientos del eje delantero.....	199
3.18	Deformaciones unitarias en el eje delantero.....	200
4.1	a) Vista explosionada de la sección superior del bastidor, b) Foto sección superior bastidor terminada.....	225
4.2	a) Vista explosionada de la sección inferior del bastidor, b) Foto sección inferior bastidor terminada.....	227
4.3	Colocación de remaches entre perfil y placa plástica.....	228
4.4	Piezas para unir de la sección 3.....	228
4.5a	Vista explosionada de la sección de unión del bastidor con la sección....	229

4.5b	Foto sección de unión bastidor ensamblada con la sección superior e inferior.....	230
4.6	Eje delantero.....	231
4.7	Piezas que compone el eje.....	232
4.8	a) y b) Vista de los ejes individuales ensamblados, c) vista explosionada del ensamblaje de los ejes individuales.....	234
4.9	Ensamblaje de la placa de soporte y transmisión.....	236
4.10	Carrocería delantera y posterior.....	237
4.11	Ensamble de carrocerías delantera y posterior.....	237
4.12	Montaje de adhesivos en laterales del vehículo – vehículo terminado.....	238
4.13	Sistema de mando y control de mando del vehículo.....	239
4.14	Posición del panel fotovoltaico.....	239
4.15	Posición del controlador de carga y descarga.....	240
4.16	a) Compartimento de batería, vista superior, b) Compartimento de batería, vista inferior.....	240
4.17	Perforación de la placa de acrílico para el panel de instrumentos.	242
4.18	Panel de Instrumentos.....	242
4.19	Posición del panel de Instrumentos.....	243
4.20	Bornera de conexiones.....	243
4.21	Curva intensidad voltaje del panel.....	245
4.22	Esquema del controlador de carga y descarga.....	246
4.23	Curva de carga de la batería.....	248
4.24	Implementos de seguridad.....	253
5.1	Irradiación y temperatura de panel vs. Velocidad máxima.....	269
5.2	Irradiación y temperatura de panel vs. Aceleración.....	270
5.3	Potencia y torque vs. Irradiación.....	271

5.4	Potencia y torque vs. Temperatura de panel.....	271
5.5	Irradiación y carga vs. Velocidad.....	273
5.6	Temperatura de panel y carga vs. Velocidad.....	273
5.7	Irradiación y carga vs. Aceleración.....	274
5.8	Temperatura de panel y carga vs. Aceleración.....	275
5.9	Irradiación y temperatura de panel vs. Velocidad. (Asfalto).....	276
5.10	Irradiación y temperatura de panel vs. Aceleración. (Asfalto).....	277
5.11	Irradiación y temperatura de panel vs. Velocidad. (Pendiente).....	278
5.12	Irradiación y temperatura de panel vs. Aceleración. (Pendiente)....	279

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	Contenido	Pág.
1.1	Locomotora a vapor.....	5
1.1	Composición de un aire no contaminado.....	16
1.2	Radiaciones electromagnéticas.....	20
1.3	Características de los principales contaminantes del ozono.....	24
1.4	Constituyentes del particulado.....	26
1.5	Emisiones anuales y porcentaje de los cinco principales contaminantes, divididos por fuente.....	29
1.6	Emisiones de un motor de combustión interna.....	31
1.7	Emisiones de vehículos.....	34
1.8	Características principales de los tipos de smog.....	36
1.9	Tipos de motor a reacción.....	87
2.1	Instrumentos metereológicos de medidas de la radiación.....	115
2.2	Técnica Estadística Técnica del Nuna 4.....	143
3.1	Pesos del bastidor.....	152
3.2	Tipos de unión.....	154
3.3	Propiedades del estudio de estructura espacial.....	157
3.4	Unidades utilizadas en el estudio de la estructura espacial.....	157
3.5	Propiedades físicas de los elementos de la estructura espacial..	158
3.6	Aluminio 6063 T52.....	160
3.7	Acero AISI 1020.....	160
3.8	Plástico PP Copolimero.....	161
3.9	Acero AISI 1020 laminado en frío.....	161

3.10	Cargas en la estructura espacial.....	162
3.11	Restricciones en la estructura espacial.....	162
3.12	Información de malla en la estructura espacial.....	163
3.13	Fuerzas de reacción de la estructura espacial.....	163
3.14	Fuerzas de cuerpo libre de la estructura espacial.....	163
3.15	Momentos de cuerpo libre de la estructura espacial 158.....	164
3.16	Resultados predeterminados en el análisis de la estructura espacial....	166
3.17	Factores de seguridad del diseño de la estructura espacial.....	167
3.18	Peso total del vehículo.....	170
3.19	Fuerzas y torques aplicados en los engranajes.....	176
3.20	Factores de servicio (Cs).....	178
3.21	Factor de forma (Y).....	178
3.22	Propiedades de la poliamida (Nylon).....	179
3.23	Esfuerzos obtenidos y factores de seguridad.....	179
3.24	Valores de los coeficientes de resistencia al deslizamiento transversal...	182
3.25	Propiedades del estudio del eje delantero.....	192
3.26	Unidades utilizadas en el estudio del eje delantero.....	193
3.27	Propiedades físicas de los elementos del eje delantero.....	193
3.28	Acero AISI 1020.....	194
3.29	Acero AISI 1020 laminado en frío.....	194
3.30	Restricción en el eje delantero.....	195
3.31	Carga en el eje delantero.....	195
3.32	Información de malla en el eje delantero.....	195
3.33	Fuerzas de reacción en el eje delantero.....	196
3.34	Fuerzas de cuerpo libre en el eje delantero.....	196

3.35	Momentos de cuerpo libre en el eje delantero.....	196
3.36	Resultados predeterminados en el eje delantero.....	197
3.37	Factores de seguridad del diseño en el eje delantero.....	197
3.38	Tabulación de datos para cálculo energético.....	202
4.1	Materiales.....	213
4.2	Accesorios.....	216
4.3	Horas hombre. Diseño y construcción del bastidor del vehículo..	217
4.4	Horas hombre. Diseño, construcción y montaje del eje delantero.....	217
4.5	Horas hombre. Diseño, construcción y montaje de soporte plástico y ensamble eje posterior (tracción).....	218
4.6	Horas hombre. Diseño, construcción y montaje carrocería delantera, posterior y laterales.....	218
4.7	Horas hombre. Adaptación y montaje sistema de mando y control remoto.....	218
4.8	Horas hombre. Diseño, ensamblaje y montaje del sistema fotovoltaico....	218
4.9	Horas hombre. Diseño, ensamblaje y montaje del sistema eléctrico y panel de instrumentos.....	219
4.10	Horas hombre. Ensamble general del vehículo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.....	219
4.11	Horas hombre. Pruebas de sistemas, pruebas del vehículo, comprobaciones y medidas.....	219
4.12	Máquinas.....	220
4.13	Herramientas.....	220
4.14	Equipos.....	223
4.15	Procesos de conformado de la sección superior del bastidor.....	224
4.16	Procesos de ensamble sección superior del bastidor.....	225
4.17	Procesos de conformado de la sección inferior del bastidor.....	226
4.18	Procesos de ensamble sección inferior del bastidor.....	227

4.19	Procesos de conformado de la sección de unión del bastidor.....	229
4.20	Procesos de ensamble sección de unión del bastidor.....	230
4.21	Procesos de conformado del eje delantero (individual).....	232
4.22	Procesos de conformado de la carrocería del vehículo.....	236
4.23	Procesos de conformado del panel de instrumentos.....	241
4.24	Especificaciones panel solar fotovoltaico.....	244
4.25	Especificaciones técnicas de controlador de carga y descarga...	246
4.26	Especificaciones técnicas de la batería recargable.....	247
4.27	Especificaciones técnicas del sistema del control remoto.....	248
4.28	Especificaciones técnicas del sistema de mando.....	249
4.29	Especificaciones técnicas del motor.....	249
4.30	Planos del conformado y ensamblaje del vehículo.....	250
5.1	Hoja de pruebas para determinar velocidades máximas – mínimas y aceleraciones.....	259
5.2	Hoja de pruebas para determinar la velocidad media y la aceleración en el arranque sobre superficies planas y sin carga.	259
5.3	Hoja de pruebas para recorrido plano y con peso.....	260
5.4	Hoja de pruebas para ascenso de pendientes.....	260
5.5	Parámetros de operación.....	261
5.6	Datos para cálculo de aceleración y velocidad máxima- mínima.....	263
5.7	Datos para cálculo de la potencia.....	264
5.8	Datos para el cálculo de la aceleración y la velocidad llevando carga...	265
5.9	Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie plana de asfalto y sin llevar carga.....	266
5.10	Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie de asfalto con pendiente de 5.24% (3°) y sin llevar carga.....	266

5.11	Valores de las velocidades máximas obtenidas a lo largo de 25 m. de recorrido.....	267
5.12	Aceleraciones obtenidas en cada recorrido de 25 m.....	269
5.13	Torque y potencia mecánica obtenida respecto a la irradiación...	270
5.14	Torque y potencia respecto a la temperatura superficial del panel..	271
5.15	Valores de velocidad respecto a la masa y bajo las condiciones de radiación solar y temperatura de superficie del panel mencionadas..	272
5.16	Valores de aceleración respecto a la masa y respecto a las condiciones de irradiación solar y temperatura de superficie del panel indicadas.....	274
5.17	Velocidad promedio sobre superficie de asfalto.....	275
5.18	Aceleración obtenida sobre superficie de asfalto.....	276
5.19	Velocidad media durante el ascenso de una pendiente del 5.24%..	277
5.20	Aceleración durante el ascenso de una pendiente de 5.24%.....	278
6.1	Costos de personal.....	284
6.2	Misceláneos.....	284
6.3	Remuneraciones a mano de obra externa.....	285
6.4	Remuneraciones a estudiantes.....	285
6.5	Costos materiales.....	286
6.6	Costos accesorios.....	287
6.7	Costos insumos.....	287
6.8	Otros costos indirectos.....	288
6.9	Financiamiento del proyecto.....	289
6.10	Financiamiento del proyecto.....	289
6.11	Cronograma de desembolsos del proyecto.....	290

RESÚMEN

Este proyecto de grado se enfoca en desarrollar un vehículo propulsado con energía solar fotovoltaica, tomando en cuenta todos los criterios que brinda la mecánica para su diseño, fabricación y experimentación. Este es un vehículo a mediana escala el cual permite comparar los medios energéticos de propulsión y dar la posibilidad de que a base de este se puedan desarrollar vehículos con mejores prestaciones y capacidades.

En el desarrollo se tomo en cuenta tres aspectos principales que se debe tener en vehículos con energía solar fotovoltaica que son: el peso, la rigidez de la estructura y el medio de obtención de energía, de estos se derivan varios otros aspectos como forma, materiales, capacidades, elementos y accesorios auxiliares, procesos de conformado y ensamblaje, etc.

Todas las características como velocidades, aceleraciones, capacidad de carga, pendiente de ascenso e inclusive radio de curvatura se las toma en cuenta y se presenta un medio de cálculo y prueba, aunque el vehículo en lo que se refiere a la capacidad de curvar no lo realizará por baja potencia y solo andará en dos direcciones: para adelante y en reversa por medio de un sistema de control remoto.

Por último con este vehículo se busca dar alternativas energéticas que atenten de menor manera con la contaminación existente y se pueda reducir las emisiones a la atmosfera.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta los altos índices de contaminación actuales, y que además estos son producidos en gran medida por los vehículos de transporte, se busca determinar la factibilidad de diseño fabricación de un modelo de vehículo no tripulado propulsado por energía solar fotovoltaica .

Antes, para llegar a estos términos ha sido necesaria realizar una investigación referente a los problemas energéticos derivados de la transportación. Esto quiere decir, definir los tipos de transporte que se utilizan regularmente, describir sus principales características, comprender sus defectos, etc. de modo que sea posible establecer el porcentaje de participación que tienen estos tipos de transporte convencional sobre la actual situación ecológica en que estamos viviendo.

Todo este análisis permite enfocarse en el desarrollo de nuevas propuestas en el campo de la transportación, utilizando tecnologías con base en la explotación responsable de los recursos energéticos, así como en la utilización de energías limpias que actualmente han ganado terreno pero que aún están siendo subutilizadas.

El siguiente paso ha sido considerar las tecnologías convencionales de propulsión de vehículos para tener una referencia acerca de las prestaciones requeridas en un vehículo de transporte, ya que es de vital importancia relacionar las especificaciones existentes de vehículos propulsados por energías convencionales con las del modelo de vehículo propulsado por energía solar

Antes de emprender la aplicación de la energía solar fotovoltaica, ha sido necesario realizar un estudio acerca de los factores que la producen, de los materiales que intervienen en la conversión fotovoltaica y de cómo estos influyen en la eficiencia energética resultante, de las aplicaciones que tiene la

energía solar y de cómo se debe dimensionar e implementar un sistema de este tipo.

Una vez analizados los factores energéticos requeridos, se diseñó el vehículo propiamente dicho, y para este efecto se recurrió a los procedimientos de diseño regularmente definidos por la ingeniería automotriz para el diseño de un automóvil convencional. Esto quiere decir escoger una configuración de chasis que vaya de acuerdo con los requerimientos de mínimo peso y gran resistencia (se utilizó una estructura espacial de aluminio que brinda el mínimo peso y gran resistencia), especificar la potencia del motor en función de la potencia disponible (suministrada por el panel solar) y el peso total de la configuración escogida, dimensionar un tren motriz (motor, reductor de velocidades y ruedas) en función de los requerimientos de peso, velocidad y capacidad de carga.

Para el diseño del vehículo se requiere no solo de la parte mecánica sino también de todos los accesorios necesarios para su funcionamiento, por esta razón fue necesario hacer un diseño de la parte eléctrica y la parte fotovoltaica que no son menos importantes que el diseño mecánico y estructural.

En la fase de construcción se siguieron las especificaciones determinadas en el diseño, se respetaron criterios de seguridad industrial y se documentaron los procesos efectuados a través de planos, cuadros, tablas e imágenes.

Con el vehículo terminado fue posible avanzar a la etapa de pruebas de campo, la cual es la etapa más definidora y crítica del proyecto, ya que en base a los resultados obtenidos ha sido posible concluir y emitir un criterio de las falencias y beneficios que tiene la utilización de la energía solar fotovoltaica como alternativa frente a las fuentes de energía convencional.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

Debido a los altos índices de contaminación actuales, producto de la utilización de combustibles fósiles y energías no renovables, se ha visto la necesidad de buscar alternativas de energía limpia, las cuales ayuden a disminuir o controlar dichos índices y se puedan aplicar de manera eficiente y económica, sin disminuir las exigencias tecnológicas actuales de la sociedad.

Los principales problemas que se suscitan del uso de energéticos convencionales y derivados de petróleo es el aumento incontrolado de su demanda, el decremento en las reservas petrolíferas y el consecuente aumento de precios. Además, la combustión de carbón, petróleo y gasolina es el origen de buena parte de los contaminantes atmosféricos. Más de un 80% del dióxido de azufre, un 50% de los óxidos de nitrógeno, y de un 30 a un 40% de las partículas en suspensión emitidos a la atmósfera proceden de las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles, las calderas industriales y las calefacciones. Un 80% del monóxido de carbono y un 40% de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos proceden de la combustión de la gasolina y el gasóleo en los motores de los coches y camiones.

El mundo desarrollado acepta mal los fallos de suministro energético, el consumo de energía sigue creciendo con implicaciones para el medio ambiente y la preservación de recursos para futuras generaciones. La preocupación por la preservación de recursos ha motivado el concepto de desarrollo sostenible. El desarrollo sostenible ha de lograrse en un contexto caracterizado por la liberación e integración de los mercados, por la tendencia a la globalización de las economías y por el gran reto que supone el control y la contención del cambio climático.

La Agencia Internacional de Energía dice que la demanda de energía en el mundo va a aumentar casi un 60% para 2030, en relación a los parámetros de 2002, y que la mayoría del suministro aún dependerá de las reservas de hidrocarburos.

Las energías provenientes del petróleo han ido en aumento año tras año, y la eléctrica es una de las formas que crecen más rápidamente. Como ejemplo de la progresión, en las últimas dos décadas del siglo XX Estados Unidos de América generó una demanda del 300% al 400%. Si anualmente creciese la demanda un 5%, sería preciso duplicar los abastecimientos cada 15 años aproximadamente.

Una de las principales fuentes de contaminación es la generada por la industria automotriz, donde su objetivo es vender más vehículos, no cuidar la ecología. Es por esta razón que es necesario desarrollar vehículos con bajos niveles de contaminación y prestaciones aceptables, lo que se puede lograr mediante el uso de la energía solar. Por otra parte, es necesario también que este tipo de energías brinden un costo de operación razonable y permitan a la vez un desarrollo progresivo y continuo de las mismas.

1.1.1 Problemas energéticos en la transportación.

En el Ecuador existe un gran problema energético en la transportación ya que el total de energías secundarias utilizadas por este sector como son: Gasolina, Nafta 90, Diesel 2, Premium y Aero-Combustibles cuyo valor alcanza 4448 en miles de TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo), este sector consume 3929 miles de TEP lo que representa el 88,33 % del consumo nacional de acuerdo al balance energético del 2005 comparado con un 49% en el año 1990 de acuerdo al ministerio de energías y minas. Lo que indica un alza significativa de consumo y esto afecta a otros sectores como la industria, la pesca, los

servicios públicos y privados y al área residencial que también ocupa estas energías. Y la causa de esto es la disminución de las reservas petrolíferas, el aumento de las importaciones de los derivados y consecuentemente el aumento de los precios. Además el sector de la transportación genera contaminación por emanación de gases. En un parque automotor aproximado de 867666 vehículos en el 2005, de acuerdo al ministerio de transporte y obras públicas, se tiene que un vehiculo en promedio produce 2g de óxidos de nitrógeno, lo que equivale a 1735,332Kg. de óxidos de nitrógeno por cada kilómetro que recorran estos vehículos. ¹La emisiones de oxido de nitrógeno en el ecuador hasta el 2006 fueron de 234,92 Gg. de acuerdo a la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Si este parque automotor recorre aproximadamente 100Km diarios en el año emitiría 33,40Gg lo que representa el 27% de las emisiones.

Todo lo indicado anteriormente es motivo de preocupación debido al alto crecimiento del parque automotor así como al alto costo y al desabastecimiento de combustibles que obliga a buscar otros medios energéticos renovables que ayuden a un mejoramiento y disminución de contaminantes, para no terminar en la desaparición del ecosistema de nuestro planeta y de la humanidad.

1.1.1.1 Tipos de transporte.

Para dar una clasificación del transporte en nuestro país vamos a dividirlos dependiendo del medio donde se desarrollan en tres partes:

- Transporte Terrestre
- Transporte Marítimo y Fluvial
- Transporte Aéreo

¹ Datos obtenidos de www.olade.org.ec, año 2005.

a) Transporte terrestre

El transporte terrestre es aquel que se realiza sobre la corteza terrestre excluyendo ríos, mares y océanos. La mayoría de transportes terrestres se basan en el uso de la rueda y de motores de combustión interna o externa. Estos utilizan un gran porcentaje de las energías, en mayor parte la obtenida de la refinación del petróleo. Dentro de este tipo de transporte tenemos:

I. Transporte ferroviario

Es el sistema de transporte terrestre guiado sobre carriles o rieles de cualquier tipo, aunque normalmente se entiende que los rieles son de acero o hierro, que hacen el camino o vía férrea sobre la cual circulan los trenes. Dentro de esta clasificación se incluyen medios de transporte que emplean otros tipos de guiado, tales como los trenes de levitación magnética.

Su desarrollo se produjo en la primera mitad del siglo XIX como parte de la II Revolución industrial, haciendo uso de la ventaja más técnica que supone el bajo coeficiente de rodadura metal sobre metal del orden de 3 por 1000 y muy inferior al coeficiente de rodadura sobre carretera, lo que causó una transformación completa de la sociedad al permitir el transporte de personas comunes y mercaderías a un bajo costo y en forma regular y segura.

Se trata de un transporte con ventajas comparativas en ciertos aspectos, tales como el consumo de combustible por tonelada kilómetro transportado, la entidad del impacto ambiental que causa o la posibilidad de realizar transportes masivos, que hacen relevante su uso en el mundo moderno. El transporte en ferrocarril estuvo siempre en competencia con el transporte marítimo o por agua pero el ferrocarril obtuvo un mejor repunte debido a su facilidad de construcción y ampliación y podía ser utilizado en zonas montañosas.

En la actualidad existen muchas variaciones del ferrocarril, las que dependen básicamente de la manera como funciona la locomotora que es la encargada de brindar el movimiento. El movimiento de esta depende de la energía que utiliza, así tenemos:

- **Locomotora a vapor:**

Una locomotora de vapor es una máquina que combustiona un elemento (carbón o fuel - oil) en una caldera externa, calienta agua y el vapor resultante de esta genera presión y mueve pistones que impulsan las ruedas mediante un juego de bielas (por esta razón se llaman motores de combustión externa).



Figura 1.1 Locomotora a vapor.²

- **Locomotoras diesel-eléctricas:**

Las locomotoras diesel-eléctricas consisten en un motor diesel que mueve un generador eléctrico y varios motores eléctricos (conocidos como motores de tracción) que comunican a las ruedas (pares) la fuerza tractiva que mueve a la locomotora.



Figura 1.2 Locomotora diesel-eléctrica.³

² www.wikipedia.org

³ www.turismo.gov.ec

- **Locomotoras diesel-hidráulicas:**

Las locomotoras diesel-hidráulicas utilizan un sistema de turbinas hidráulicas acopladas entre sí.



Figura 1.3 Locomotora diesel-hidráulica.⁴

- **Locomotoras eléctricas:**

Las locomotoras eléctricas son aquellas que utilizan como fuente de energía la energía eléctrica proveniente de una fuente externa, para aplicarla directamente a motores de tracción eléctricos.



Figura 1.4 Locomotora eléctrica.⁵

⁴ www.wikipedia.org

⁵ www.telcom.es

- **Tren de levitación magnética:**

Un tren de levitación magnética, o maglev, es un tren suspendido en el aire por encima de una vía, siendo propulsado hacia adelante por medio de las fuerzas repulsivas y atractivas del magnetismo. Este método tiene el potencial de ser rápido y tranquilo en comparación con otros sistemas de transporte masivos con ruedas.

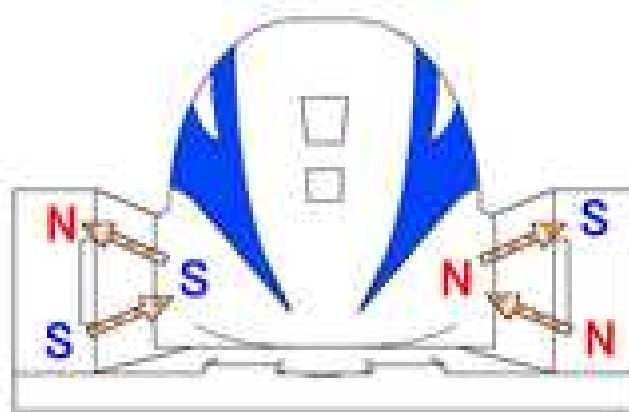


Figura 1.5 Esquema de fuerzas magnéticas de suspensión.⁶

En la gráfica 1.5 se indica la forma en la cual actúan las fuerzas electromagnéticas sobre el tren, produciendo la levitación y el movimiento del mismo.

A continuación, en la figura se muestra un tren de levitación actualmente en uso en la ciudad de Shanghái en Japón.



Figura 1.6 Tren de levitación magnética.⁷

⁶ www.wikipedia.org

⁷ www.wikipedia.org

II. Transporte por carretera o vial.

Las carreteras tienen sobre los ferrocarriles la ventaja de su mayor versatilidad. Cuesta menos de construir, y además los vehículos que por ellas circulan pueden superar pendientes fuertes. Pero, por otra parte, la resistencia al movimiento es mayor en una carretera que en un ferrocarril; la resistencia de los vehículos al movimiento depende del grado de pulimento de la superficie de la rueda y de su sustrato. En un ferrocarril ambas superficies son lisas y regulares. Hasta finales del siglo XIX, las carreteras estaban en un muy mal estado, ya que tenían roderas, protuberancias y baches, los cuales no solo retrasaban la marcha de los vehículos sino que a menudo los estropeaban.

Con el desarrollo del motor de combustión interna, en 1885, los vehículos de carretera empezaron a adquirir importancia y se multiplicaron de manera extraordinaria. Una innovación clave fue la introducción de los neumáticos. Al predominar el coche con neumáticos sobre el carro tirado por caballos, fue necesario construir carreteras asfaltadas.

Normalmente, se distingue el transporte por carretera o vial en dos grandes grupos: el transporte de personas exclusivamente y el de mercancías (que mayormente es mixto). Dentro del primer grupo se considera como aspecto peculiar el transporte colectivo de pasajeros, en líneas regulares o no, que, prescindiendo de los vehículos pequeños, se efectúa mediante los distintos tipos de autobús.

▪ Transporte de personas:

⁸En esta clasificación se encuentran todos los vehículos que serán utilizados para mover a un individuo de un lugar a otro. Concebido como un motor industrial de puesta en marcha rápida y prestaciones más elásticas respecto a las máquinas de vapor, el motor alternativo de ciclo Otto se prestó a ser construido de formas más compactas, poco embarazosas y bastante ligeras.

⁸ Enciclopedia Salvat Automóvil, Tomo 10, Pág. 150-152

Sin embargo, la reducida potencia de los primeros motores, todos de bajo número de revoluciones, tan solo permitió su empleo en vehículos ligeros.

Las causas por las que se impulsó la solución del motor de explosión para los vehículos automóviles, a pesar de las brillantes soluciones propuestas por los constructores de motores de vapor y motores eléctricos (calderas ultraligeras de Trépardoux, calderas de vaporización instantánea de Serpoilet, prontitud y silencio de los automóviles eléctricos), fueron múltiples y, en cierto sentido, no distintas de las que aún hoy limitan la adopción de otras soluciones como son: dimensiones y peso excesivos, limitaciones de autonomía, coste netamente mayor de otros combustibles. Además, no hay que olvidar que, ya a comienzos del siglo XX, el nuevo motor fomentó el desarrollo tecnológico de sectores como el metalúrgico, el mecánico, el eléctrico y el de procesamiento de petróleo.



Figura 1.7 El primer Mercedes Benz de 1886.⁹



Figura 1.8 El Mercedes Benz CL 65 AMG de 2008.¹⁰

⁹ www.flickr.com

¹⁰ www.motortrendenespanol.com

En las gráficas anteriores podemos ver la evolución que han sufrido los vehículos de transporte de personas.

Con el avance del tiempo y la tecnología se adaptó estos vehículos de peso ligero y de tamaño reducido a vehículos de mayor capacidad de transporte como autobuses o automóviles colectivos. Estos vehículos son destinados al transporte colectivo de personas, antiguamente debido a la necesidad de fuerza para mover estos vehículos se adoptó calderas de vapor como propulsor. Este tipo de propulsor se lo innovó tomando en cuenta el tamaño y la necesidad de tener más plazas en el vehículo, hasta el apareamiento del motor de explosión.



Figura 1.9 Autobús de transporte de pasajeros.¹¹

▪ **Transporte de carga o mercancía:**

Este es un sector muy amplio del transporte por carretera, cuyos sistemas pueden clasificarse en función del tipo de mercancía transportada: mercancías mezcladas y fardos, líquidos (con bidones y cisternas), materias pulverulentas (en cisternas o contenedores), otros productos que exigen el empleo de contenedores, mercancías y personas (transporte mixto), materias a temperatura controlada (vehículos frigoríficos, caloríficos, isotérmicos, etc.) mercancías peligrosas o inflamables, grandes masas indivisibles (de gran peso o volumen), sistemas que

¹¹ www.img.motorpasion.com

requieren equipos especiales (transportes de prefabricados, automóviles, valores, grúas, camiones de aplicaciones especiales, transporte de todo terreno, carros para vagones ferroviarios, etc.), productos en régimen TIR (para transportes internacionales) y otras materias especiales.



Figura 1.10 Vehículo de carga.¹²

b) Transporte marítimo y fluvial

El principal medio utilizado en el transporte marítimos es el barco o la embarcación que son cualquier construcción cóncava y fusiforme, de madera, metal u otro material, capaz de flotar en el agua y que se utiliza como medio de transporte. Barco, por consiguiente, es un término genérico con el que podemos referirnos tanto a una ligera canoa como a un imponente portaaviones. No obstante, siendo estrictos con esta definición, una balsa formada con maderos o troncos unidos no se considera una embarcación (es una mera plataforma flotante). Aquellos barcos con una o varias cubiertas, cuyo tamaño, solidez o fuerza es adecuado para actividades marítimas importantes, reciben el nombre de buques.

Para dar una clasificación de los barcos los vamos a clasificar por su tipo de propulsión, Se distinguen tres tipos: los de propulsión humana (como las canoas, los kayaks, los faluchos y los antiguos trirremes etc.), los de propulsión

¹² www.images.quebarato.com

eólica (como los barcos de vela, los barcos a rotor) y los de propulsión mecánica (como los barcos de motor, y los barcos de turbinas).

I. Barcos de propulsión humana:

Estos barcos básicamente se mueven con el uso de la propulsión humana por medio de remos.

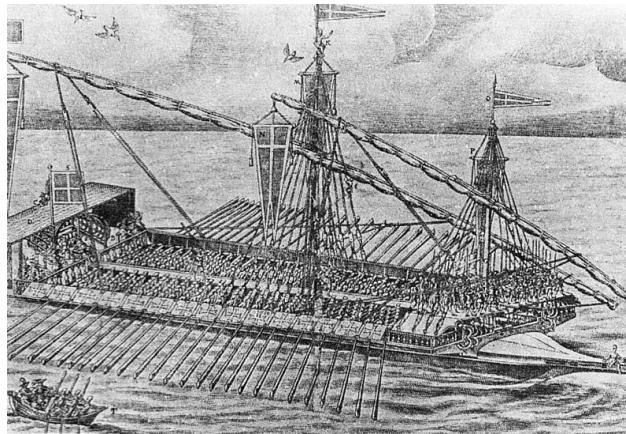


Figura 1.11 Galera impulsada por humanos.¹³

II. Barcos de propulsión eólica:

Su medio de propulsión es a través de la energía del viento, dentro de estos tenemos los que funcionan con vela y los que funcionan con un rotor.

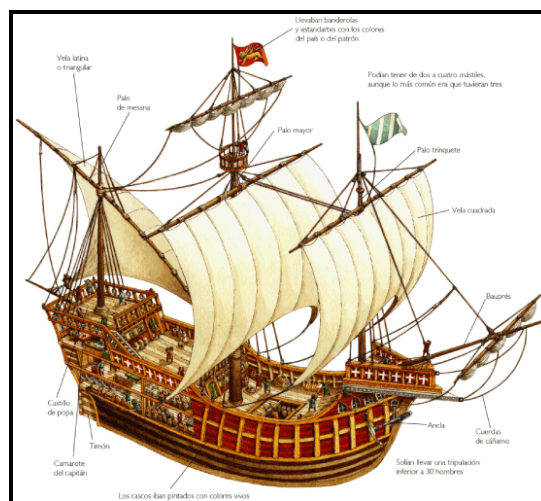


Figura 1.12 Embarcación de vela.¹⁴

¹³ www.wikipedia.org

III. Barcos de rotor:

El Rotor Flettner es un sistema de impulsión eólica para naves, inventado a inicios del siglo XX por el alemán Anton Flettner, haciendo uso práctico del efecto Magnus.

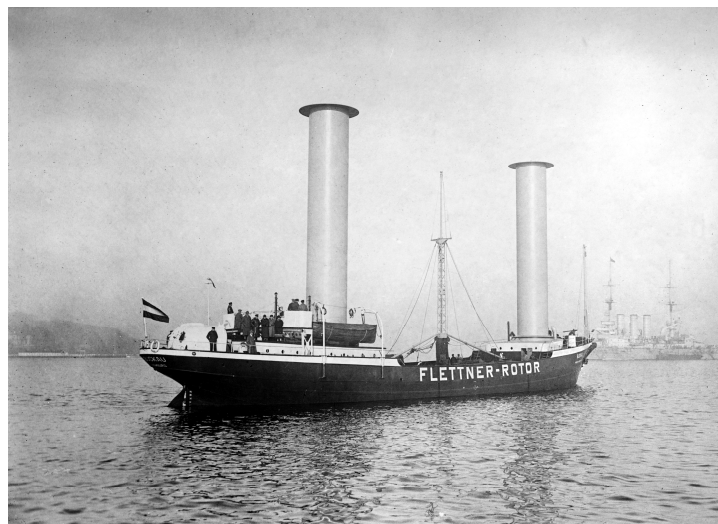


Figura 1.13 Barco impulsado por rotor.¹⁵

El uso del efecto Magnus ha sido propuesto para concretar sistemas de propulsión compuestos por grandes cilindros verticales (rotores pasivos) capaces de producir un empuje hacia adelante cuando la presión del aire es lateral; esto es, la presión del aire hace girar al cilindro llamado rotor al mismo tiempo que hace avanzar la nave de modo perpendicular al aire en movimiento.

c) Transporte aéreo

Se considera transporte aéreo a toda actividad cuyo fin sea el traslado de pasajeros o carga, mediante una aeronave, de un lugar a otro. Este tipo de transporte puede clasificarse de acuerdo a su tipo de propulsión que es lo que nos interesa en esta investigación. Dentro de esta clasificación tenemos: aeronaves propulsadas por motores a pistón, motores a reacción (turbojet, turbofan y turbohélice) ó propulsores (cohetes).

¹⁴ www.kalioedia.com

¹⁵ www.wikipedia.org

I. Aeronaves propulsadas por motores a pistón:

La aviación como la conocemos comenzó gracias a la propulsión de aeronaves mediante motores a pistón, también llamados motores alternativos. A pesar de que existían otros métodos y formas de propulsión y sustentación, los motores permitieron una propulsión de trabajo constante, operados principalmente por gasolina.

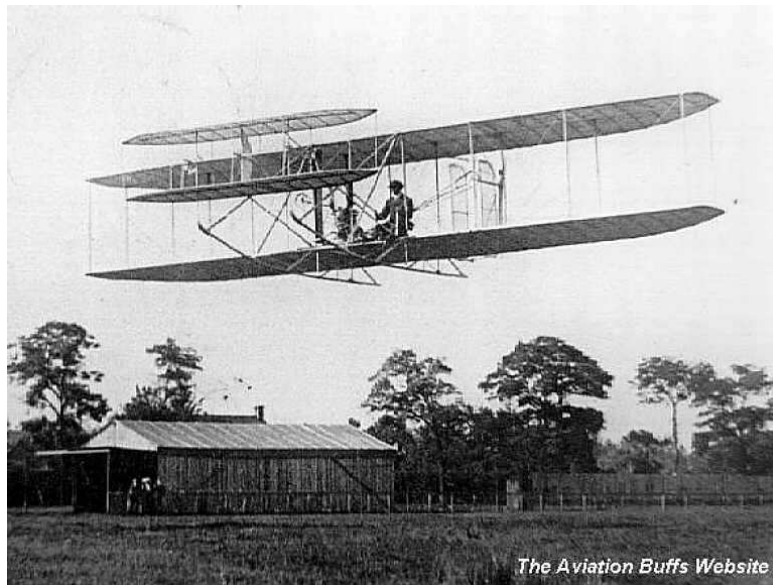


Figura 1.14 El avión de los hermanos Wright.¹⁶

II. Aeronaves propulsadas por motores a reacción o propulsores:

Un motor a reacción, reactor o jet, es un tipo de motor que descarga un chorro de fluido a gran velocidad para generar un empuje de acuerdo a la tercera ley de Newton. Esta definición generalista del motor a reacción incluye turborreactores, turbofans, cohetes, estatorreactores y motores de agua pero, en su uso común, el término se refiere generalmente a una turbina de gas utilizada para producir un chorro de gases para propósitos de propulsión.

¹⁶ www.taringa.net



Figura 1.15 Avión propulsado con reactores.¹⁷

1.1.1.2 Consumo energético.

Como se menciono anteriormente en el transporte en el ecuador existe un gran consumo de energías secundarias, como son: Gasolina, Nafta 90, Diesel 2, Premium y Aero-Combustibles cuyo valor alcanza 3929 en miles de TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo), de un total de 4448, representando aproximadamente un 90% de estas energías. Como se lo puede observar en el balance energético del año 2005 (Ver Anexo A) que lo emite el Ministerio de Energías y Minas del Ecuador.

1.1.1.3 Contaminación ambiental.

a) Composición de un aire no contaminado

¹⁸En la siguiente tabla se puede observar la composición básica del aire cuando este se encuentra no contaminado:

¹⁷ www.img403.imageshack.us

¹⁸ Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli.

Tabla 1.1 Composición de un aire no contaminado.

Sustancia	Formula	Fracción Molecular	Unidad	Porcentaje en peso	Masa* (en millones de toneladas)
Nitrógeno	N ₂	78.09	%	75.37	3920000000
Oxígeno	O ₂	20.94	%	23.10	1200000000
Argón	Ar	0.93	%	1.41	73000000
Bióxido de carbono	CO ₂	0.032	%	0.044	2300000
Neón	Ne	18	Ppm		65000
Helio	He	5.2	Ppm		3800
Metano	CH ₄	1.5	Ppm		3700
Kriptón	Kr	1	Ppm		15200
Hidrógeno	H ₂	0.5	Ppm		190
Óxido nitroso	N ₂ O	0.25	Ppm		1950
Monóxido de carbono	CO	0.1	Ppm		500
Ozono	O ₃	0.02	Ppm		200
Bióxido de azufre	SO ₂	0.001	Ppm		12
Bióxido de nitrógeno	NO ₂	0.001	Ppm		9

*la masa es aquella propiedad gracias a la cual los cuerpos se atraen entre sí. La fuerza con la que la tierra atrae a los cuerpos, y, por ende, también a la atmosfera, se manifiesta como peso.

b) La presión y la temperatura de la atmosfera.

Puesto que la atmósfera posee un peso, ejerce una presión, que es la relación entre la fuerza ejercida sobre una superficie, el área de la propia superficie. Por lo común, nosotros no advertimos esta presión porque se halla equilibrada por la que está presente en el interior de nuestro cuerpo, pero en el nivel del mar es cercana a 1Kg por cada cm². Este valor va disminuyendo con el incremento de la altura, y a 15Km sobre dicho nivel del mar, queda reducido a aproximadamente la décima parte del que tenía allí.

También la temperatura varía con la altitud. Aquella depende de la velocidad con la que se recibe la energía radiante del sol, así como de algunos procesos que van acompañados del intercambio de calor: evaporación, condensación, reacciones químicas.

Es común subdividir la atmosfera en distintas zonas, conforme al modo en que varía la temperatura a medida que se incrementa la distancia desde la Tierra.

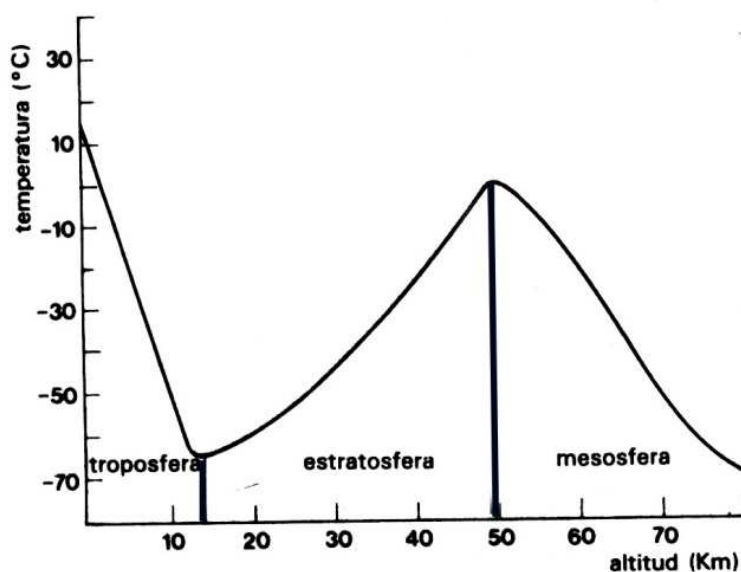


Figura 1.16 Variación de la temperatura atmosférica con la altitud. Se indican los nombres con que se designan las diversas formas.¹⁹

La zona más importante, para los fines de nuestra exposición, es la primera, que se extiende unos 10 kilómetros hacia arriba y que se ha llamado la troposfera. Esta zona contiene más del 90 % de la masa de aire total. Como se observa en la figura 1.15, y como todo el mundo lo habrá experimentado, la temperatura disminuye conforme aumenta la altura del suelo. La velocidad a la que ocurre este fenómeno es de aproximadamente 6.5 grados por cada kilómetro; es decir, cuando la altitud aumenta en 1 kilómetro, la temperatura disminuye 6.5 grados. Este es un valor de equilibrio; en otras palabras, es el valor que adquiere la variación de temperatura cuando el aire húmedo se expande libremente, sin que haya intercambios de calor con las capas circundantes. No obstante, la variación real de la temperatura con

¹⁹ Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

respecto a la altitud, depende del lugar, de la hora del día, de la estación, etc.; lo que sucede, pues, es que siempre hay intercambios de calor.

Imaginemos ahora una masa de aire que, a consecuencia de una pequeña perturbación, se desplaza hacia arriba. Al final, este aire se encontrara en una zona de menor densidad y presión y por ello tenderá a expandirse. Con esta expansión se enfriará porque tendrá que efectuar un trabajo para alejar entre sí las moléculas que componen la masa y que ciertas fuerzas de naturaleza química tienden a mantener unidas. Ahora bien, si la variación de la temperatura con la altura, del aire que circunda la masa ascendente, es la teórica de equilibrio, el aire que se expande irá alcanzando un equilibrio; y así continuará subiendo, sin modificar su velocidad. Lo mismo sucede con una masa de aire descendente, porque ésta tenderá a calentarse.

Pero supongamos, en cambio, que la velocidad efectiva de disminución de la temperatura con la altitud sea mayor que la de equilibrio (véase la figura 1.16a). La masa de aire que se expande, por más que se enfríe a causa de la expansión, se encontrará de todos modos a una temperatura mayor y tendrá una menor densidad que la masa circundante. Por ende, aquella seguirá subiendo con velocidad aún mayor. De esta manera se crean condiciones que favorecen la dispersión de las sustancias que contiene la masa de aire. Esto es lo que sucede, efectivamente, cuando un gas caliente que contiene sustancias contaminantes se emite en una hoguera o sale de la chimenea de una fábrica. Este tipo de situación meteorológica corresponde a una condición de inestabilidad y favorece la dispersión de los contaminantes que a veces están presentes en las emisiones.

Por otro lado, si la temperatura real del aire varía con la altura más lentamente de lo que corresponde al equilibrio, resultará que una masa de aire ascendente (véase figura 1.16b) se encuentre más fría, a causa de su expansión, y sea más densa que el aire circundante, ésta será empujada de nuevo hacia abajo. Nos encontramos ahora ante condiciones de estabilidad, por cuanto toda variación tiende a ser amortiguada rápidamente.

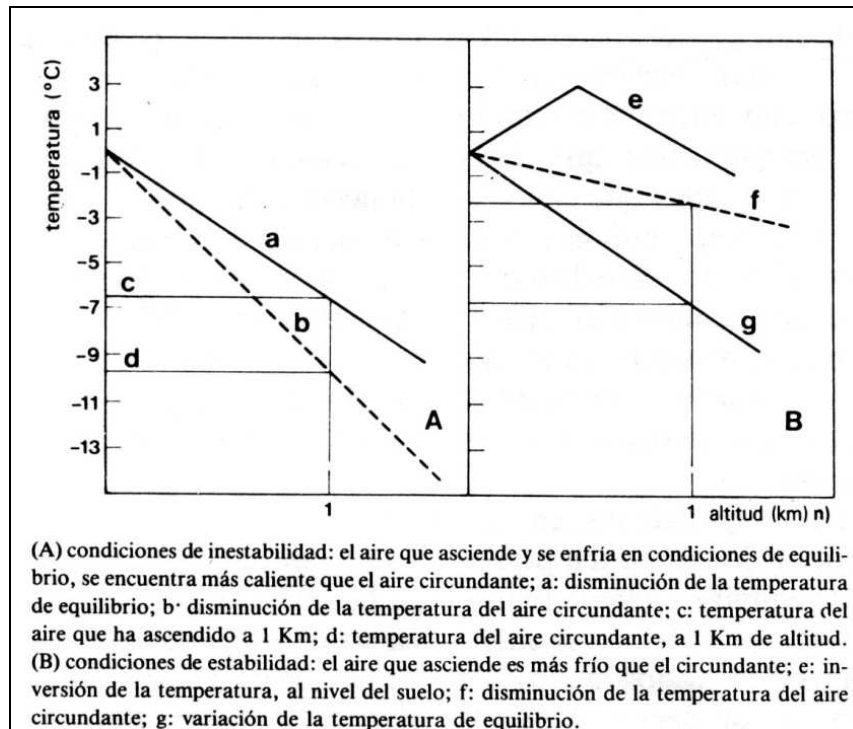


Figura 1.17 Variación de la temperatura de un volumen de aire que asciende, y del aire circundante, en condiciones de inestabilidad (A), y de estabilidad (B). En la gráfica de la derecha se muestra también una inversión de temperatura que determina condiciones de extrema estabilidad.²⁰

La situación es peor cuando, en vez de disminuir, la temperatura aumenta con la altura. A las situaciones de este tipo se las ha denominado inversiones de temperatura (o inversiones térmicas) y determinan condiciones de extrema estabilidad. Las inversiones de temperatura pueden ocurrir cerca del nivel del suelo, a causa del enfriamiento que sufre éste durante la noche, o en las capas altas, cuando una masa de aire frío se topa con otra a mayor temperatura, que se está desplazando. Es durante las inversiones térmicas cuando se registran los episodios más graves de contaminación.

La zona de la atmósfera que se encuentra entre los 15 y los 50Km recibe el nombre de estratósfera. Esta contiene una masa de aire mucho más pequeña que la troposfera. Con todo, ciertas sustancias químicas particulares, como el ozono o el oxidrilo, que es una molécula formada por un átomo de oxígeno y uno de hidrógeno, se hallan presentes en ella, en mayores concentraciones que en la troposfera. Estas sustancias son muy importantes para el mantenimiento del equilibrio de los estratos

²⁰ Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

inferiores, es decir, para que las concentraciones de las sustancias que están presentes en el aire mantengan los valores normales (véase la tabla 1.1).

Así, pues, también la estratosfera presenta interés para nuestra exposición. Se observará que en la estratosfera la temperatura se incrementa conforme aumenta la altura (véase figura 1.15).

c) El efecto protector del ozono.

Antes de explicar el efecto protector del ozono es necesario conocer a las radiaciones electromagnéticas, las cuales son emitidas por el sol, ya que algunas de estas afectan directamente a los seres vivos. En la siguiente tabla se describen las mencionadas radiaciones electromagnéticas.

Tabla 1.2 Radiaciones electromagnéticas.

Nombre		Longitud
Ondas de radio	Largas	1 Km
	Medias	10 m
	Cortas	1 cm
	Muy cortas	0.01 cm
Luz infrarroja	Lejana	0.05 mm
	Media	0.01 mm
	Cercana	0.001 mm = 1 micra (μ)
Luz visible	Rojo	0.8 μ = 800 nanómetros (nm)
	Naranja	650 nm
	Amarillo	600 nm
	Verde	550 nm
	Azul	500 nm
	Indigo	450 nm
	Violeta	400 nm
Luz ultravioleta	Cercana	300 nm
	Lejana	100 nm
	Rayos X	0.01 a 100 nm
	Rayos gamma	0.0005 a 0.01 nm
	Rayos cósmicos	0.00001 nm

El ozono es capaz de absorber las radiaciones ultravioletas provenientes del sol, a través de un proceso similar al que se describe en las reacciones siguientes:



Una molécula de ozono absorbe energía proveniente de una radiación ultravioleta con longitud de onda del orden de los 308nm. Esta energía es suficiente para romper las moléculas de oxígeno, ambos en estado de excitación (lo cual se representa mediante un asterisco) y, por ende, más reactivos que en su estado fundamental de mínima energía.

Las reacciones que ocurren gracias a la acción de la luz se llaman reacciones fotoquímicas y son de gran importancia para la vida sobre la Tierra. De hecho, a través de estas reacciones la capa de ozono absorbe, esto es, elimina de la luz solar, aquellas radiaciones ultravioletas potencialmente peligrosas. De llegar a la Tierra, éstas podrían reaccionar con las células causando daños irreversibles.

El efecto de pantalla protectora que ejerce el ozono, bloquea toda la radiación con longitud de onda inferior a los 300nm. Sin embargo, la radiación restante es capaz de disociar el bióxido de nitrógeno (NO₂), es decir, dividirlo en óxido nítrico y oxígeno:



Los átomos de oxígeno así obtenidos, por más que se encuentren en el estado de mínima energía, desafortunadamente están en buenas condiciones para combinarse, especialmente en presencia de hidrocarburos, con lo cual contribuyen a la formación de un tipo particular de infición a la que se ha dado el nombre de smog fotoquímico.

Las observaciones que se han hecho nos ofrecen igualmente una explicación de las razones por las cuales la temperatura de la estratosfera se incrementa

con la altura. De hecho, la radiación ultravioleta puede provocar el rompimiento de una molécula de oxígeno en sus átomos constituyen:



Estos átomos reaccionan con moléculas de oxígeno o de ozono (O₃):



Puesto que una molécula de oxígeno y un átomo del mismo elemento poseen, por separado, más energía que una molécula de ozono, la energía excedente se libera en forma de calor, que hace que aumente la temperatura de las inmediaciones. Lo mismo ocurre en la reacción (1.5) entre el oxígeno y el ozono.

d) Formas en que el hombre modifica el medio ambiente atmosférico.

Cualquier actividad vital altamente organizada, tiene de algún modo a modificar el ambiente que nos rodea. Nada hay de alarmante en esto; el ambiente, aun cuando se trate del atmosférico, posee los medios para amortiguar y volver a colocar bajo control estas variaciones, siempre y cuando no se rebasen ciertos límites. Las propiedades de la atmosfera, en este sentido, son muy elevadas, por ejemplo, sólo en Estados Unidos, cada año se arroja al aire una cantidad de bióxido de azufre (SO₂) muchas veces superior a la que contiene globalmente toda la atmósfera.

No obstante, todo tiene un límite y en muchos casos se está muy peligrosamente cerca de rebasarlo. Naturalmente, esto es así en particular en el caso de la emisión de grandes cantidades de sustancias contaminantes en áreas restringidas, en las que los obstáculos, geológicos y artificiales, tales como cordilleras o grupos de edificios, o condiciones atmosféricas particulares, impiden la dispersión y el recambio. El problema se presenta con especial gravedad en aquellas áreas con elevadas concentraciones industriales o demográficas, como las zonas industriales o las megápolis. Un país altamente industrializado y con alto nivel de vida como Estados Unidos, aporta valores

que fluctúan entre la mitad y la sexta parte de las emisiones de los principales contaminantes, por más que su población no llega al 5% de la del planeta entero; resulta aterrador pensar que sucedería si todos los países del mundo contribuyen a la infición global con la misma intensidad.

La contaminación atmosférica se ha definido como la acumulación en el aire de sustancias en concentraciones tales que provoquen daños provisionales o permanentes a los hombres, los animales, las plantas y los bienes. La concentración a la cual una sustancia provoca una contaminación varía mucho, según de la sustancia que se trate: unas pocas millonésimas de gramo (nano gramos) de benzopireno, por metro cúbico de aire, originan mayores daños que unos diez miligramos de monóxido de carbono, también por metro cúbico. El benzopireno es un hidrocarburo polinuclear, que se forma durante la combustión del carbón y de los combustibles líquidos.

Sin embargo, si nos fijamos en la cantidad global de todos los contaminantes que se emiten, vemos que son cinco los que aportan más del 95% del total. Estos contaminantes son: el monóxido de carbono (CO), el bióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos y el material particulado. Las tres primeras son sustancias químicas que poseen una composición definida; los hidrocarburos son una clase de sustancias; y finalmente, en el material particulado figuran los aerosoles líquidos o sólidos que se encuentran en suspensión en el aire. Los aerosoles son diminutas gotas de líquido o partículas sólidas de tamaño tan pequeño que permanecen mucho tiempo suspendidas en el aire, antes de depositarse en el suelo. Las dimensiones típicas pueden ser desde algunas micras hasta fracciones de micra.

La concentración de estos cinco contaminantes, junto con la del ozono que, como veremos, se halla estrechamente vinculada a ellas, es la que se utiliza como índice de la calidad de un aire y la ley fija los valores máximos que pueden alcanzar dichas concentraciones.

En la tabla a continuación se enumeran las características de los principales contaminantes del ozono:

Tabla 1.3 Características de los principales contaminantes del ozono.

Compuesto	Límite de aceptabilidad (DPCM n. 30)* en μg por m^3		Toxicidad	Observaciones
CO	10000 (9 ppm)	(media de 8 horas)	Forma carboxihemoglobina que causa envenamiento de la sangre	Es un contaminante típico producido por los medios de transporte
	40000 (35 ppm)	(media de 1 hora)		
NO _x	200 (0.1 ppm)	(media de 1 hora)	Bajo la forma de bióxido causa irritaciones en las vías respiratorias	Se produce en todas las combustiones a alta temperatura
Hidrocarburos	200	(media de tres horas consecutivas)	Algunos hidrocarburos polinucleares son cancerígenos	En presencia de NO ₂ y ozono, causa smog fotoquímico
SO ₂	80 (0.03 ppm)	(mediana** de las concentraciones medias diarias en 1 año)	Aumenta la resistencia al flujo pulmonar	Se produce en las combustiones de sustancias que contienen azufre
	250 (0.1 ppm)	(98 percentil*** de las medias diarias)		
particulado	150	(media de las concentraciones medias diarias)	Toxicidad directa causada por algunos componentes (plomo, amianto, etc.)	Dimensiones entre 0.001 y 10000 micras
	300	(95 percentil)		
Ozono	200 (0.1 ppm)	(media de 1 hora)	Causa congestión pulmonar	Se forma a partir del oxígeno en presencia de NO ₂ y de radiación solar

* Se refiere a los límites establecidos por la ley italiana en 1983

** La mediana es aquel valor de la concentración que ha sido superado durante la mitad de los días de un año.

*** El *n*-ésimo percentil es aquel valor de concentración que es superado sólo *n* – 1 días de cada 100. En el caso de SO₂, el límite de aceptabilidad se ha fijado en el 98 percentil, valor que puede ser superado solamente el 2 % de los días del año.

Será conveniente, empero, que ya desde ahora tengamos presentes dos consideraciones que desarrollaremos más a fondo posteriormente; la primera es el hecho de que estos índices queden dentro de valores preestablecidos representa un requisito necesario, pero ni con mucho suficiente, para afirmar que un aire es de buena calidad; y la segunda, que las sustancias que se arrojan al aire sufren una serie de transformaciones químicas, algunas de las cuales aún no se conocen de manera perfecta ni se han estudiado a fondo, y que con frecuencia incrementan su peligrosidad.

e) El particulado atmosférico.

Todos los contaminantes que hemos examinado hasta ahora son gases, a la temperatura ambiente. Sin embargo, en la atmosfera están igualmente presentes gotitas microscópicas de líquidos o diminutas partículas sólidas, a las que de manera global se les da el nombre del “particulado” atmosférico. Tanto las partículas como las gotitas se pueden formar mediante varios mecanismos de condensación y de dispersión. Una parte de estos procesos, o mejor dicho, una vez más la mayor parte de ellos, si consideramos la atmósfera en su totalidad, son de origen natural. Pensemos, por ejemplo, en las menudas gotitas que provocan las olas al romper contra los arrecifes, o bien el polvo que levante el viento. Y luego están las erupciones volcánicas, así como las humaredas de los incendios de las selvas tropicales; además, ciertos tipos de selva emiten hidrocarburos particulares, a los que se conoce como terpenos.

Con todo, alrededor de 280 millones de toneladas de particulado (algo más que el diez por ciento de la cantidad total que ingresa a la atmósfera en un año) son de origen humano; como de costumbre, estos contaminantes emiten en zonas limitadas de la tierra.

Veamos, por ejemplo, que sucede cuando se usa el carbón como combustible; se ha explicado que el carbón contiene una cierta proporción de minerales inorgánicos y, por más que una parte éstos se separe antes de utilizarlo, de todas formas queda otra parte en el propio carbón. Cuando éste se quema, las partículas más grandes, que están formadas por óxidos de aquellos minerales,

se convierten en cenizas pesadas y, en las grandes instalaciones, resulta un problema grave deshacerse de ellas porque se trata de cientos de miles de toneladas al año. En cambio, las partículas más pequeñas son arrastradas por los gases de la combustión y se emiten al aire.

En otros casos, las partículas se forman a causa de la condensación de moléculas que han aparecido a consecuencia de reacciones químicas entre los contaminantes que se hallan presentes en la atmósfera.

Las dimensiones del particulado son muy variables y pueden ir desde una milésima de micra hasta algunos milímetros. En la tabla que sigue se dan las dimensiones de algunos posibles constituyentes del particulado (diámetros en micras).

Tabla 1.4 *Constituyentes del particulado.*

CONSTITUYENTES DEL PARTICULADO	DIAMETRO (μm)
Negro de humo	0.001 a 0.3
Humo del tabaco	0.01 a 0.2
Aerosol de plomo	0.1 a 5
Pigmentos de los barnices	0.1 a 10
Pesticidas	0.5 a 10
Niebla	1 a 50
Emisiones de las cementeras	1 a 100
Cenizas	1 a 500
Arena que levanta el viento	1 a 3000

A las partículas cuyas dimensiones son inferiores a 0.1 micra se las denomina partículas Aitken; y aquellas con diámetro superior a una micra se llaman partículas gigantes.

La experiencia común indica que todo lo que sube tiene que caer, y esto ciertamente es válido para las partículas sólidas líquidas que se hallan suspendidas en el aire. Sin embargo, el propio aire ejerce un efecto retardante, a través de una fuerza hacia arriba que es proporcional a la velocidad de caída y a radio de las partículas. Puesto que una partícula de cierta densidad es atraída hacia abajo con una fuerza proporcional a su volumen, es decir, al cubo del radio, se alcanzará una situación de

equilibrio en la que la velocidad de caída será proporcional al cuadrado de las dimensiones.

A modo de ejemplos, una partícula de 0.1 micra, o sea, la más grande de las partículas Aitken, emplearía quince días para descender un metro, en tanto que la más pequeña de las partículas gigantes haría lo propio en siete horas. Estos valores se refieren a un aire en reposo; en la práctica, el tiempo de permanencia en el aire dependerá de la naturaleza de los vientos y de las precipitaciones. Lo importante, empero, es que las partículas pequeñas pueden permanecer en el aire durante mucho tiempo; una parte de ellas llega incluso a la estratosfera y, arrastradas por las corrientes, pueden recorrer enormes distancias. Al final, los choques fortuitos y la atracción recíproca hace que la partícula demore hasta el punto de alcanzar una velocidad de caída suficiente como para que llegue a depositarse en el suelo. Además de este mecanismo de precipitación en seco, estas partículas también pueden ser eliminadas de la atmósfera gracias a la lluvia, ya sea porque se incorpore a las gotas durante el mecanismo de formación de éstas, actuando frecuentemente, núcleos alrededor de los cuales se forma la gota, o ya por que sean barridas por la lluvia durante la caída de ésta

El particulado atmosférico puede difundir la luz del sol, absorbiéndola y remitiéndola en todas direcciones; el resultado de esto es que se irá a la superficie de la tierra una menor cantidad de la luz del sol. Este fenómeno original efectos locales como, por ejemplo, disminución de la visibilidad, al igual que efectos mundiales, como una posible influencia sobre el clima. La presencia del particulado favorece, además, la formación de niebla, debido a que las partículas les proporcionan a la microscópicas gotitas que constituyen la niebla, los núcleos en torno a los cuales condensarse.

Una parte del particulado proviene de contaminantes con los que ya nos hemos topado, especialmente el bióxido de azufre que emiten las fabricas y las centrales térmicas. El mecanismo es, poco más o menos, el siguiente: el bióxido de azufre se oxida, convirtiéndose en trióxido de azufre, como veremos detenidamente un poco más adelante; en trióxido de azufre, que es un gas, se trasforma en sulfato, y este compuesto ya puede pasar a formar parte del particulado. Un análisis químico del particulado ha puesto de manifiesto, de

manera incontrovertible, que las nieblas en lugares alejados de cualquier centro industrial, como las montañas rocallosas o la Georgia soviética, se deben al particulado que se genera a consecuencia de las emisiones de SO_2 de centrales térmicas situadas a cientos y miles de kilómetros de distancia.

El particulado provoca efectos nocivos en materiales, como la corrosión de los metales, daños a los circuitos eléctricos y electrónicos por acción química y mecánica, ensuciamiento de edificios y obras de arte, reducción del tiempo que duran los tejidos. Sobre las plantas, el polvo, como por ejemplo este producto en las fábricas de cemento, puede causar incrustaciones que interfieran con el proceso de la fotosíntesis, debido a que interceptan la luz solar.

Puesto que el particulado no es un gas, su concentración no se puede expresar en ppm; por ello se usa como medida la masa que se encuentra presente en un cierto volumen de aire, generalmente en microgramo (μg) por m^3 .

Esta magnitud, que en el absolutamente limpio es del orden de menos de $10\mu\text{g}$ por metro cúbico, alcanza valores de un centenar de microgramos por metro cúbico en la mayor parte de las áreas urbanas y puede llegar a 2000 o $3000\mu\text{g}$ por metro cúbico durante los episodios de contaminación particularmente graves.

Pasemos a examinar ahora globalmente los cinco contaminantes principales. Los porcentajes de sus emisiones anuales se muestran en la tabla 1.5 y en la figura 1.18. Se observará que el contaminante que en mayor cantidad se emite es el monóxido de carbono.

Puesto que éste proviene esencialmente de los vehículos de motor, y en particular de los automóviles con motor de gasolina, no nos sorprende el hecho de que los transportes sean, por sí solos y simplemente con base el peso, los responsables de más de la mitad de la infición mundial.

Tabla 1.5 Emisiones anuales y porcentaje de los cinco principales contaminantes, divididos por fuente.

Contaminante	Combustiones	Transporte	Industria	Tratamiento de desechos	Otras fuentes	Contaminantes totales
Monóxido de carbono	0.30	41.62	4.27	2.69	6.89	55.76
Bióxido de azufre	9.88	0.37	2.40	0.04	0.07	12.76
Óxidos de nitrógeno	3.73	4.34	0.07	0.15	0.22	8.53
Hidrocarburos	0.22	7.34	2.10	0.75	2.77	13.17
Particulado	2.54	0.30	4.94	0.52	1.50	9.81
Total de las fuentes	16.69	53.97	13.77	4.15	11.45	100.00

Sin embargo, los contaminantes atmosféricos no presentan toda la misma peligrosidad; basta con echar una mirada a la tabla 1.3, donde se reúnen las características de los contaminantes, para darnos cuenta de que la concentración máxima de monóxido de carbono que admite el aire es 50 veces mayor que la de NO_x . De esto se puede deducir que la nocividad de los óxidos de nitrógeno es mayor que la de CO. Por esta razón se han hecho intentos por asignarle a cada contaminante un coeficiente que tome en cuenta que este hecho. Naturalmente, hay en esto un amplio margen de arbitrariedad; de todos modos, resulta interesante el hecho de que, si adoptamos tal punto de vista, la mayor fuente de contaminación pasa a ser la combustión que se efectúa en las instalaciones fijas, debido a que se suman los óxidos de azufre y de nitrógeno, además del particulado.

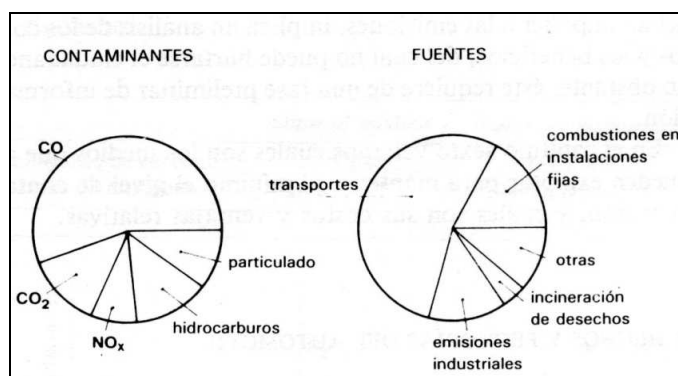


Figura 1.18 Porcentajes de emisiones de las cinco contaminantes principales, por sustancia y por fuente.²¹

²¹ Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

Será oportuno, pues, examinar un poco más cerca las dos fuentes que, por la cantidad o por la peligrosidad de las sustancias emitidas, son las principales en cuanto a contaminación: el tránsito vehicular y las combustiones. Los ámbitos del transporte y de la producción de energía (combustión significa en gran medida producción de energía) son también aquellos en los cuales una correcta gestión de las políticas sobre el ambiente puede surtir los mayores efectos. La adopción de normas más rigurosas en cuanto a la calidad de los productos que se utilicen, así como los límites que se deban imponer a las emisiones, implica un análisis de los costos y los beneficios, del cual no puede hurtarse el ciudadano; no obstante, este requiere de una preliminar de información.

f) Hechos y fechorías del automóvil.

La sociedad moderna se caracteriza por una gran facilidad de desplazamiento; cubrimos distancia siempre mayores en tiempos cada vez menores, y poseemos una autonomía individual de movimiento que cada vez es también mayor. Esto último se ha hecho realidad gracias a la amplísima difusión del automóvil.

Cualquier persona que haya frecuentado una de las escuelas donde se aprende conducir sabe cómo funciona un motor de combustión interna. Una mezcla de aire y combustible es aspirada hacia una cámara de explosión, donde se hace estallar mediante una chispa, o por compresión.

El resultado principal de la combustión es, como ya se ha visto, la formación del bióxido de carbono y agua. No obstante, además de estas sustancias, los gases de escape de los automóviles contienen también otras: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, material particulado en forma de hollín y de compuestos de plomo, y, en el caso de los motores diesel, una cierta cantidad de óxidos de azufre.

Las cantidades que se emiten de cada uno de estos contaminantes dependen de la relación aire combustible (véase figura 1.18). Están igualmente en función del régimen al que se haga funcionar el motor; por ejemplo, al aumentar el número de revoluciones por minuto, la temperatura se incrementa y ello hace

que crezca la cantidad de óxido de nitrógeno que se forma. Y, a bajas revoluciones, por el contrario, aumenta la cantidad de monóxido de carbono, como se ve en la tabla siguiente:

Tabla 1.6 Emisiones de un motor de combustión interna.

	Motor al mínimo	Motor revolucionado
Monóxido de carbono	4 a 6%	0.1 a 4%
Óxidos de nitrógeno	10 a 50ppm	1000 a 3000ppm

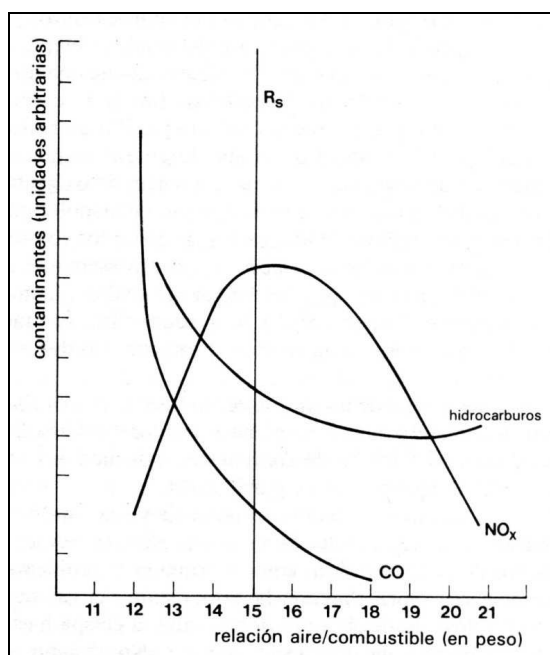


Figura 1.19 Emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos, en función de la relación aire combustible. R_s es el Valor teórico de la relación aire combustible para transformar todos los hidrocarburos en agua y CO₂.²²

Una parte de los hidrocarburos emitidos proviene de las pérdidas de vapor de los combustibles, que se tienen en el recorrido entre el tanque y los cilindros; otra parte se forma durante la combustión, a causa de un reajuste de los átomos de carbono e hidrógeno debido a las elevadas condiciones de temperatura y presión. Esta última fracción contiene, preponderantemente, hidrocarburos de cadena lineal, como el metano o el etileno, que ya conocemos, pero también una parte, por más pequeña, de hidrocarburos polinucleares del tipo de benzopireno. La cantidad de

²² Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

hidrocarburos polinucleares depende de la composición del combustible; es mayor, por ejemplo, cuando el combustible contiene una mayor cantidad de hidrocarburos aromáticos. Los hidrocarburos aromáticos son aquellos que contienen el anillo de benceno. Puesto que durante la combustión los hidrocarburos se encuentran en presencia de oxígeno, se forman también productos más complejos, cuya molécula está formada por carbono, hidrógeno y oxígeno; los compuestos de este tipo son los aldehídos, cuyo representante más simple es el formaldehído, y los ácidos carboxílicos, como el ácido fórmico o el ácido acético. Son, todas ellas, sustancias que volveremos a encontrar entre las protagonistas del smog fotoquímico.

El gas de escape de un motor de explosión interna típico, de funcionamiento medio, contiene alrededor del 0,2% de hidrocarburos, el 0.003% de compuestos oxigenados y entre 3000 y 4000 μ g por centímetro cúbico, de particulado.

El motor desarrolla una mayor potencia, consume menos carburante, cuando la relación de compresión es elevada. El aumento de la compresión, empero, origina problemas de la detonación. Normalmente como la combustión del gas ocurre expandiéndose desde el punto donde saltar la chispa hasta la zona de la mezcla que queda sin quemarse. No obstante, esta mezcla no quemada se encuentra sujeta a una fuerte presión, así como a la irradiación del gas de combustible. En condiciones de una elevada relación de compresión, el gas terminal reacciona con los átomos de oxígeno que, dada las elevadas condiciones de temperatura, están presentes de un número apreciable, dando origen a una reacción explosiva en la cual la combustión ocurre de manera muy rápida y desordenada. El efecto semejante a una serie de martillazos sobre las paredes del cilindro, y se dice que motor “cascabelea”. Hace ya más de 60 años que se descubrieron algunos compuestos orgánicos del plomo, como el tetraetilo de plomo $Pb(C_2H_5)_4$ o el tetrametilo de plomo $Pb(CH_3)_4$, capaces de limitar este efecto en gran medida. Por esta razón se los adiciono a la gasolina. En las cámaras de combustión esta sustancia sufre una descomposición: el plomo se separa y los cuatro grupos C_2H_5 reaccionan con los átomos de oxígeno eliminándolos e impidiéndoles que reaccionen con los hidrocarburos.

Con el fin de que el plomo no dañe el motor, se agregan otras sustancias: el dibromuro y el bicloruro de etileno. El resultado de estos es que el plomo se expulsa junto con los gases de escape, bajo la forma de sales u óxidos de plomo. La fracción del particulado que contiene plomo es de dimensiones muy pequeñas: de hecho, el 25% de las partículas emitidas tienen un diámetro de 0.25 micras, y el 50% de ellas no rebasa las 4 micras. Ahora bien, cuanto a menor es el tamaño de dichas partículas, tanto más fácil le resulta avanzar hasta el fondo de las vías respiratorias; aquellas de menos de una micras pueden llegar a los alvéolos pulmonares y, por esa vía, penetrar en la sangre. Esto es una de las razones por las cuales los niveles de plomo que tienen hoy en día en la sangre quienes viven en zonas de tráfico pesado, andan muy cercanos a los que se consideran peligrosos para la salud.

Sin embargo, añadir aditivos a base de plomo no es el único método para limitar el fenómeno de la detonación, desde este punto de vista, no todos los hidrocarburos se comportan del mismo modo; un hidrocarburo de cadena lineal, del tipo del pentano, está mucho más expuesto al ataque que otros ramificados, como el iso octano. La razón de ello está en que la molécula en realidad no se encuentra tan extendida como se ve en la figura, sino que adquiere una forma más compacta y, en consecuencia, alguno de los átomos de carbono no se quedan protegidos contra la acción del oxígeno. Todo el mundo sabe que la calidad de una gasolina, en este aspecto, se representa por el número de octanos, u octanaje; este no es más que el porcentaje de iso octano, en una mezcla de heptano e iso octano, que se comporta como la gasolina en cuestión. Si una gasolina posee un octanaje de 98, ello quiere decir que posee las mismas propiedades antidetonantes que un mezcla con 98 partes de iso octano y dos de heptano.

Durante el proceso de elaboración de la gasolina, el crudo se somete a una serie de operaciones que modifica la naturaleza del contenido de los hidrocarburos, en el sentido de que se aumenta la resistencia al fenómeno de la detonación. Claro está que si se avanza demasiado en tal refinamiento, ello hace que aumente en cierto grado el costo de la gasolina, y por esta razón el uso de la gasolina sin plomo encuentra dificultades para generalizarse.

Otra manera posible de elevar el octanaje de la gasolina es la de agregarle compuestos oxigenados, como el metanol, el etanol o el metilterbutiléter (MTBE). Puede ser interesante conocer cuál es el precio que paga el ambiente por cada kilómetro que recorren nuestros automóviles. Según una investigación efectuada en Estados Unidos, y como promedio de todos los vehículos con motor de combustión interna que circulan en ese país, resultó que las emisiones de tales vehículos (medidas en gramos por kilómetro) eran las siguientes:

Tabla 1.7 *Emisiones de vehículos.*

CO	Hidrocarburos	NO _x	Particulado	SO ₂
22	2.8	2.6	0.4	0.12

Estos valores se podrían abatir notablemente, si con una acción más cuidadosa se tuviera en cuenta las exigencias relacionadas con la calidad del ambiente.

Otra de las fuentes de contaminación, en el campo de los transportes, es la que causan los grandes aviones. Un jet Jumbo emite, en cada despegue o aterrizaje, 21Kg de monóxidos de carbono y 14Kg de óxidos de nitrógeno. Un Concorde producía 670kg de óxidos de nitrógeno en cada travesía por el Atlántico. En un año, son centenares de toneladas de NO_x las que se emiten a una altitud superior al límite la troposfera, interfiriendo así directamente con la capa de ozono.

g) ¿Qué es lo que sucede con los contaminantes?

¿Qué destino tienen las sustancias que, por cientos de miles de toneladas, introducimos todos los años en la atmósfera a consecuencia de nuestras más o menos razonables actividades? Algunas, como cierta porción del particulado, vuelven a caer al suelo, tras un tiempo más o menos largo; otras, como el bióxido de carbono, permanecen, cuando menos parcialmente, en la atmósfera, cuyas características modifican en una cierta medida. Sin embargo, la mayor parte de ellas, antes de regresar al suelo, toman parte en una compleja cadena de reacciones químicas que las transforman en sustancias que a veces son muy distintas de las originales. Desde el punto de vista de la contaminación, esto es quizás una ventaja, porque las sustancias transformadas pueden ser menos

dañinas que las que se emitieron al principio; por ejemplo, si el monóxido de carbono permaneciese como tal en el aire, en vez de transformarse en gran parte en bióxido de carbono, todo nosotros padeceríamos de alguna forma por envenenamiento de la sangre. Una que otra vez, empero, sucede lo contrario y las sustancias que se forman a causa de las reacciones atmosféricas resultan más tóxicas o irritantes que las emitidas inicialmente.

El conocimiento de las transformaciones a que quedan sometidos los contaminantes es importante también desde el punto de vista del control de la infición. De hecho, los instrumentos analíticos que se utilizan para medir los contaminantes son de carácter selectivo con respecto a una sustancia en particular, razón por la cual se podrían tener sus estimaciones del fenómeno, en el caso de que esta sustancia se hubiera trasformado en otras respecto de las cuales los instrumentos no fuesen sensibles.

h) Smog clásico y smog fotoquímico.

A la contaminación atmosférica de las áreas urbanas se la designa comúnmente con el nombre de smog; sin embargo, se pueden distinguir dos tipos de smog que presentan características diferentes y, en cierto modo, contrastantes. Por los nombres de las ciudades donde estos dos tipos de smog se van presentando de manera característica, se los ha denominado, respectivamente, smog tipo Londres y tipo Los Ángeles.

En el cuadro siguiente se dan las características principales de los dos tipos de smog.

Tabla 1.8. Características principales de los tipos de smog.

	Smog clásico	Smog fotoquímico
Condiciones meteorológicas	Baja insolación, baja velocidad del viento, temperatura – 0°C	Alta insolación, baja velocidad del viento, temperatura > 18°C
Causas	Combustiones industriales y domésticas	Tránsito automovilístico
contaminantes	Bióxido de azufre, particulado	Óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono, aldehídos, hidrocarburos
Ambiente químico	Reductor	Oxidante
Estación característica	Invierno	Verano
Horario característico	Cerca del amanecer	Medio día
Efectos sobre salud	Irritaciones de las vías respiratorias	Irritaciones de los ojos
Ciudad tipo	Londres	Los Ángeles

El smog clásico o tipo Londres se conoce desde hace mucho tiempo y sus efectos se describían ya en los primeros años de la era industrial, alrededor del 1700. Se forma a consecuencia del estancamiento en la atmósfera de las partículas sólidas y el bióxido de azufre que producen las combustiones, debido a condiciones meteorológicas que favorezcan la aparición de los fenómenos de inversión térmica- Este tipo de smog presenta características químicas reductoras, es decir, las sustancias químicas que están presentes en la atmósfera tienden a permanecer en una forma correspondiente a un contenido de oxígeno más bajo. Por ejemplo, en una atmósfera reductora el bióxido de azufre tiende a quedarse como tal, en tanto que en una atmósfera oxidante tiende a transformarse en trióxido de azufre (SO_3) o en los derivados de éste, como el ácido sulfúrico (H_2SO_4); del mismo modo, en una atmósfera oxidante los óxidos de nitrógeno contendrán un mayor porcentaje de NO_2 .

En comparación con el smog clásico, el fotoquímico se caracteriza por una actividad química mucho más intensa, y presenta una compleja cadena de reacciones que tienen lugar bajo la influencia de la luz; antes de examinar algunos de estos procesos debemos preguntarnos qué es una reacción química y de qué manera se pueden individuar y estudiar las reacciones químicas atmosféricas.

i) Los peligros de un contaminante estable: el efecto invernadero.

Entre los productos que se forman por la combinación del carbono y del oxígeno, el más estable químicamente es el bióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO_2). Su eliminación de la atmósfera ocurre a consecuencia de procesos físicos, como su disolución en las aguas de los mares, a causa de una sola reacción química que tiene lugar en la superficie de contacto entre la Tierra y la atmósfera: la fotosíntesis clorofílica. Ya hemos hablado de esta reacción, mediante la cual el bióxido de carbono se transforma en glucosa o en los derivados de ésta, y hemos visto que para que ocurra es menester la presencia de una sustancia, la clorofila, que se encuentra en las plantas.

Una vez que hemos visto la forma en que ocurren las reacciones, ya estamos en posibilidad de comprender como funcionan las cosas. Prosiguiendo en la analogía de la roca y la montaña, aquí se trata de levantar el peñasco para llevarlo desde el valle hasta la cima. Es evidente que, puesto que la energía final que se deberá emplear es la misma, la tarea resultaría más fácil si, en vez de subir la roca de un solo paso, pudiéramos hacerlo utilizando una serie de escalones; pues bien, la reacción en la que participa la clorofila constituye el primero de esos peldaños.

Desafortunadamente, la cantidad de bióxido de carbono que a causa de las combustiones se introduce en la atmósfera aumenta cada día más, en tanto que las plantas son cada vez menos. Cuando hablamos de plantas debemos dejar las cosas bien claras, porque a este respecto no todas las plantas ejercen el mismo efecto: una hectárea de selva tropical puede fijar, y, por ende, eliminar de la atmósfera, más de 44 toneladas de bióxido de carbono en un año, mientras

que la misma superficie de terreno cultivado fija poco más de 6 toneladas. Si el terreno se recubre de cemento, obviamente esta cantidad se reduce a cero.

El problema es que el oxígeno que produce la selva, con todo y que indudablemente es un bien del que goza toda la población de la Tierra, no constituya en el estado actual de las relaciones internacionales una mercancía que pueda ser vendida. Si no se encuentra la manera de hacer que el costo del mantenimiento de una suficiente masa vegetal se pueda repartir equitativamente entre todas las naciones, las lamentaciones sobre la selva que desaparece para darle paso al cemento van a sonar más bien hipócritas. Aquí, la palabra equitativamente no significa a partes iguales, si no que las naciones ricas deben soportar un costo mayor, es decir, precisamente lo contrario de lo que ocurre hoy en día.

Pero, regresando al bióxido de carbono, el continuo aumento de su concentración media en la atmósfera está perfectamente bien documentado. Resulta oportuno hablar de concentraciones medias porque, al estar vinculado con la vida de las plantas en la forma que hemos visto, el contenido de bióxido de carbono varía según el lugar, la estación del año, la hora del día. No obstante, aparte de estas variaciones, las mediciones indican que la concentración media de CO₂ se incrementa a velocidad creciente. En los años cincuenta, la tasa de aumento era de 0.7ppm al año, mientras que a finales de los setenta esa tasa ya se había doblado con creces. En treinta años, los valores medios han pasado de 315 a 340ppm. Este incremento corresponde a una elevación global de 147000 millones de toneladas.

¿Qué efectos debemos esperar que tenga este aumento en el bióxido de carbono de la atmósfera? Como hemos dicho, las moléculas son capaces de absorber energía luminosa de una determinada longitud de onda. El bióxido de carbono, por ejemplo, es transparente a la luz visible, o sea que se la deja pasar prácticamente inalterada, en tanto que absorbe la luz que posee una longitud de onda un poco mayor que la del primer color que nosotros somos capaces de percibir, es decir, el rojo, y que por esta razón se llama radiación infrarroja (véase la tabla 1.2).

Examinemos, pues, la radiación que, distribuida en las diversas longitudes de onda que constituyen el espectro, nos envía el sol hacia la Tierra. Una parte de ella (el 30%) es reflejada por las nubes, el polvillo, la nieve a los glaciares; otra parte (el 19%) es absorbida por las moléculas que hay en la atmósfera, como las de agua o las del mismo bióxido de carbono. El 51% restante lo absorbe la superficie de la Tierra. Para que el sistema permanezca en equilibrio es preciso que la Tierra vuelva a emitir hacia el espacio una cantidad de energía equivalente, ya que de otro modo la temperatura de la Tierra aumentaría continuamente. Sin embargo, aun cuando la cantidad global de energía que emite la Tierra es igual a la que absorbe, su distribución entre los diversos componentes del espectro es algo distinta. A causa de las interacciones con las moléculas de las sustancias que componen la superficie terrestre, la luz que se emite hacia el espacio contiene un mayor porcentaje de energía correspondiente a las longitudes de onda mayores. Entre éstas figuran ciertamente aquellas radiaciones infrarrojas que de manera característica absorbe el bióxido de carbono. En consecuencia, el CO₂ las captura, para después volverlas a emitir en todas direcciones; una buena parte es dirigida entonces hacia la Tierra y contribuye a elevar la temperatura de ésta. Así, pues, si aumenta la cantidad de bióxido de carbono de la atmósfera, se incrementa igualmente la cantidad de luz infrarroja que se absorbe, y la temperatura media de la Tierra tenderá a elevarse.

Esto es lo que se quiere dar a entender con la expresión efecto invernadero, por más que la mismas no sean del todo exacta, porque el vidrio de un invernadero además de ejercer una acción análoga sobre la composición de la luz que lo atraviesa, constituye también una barrera mecánica para el aire caliente que tiende a abandonar el invernadero.

De todos modos, la presencia y la composición de la atmósfera son aspectos fundamentales para que se mantenga una temperatura dada en la superficie de un planeta; en Venus, donde la atmósfera está constituida principalmente por bióxido de carbono, la temperatura del suelo alcanza los 400 grados, mientras que en Marte, que carece de atmósfera, la temperatura de la superficie es de 50 grados bajo cero.

Basándonos en lo que hemos dicho, ¿qué pronósticos cuantitativos podemos hacer en cuanto a la evolución de la temperatura durante los próximos años? Aunque sea simplificado, un modelo que aspire a hacer previsiones cuantitativas debe tomar en cuenta numerosos factores, tales como: la presencia de otras moléculas (agua, nitrógeno, oxígeno, etc.), las variaciones de la altura de las nubes conforme varía la temperatura, la velocidad de variación de la temperatura según la altitud, la variación del poder reflejante de la superficie terrestre, la influencia del polvillo atmosférico producido por las actividades humanas y las erupciones volcánicas. Este último factor es particularmente importante porque el polvillo atmosférico, al reflejar la luz del sol, tiende a abatir la temperatura, contrarrestando así el efecto del bióxido de carbono; el invierno nuclear, es decir, el abatimiento de la temperatura que se tendría a causa de las partículas sólidas que se lanzarían a la atmósfera en caso de un conflicto atómico generalizado, es una manifestación extrema de este efecto.

Tomando en cuenta todos estos factores ha sido posible calcular las variaciones que se podían prever en cuanto a la temperatura media de los últimos 130 años, y confrontarlos con los valores experimentales. Cada año existe un aumento de medio grado

En caso de que la tasa de aumento del CO_2 siga incrementándose, en los próximos cincuenta años la concentración de bióxido de carbono alcanzara valores del orden del doble de los actuales. De ocurrir así, vendría una elevación de la temperatura de la superficie terrestre, que sería distinta según la latitud; los mayores incrementos se restringirían en las latitudes más septentrionales, con el consiguiente derretimiento de los glaciares, lo que produciría una elevación de la altura del nivel medio de los océanos. Se puede prever, además, una modificación en el régimen de las precipitaciones, de signo positivo para algunas latitudes, y negativo para otras; a consecuencia de ello, algunos ríos verán reducido su caudal, mientras que otros provocarían inundaciones espantosas.

Naturalmente, que estos acontecimientos lleguen a suceder o no, depende en gran medida del tipo de lineamientos que, en materia de energéticos, adopten las naciones más industrializadas.

j) Formas en que se desplazan los contaminantes.

Las sustancias extrañas a la atmosfera, a las que llamamos contaminantes, se emiten en zonas bien precisas, como la chimenea de una fábrica, una calle con fuerte tráfico o un área urbana. A los puntos de emisión se los llama fuentes: en los ejemplos que acabamos de dar, las fuentes se consideran como puntiformes, de una dimensión o de dos dimensiones, respectivamente.

Cada fuente queda caracterizada por su intensidad de emisión, es decir, por la cantidad de contaminantes que arroja en un cierto tiempo. Supongamos que una planta de energía alimentada mediante carbón eche al aire bióxido de azufre a la velocidad de 4 toneladas por hora; su intensidad de emisión será precisamente de este valor, o bien, si nos referimos a un segundo, su valor será de 1.11Hg por segundo. Como veremos, los límites que imponen las normas nacionales a las emisiones, con frecuencia se refieren a las concentraciones que guardan relación con el volumen de los gases emitidos; por ejemplo, la propuesta normativa de la CEE (Comunidad Económica Europea) fija para las instalaciones nuevas un límite de 400mg de SO₂ por Nmc (Nmc significa metro cúbico normal e indica que el volumen de los gases emitidos se mide a la temperatura de cero grados y a la presión de una atmósfera). Para calcular la intensidad de emisión a partir de este dato es preciso conocer, obviamente, los metros cúbicos que se emiten por unidad de tiempo; por ejemplo, si la chimenea emite 700Nmc por segundo, la intensidad de emisión será:

$$400\text{mg por Nmc} \times 700\text{Nmc por seg.} = 280000\text{mg por seg.} = 0.28\text{kg/seg.}$$

En el caso de una fuente lineal (por ejemplo una calle que presente un pesado tráfico vehicular) deberemos tomar en cuenta sus dimensiones y la intensidad se expresará como cantidad emitida por unidad de tiempo y por unidad de longitud; por ejemplo, en gramos por segundo y por metro. Y cuando se trate

de una fuente de dos dimensiones tendremos, claro está, una cantidad por unidad de tiempo y de superficie; por ejemplo, g/seg. * m².

Es obvio que las sustancias emitidas se diluyen y son transportadas por los movimientos de la atmósfera hacia lugares que se hallarán a diversas sustancias del sitio de emisión. La ley define como inmisiones a las concentraciones de contaminantes medidas en el nivel del suelo y a una cierta distancia de la fuente.

Pero entonces, ¿cuál es la relación que existe entre las emisiones de la fuente y las inmisiones que se miden en el suelo? Es decir, si conocemos las intensidades de las emisiones y ciertos valores meteorológicos, ¿estaremos en posibilidad de calcular valores esperados para las concentraciones en el suelo, así como de prever los sitios donde éstas alcanzarán los valores más altos? Está clara la importancia que tiene el hecho de que se sepan contestar estas preguntas, ya sea con el fin de establecer correctamente los métodos de control de la contaminación, o ya para la aplicación de una política ambiental apropiada.

k) La estabilidad de la atmósfera y su poder diluyente.

Ya hemos visto que la estabilidad de la atmósfera depende, esencialmente, de la forma en que varía la temperatura del aire conforme aumenta la altura. Si la velocidad de esta variación es semejante a la que hemos definido como la de equilibrio de alrededor de 6.5 grados por kilómetro, para aire húmedo, la atmósfera se encuentra en condiciones de estabilidad; esto es, las fluctuaciones eventuales se amortiguan rápidamente, en cosa de fracciones de segundo. En cambio, si la variación real es más abrupta que la de equilibrio, las fluctuaciones que ocurren tienen períodos más largos, del orden de minutos. Por lo general, las condiciones de este tipo se instauran durante el día, cuando la energía de la luz solar calienta las capas de aire que se encuentran en contacto inmediato con el suelo. Por el contrario, hacia la puesta de sol, o en la noche, tienden a prevalecer condiciones de estabilidad; por lo demás, es posible darse cuenta de esto observando la pluma de humo de una chimenea. Durante el día, el humo se diluye rápidamente y, a algunos cientos de metros, ya no es visible, mientras que de noche o al oscurecer, la pluma se mantiene compacta incluso a varios kilómetros.

El hecho de que se establezcan determinadas condiciones de estabilidad, aparte de deberse a la irradiación solar, depende también de la acción mecánica de los vientos, es decir, de la velocidad de éstos; y además, ejerce un cierto efecto el hecho de que el terreno subyacente sea más o menos accidentado.

Los meteorólogos han establecido siete categorías de estabilidad de la atmósfera, indicándolas con letras de la A a la G, en orden de estabilidad creciente. La asignación de una categoría a la atmósfera depende de las condiciones de la energía de insolación, medida en mili vatios (mW) por cm^2 , así como de la velocidad del viento, que se mide en metros por segundo. La insolación representa la energía radiante que recibe la Tierra, habida cuenta de la nubosidad del cielo, de la inclinación de los rayos solares y del número de horas diurnas. En la figura 1.19 se muestran las zonas correspondientes a las primeras 4 categorías, que son las únicas que se verifican de día. Durante la noche, la asignación a una categoría de estabilidad se efectúa con base en la fracción de cielo que esté cubierta por nubes, medida en octavos de cielo cubierto.

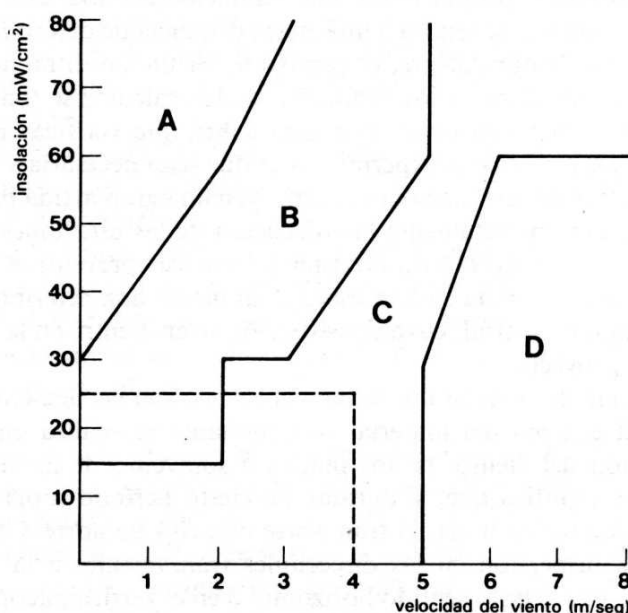


Figura 1.20 Clases de estabilidad de la atmosfera. La clasificación en una cierta categoría queda determinada por los valores del viento (eje horizontal) y de la insolación (eje vertical).

Las líneas punteadas identifican la clase del ejemplo que se da en el texto.²³

²³ Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

I) Manera de calcular la cantidad de contaminantes que se arrojan a la atmósfera.

- Emisiones de fuentes lineales. Calles y tránsito:

Pensemos en una calle que tiene un tránsito automovilístico; por ejemplo, 2000 vehículos por hora. La serpiente de autos que se desplaza sobre esas vías constituye una fuente continua, cuya intensidad de emisión vendrá dada por la cantidad de contaminantes emitida, en determinado tiempo, por cada metro de calle.

Para calcular esta intensidad, simplemente tendremos que multiplicar el número de autos que pasan por segundo, por la cantidad de contaminantes que emiten por cada metro recorrido. Por ejemplo, si recordamos que un automóvil emite aproximadamente 2 g de óxidos de nitrógeno por kilómetro recorrido, tendremos:

$$I = 0.56 \frac{\text{auto}}{\text{segundo}} \times 2 \frac{\text{miligramos}}{\text{metro} \times \text{auto}} = 1.12 \frac{\text{miligramos}}{\text{metro} \times \text{segundo}} \quad (1.6)$$

Una vez que hemos calculado I, el valor de la concentración de NO_x en un punto a cierta distancia x en la dirección del viento se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$C = 0.80 \times \frac{I}{S_y \times u} \quad (1.7)$$

Donde "I" representa la intensidad de emisión, "u" la velocidad del viento y "S_y" la dispersión horizontal.

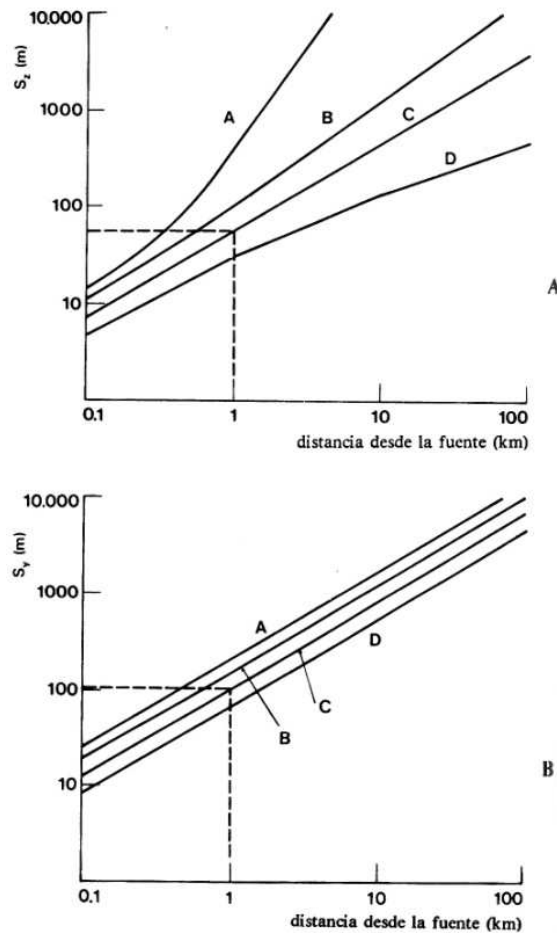


Figura. 1.21 Valores de la dispersión horizontal (A) y de la vertical (B) en función de la distancia con respecto a la fuente.²⁴

Obsérvese que en denominador aparece únicamente la dispersión vertical, y esto se debe a la diferente intensidad de emisión, que ahora se refiere a la unidad de longitud.

Suponiendo una velocidad del viento de 3m por seg, y una insolación de 30 mili vatios por cm^2 , la figura 1.19 nos muestra que la categoría de estabilidad es la indicada por la letra C. Si queremos calcular la concentración de NO_x en un punto a 100 metros del borde de la calle, no tenemos más que encontrar S_z en la figura 1.20. Como se ve, S_z es de aproximadamente 9m. De esta manera, insertando todos los valores en la formula (1.7), podemos ver que la concentración es de unos 0.03mg por m^3 .

²⁴ Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

Cabe decir también en este caso que la contaminación es tanto mayor cuando más baja es la velocidad del viento y cuanto más estable se encuentra la atmósfera.

m) Como limitar la contaminación del aire.

De poca utilidad resultaría el saber medir los niveles de contaminación, si nada se pidiese hacer para remediarlos. ¿Es entonces posible, y por qué medios, limitar la emisión de sustancias indeseables, hasta alcanzar niveles compatibles con una calidad aceptable del aire? ¿Cuáles son los costos que la colectividad debe soportar para el logro de este objetivo, y cómo, en fin, se deben repartir estos costos?

La respuesta a la primera pregunta es ciertamente afirmativa. Existen numerosos métodos para conseguir una sustancial limitación de las emisiones; algunos de éstos proveen el uso de soluciones técnicas aplicadas antes, durante o después de los procesos de combustión; otros implican decisiones económicas y políticas, tales como la adopción de un proceso particular para la producción de un bien, o una adecuada política sobre energéticos o respecto de los transportes.

La contestación a la segunda pregunta es necesariamente más problemática y requiere de algunas consideraciones. Ante todo, debemos darnos cuenta que, si bien la reducción en el nivel mínimo posible o, como se dice, el abatimiento de la infición tiene un costo, también es cierto que ésta provocan daños que se pueden cuantificar en términos monetarios. Por más que la estimación de estos daños presente siempre un cierto margen de arbitrariedad, el Council on Environmental Quality (Consejo para la calidad del ambiente) ha calculado un costo anual de 80 dólares por habitante, atribuible a los efectos de la contaminación. A los costos actuales y para un país como Italia, esto representa más de 10 billones de liras al año y mil cuarenta millones de dólares para el Ecuador. Los aspectos que primordialmente contribuyen a esta cifra son la pérdida de jornadas de trabajo a causa de enfermedad, el uso incompleto de los combustibles, los gastos en que se incurre por tener que estar pintando constantemente las estructuras metálicas, gastos de limpieza y

de pintura en los edificios, daño que sufren los cultivos agrícolas. Se ha calculado que una erogación cuatro veces inferior sería suficiente para adecuar las emisiones a las normas que prevén las disposiciones vigentes. La cuestión será en que quienes padecen los daños de la contaminación y aquellos que deberían proveer los medios para eliminarla, reduciendo sus ganancias, no son los mismos sujetos.

Otras de las consideraciones se refieren al efecto económico que ejercen los dispositivos para el abatimiento de los contaminantes. Es evidente que la adopción de tales dispositivos incrementa el costo de producción de una mercancía; cuando este costo es tal que ya no permite márgenes de utilidad suficientes como para sostener la competencia, su adopción resulta prácticamente imposible. No obstante, y aún aceptando este punto de vista, se pueden hacer dos observaciones.

Antes que nada, demasiado a menudo se ha tratado de demostrar que la implantación de medidas adecuadas para el abatimiento era incompatible con la economía de un proceso; subsiguientemente, la presión de los ciudadanos ha determinado que se adoptaran las medidas necesarias, sin que se hayan presenciado efectos dramáticos sobre el empresario. Por esta razón, es muy importante que los órganos de información no estén en las mismas manos de quienes producen las mercancías.

En segundo lugar, un determinado método de abatimiento puede resultar demasiado costoso, en el sentido que dijimos primero, si es adoptado por una sola industria o por un solo país, en tanto que el costo puede ser soportable si con una adecuada programación y cooperación nacional e internacional se impone su adopción simultánea a todos los interesados. Con tal finalidad, es importante que todos se hallen informados de que hay ciertas cosas que se pueden hacer, así como de la manera en que se las pueda llevar a cabo.

- **El control de las emisiones de los vehículos automotores:**

La limitación de las emisiones de contaminantes por parte de los vehículos es un problema bastante complejo. De hecho, las sustancias indeseables que emiten, presentan características distintas y con frecuencia las condiciones que reducen al mínimo la formación de un tipo de contaminante hacen que aumente aquella de otras sustancias nocivas. Por ejemplo, la formación de monóxido de carbono y de hidrocarburos se incrementa cuando existe una baja relación entre la cantidad de aire y la de combustible, en tanto que la formación de óxidos de nitrógeno alcanza un máximo cuando la cantidad de aire es aproximadamente igual a la exactamente necesaria para quemar la totalidad del combustible. La razón de todo esto es que en estas últimas condiciones se tiene el valor máximo de temperatura, mientras que si se incrementa todavía la relación aire/combustible, el exceso de aire enfría los gases de la flama.

En general, los automóviles menos eficientes y con baja relación de compresión, ya sea por desgaste o ya por diseño, emiten una mayor cantidad de hidrocarburos. Esto ocurre debido a que, en estas condiciones, se crea una brusca disminución de la temperatura en las cercanías de las paredes del cilindro; en esta zona la combustión no se lleva a cabo eficientemente; una parte de los hidrocarburos queda sin utilizar y pasa a la atmósfera junto con los gases del escape. El efecto es tanto mayor cuanto más viejo y sometido a desgaste este el motor.

Por otro lado, cuanto mayor es el esfuerzo bajo el cual trabaja el motor, como por ejemplo cuando se le aumenta el número de revoluciones por minuto, tanto mayor es la cantidad de óxidos de nitrógeno que se forman. Por esta razón, las emisiones de óxidos de nitrógeno se harán disminuir con cualquier método mediante el cual se abata la temperatura de la combustión. Con tal propósito se podrían usar diversos medios, que en parte son similares a los que ya hemos visto para las instalaciones fijas de combustión. Por ejemplo, podemos hallar la manera de reciclar parcialmente los gases o de modificar el diseño de la cámara de pre combustión con una mezcla rica de combustible y, desde ahí, los gases se expanden hacia la cámara principal. También con la inyección de agua se puede abatir la emisión de óxidos de nitrógeno hasta un 25%. La reducción

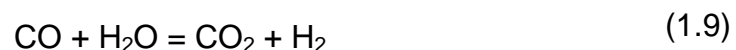
simultánea de los NO_x, de los hidrocarburos y del monóxido de carbono se puede obtener con mezclas ricas en aire (es decir, con relaciones aire combustible del orden de 20); normalmente, el motor trabaja en condiciones diferentes, esto es, con relaciones más bajas, pero ciertas investigaciones técnicas han demostrado que por este camino se puede lograr algún resultado.

La reducción de las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos se puede realizar tratando de completar la combustión, que en la cámara de explosión no ocurre de manera total. Con esta finalidad, los gases de escapes se mandan a una cámara anexa al motor que se mantiene a una elevada temperatura. En esta cámara, los gases de la combustión se mezclan con aire adicional proveniente del exterior y, de esta manera, se completa el proceso de combustión.

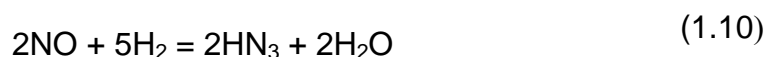
Puesto que en los gases de descarga están presentes sustancias ya oxidantes, como el óxido nítrico, o ya reductoras, como el monóxido de carbono, parece muy seductora la posibilidad de encontrar un catalizador capaz de hacer reaccionar estas sustancias entre sí, transformándolas en productos menos nocivos. La reacción completa podría ser la siguiente:



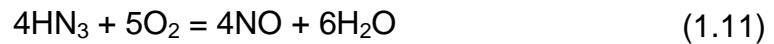
En la práctica, debido a que la cantidad de CO es cuando menos cinco veces superior a la del NO, serían necesarios dos catalizadores; el primero para provocar la reacción [1.8], y el segundo para completar la oxidación de monóxido de carbono excedente. La dificultad principal, empero, está en el hecho de que en los gases de escape se halla presente agua, y ésta, en presencia del catalizador produciría hidrógeno, a causa de la reacción:



El hidrógeno, a su vez, reduciría el NO a amoníaco:



En el segundo catalizador, el amoníaco sería reducido a óxido de nitrógeno:



Por consiguiente, no habríamos obtenido ningún gran resultado.

Así, pues, los catalizadores que efectivamente se utilizan quedan limitados a efectuar la oxidación del monóxido de carbono y de los hidrocarburos, a bióxido de carbono y agua. Mas aún con esto los problemas no son diferentes porque, por ejemplo, los compuestos de plomo que se agregan a la gasolina como aditivos envenenan al catalizador y rápidamente lo vuelven ineficaz. Además, el catalizador resulta bastante costoso porque está hecho a base de materiales nobles y tiene que ser sustituido tras un determinado número de kilómetros.

La emisión de hollín por parte de los motores queda limitada gracias a la presencia de radicales oxidrilo, ya que éstos transforman el carbono en monóxido de carbono:



Por esta razón se ha sugerido utilizar como aditivo el hidróxido de bario $\text{Ba}(\text{OH})_2$ que podría ser una fuente de radicales OH; sin embargo, tal sugerencia no ha encontrado una acogida generalizada debido, igualmente, a que algunos compuestos del bario, como los cloruros, están lejos de ser inocuos.

En general, para el abatimiento de las emisiones de los vehículos automotores es válido el mismo discurso que se hizo al respecto de las fuentes fijas de contaminación: no existen soluciones milagrosas, pero seguramente es posible lograr una sustancial reducción de dichas emisiones, si se hace prevalecer la idea de que es preciso que asumamos el costo.

1.1.1.4 Recursos energéticos.

Los recursos energéticos engloban dos grandes grupos de fuentes energéticas: las renovables y las no renovables.

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

- El Sol: energía solar.
- El viento: energía eólica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Las olas: energía undimotriz.
- La llegada de masas de agua dulce a masas de agua salada: energía azul.

Las contaminantes se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, y se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica o en biodiesel, mediante reacciones de transesterificación de los residuos urbanos.

Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles: en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, y a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas sólidas. Se encuadran dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen, no se agotarán. También se consideran más limpias que sus equivalentes fósiles, porque teóricamente el dióxido de carbono emitido en la combustión ha sido previamente absorbido al transformarse en materia orgánica mediante fotosíntesis. En realidad no es equivalente la cantidad absorbida previamente con la emitida en la combustión, porque en los procesos de siembra, recolección, tratamiento y transformación, también se consume energía, con sus correspondientes emisiones.

Además, se puede atrapar gran parte de las emisiones de CO₂ para alimentar cultivos de micro algas, ciertas bacterias y levaduras (potencial fuente de fertilizantes y piensos), sal [en el caso de las micro algas de agua salobre o salada] y biodiesel/etanol respectivamente, y medio para la eliminación de hidrocarburos y dioxinas en el caso de las bacterias y levaduras (proteínas petrolíferas) y el problema de las partículas se resuelve con la gasificación y la combustión completa (combustión a muy altas temperaturas, en una atmósfera muy rica en O₂) en combinación con medios descontaminantes de las emisiones como los filtros y precipitadores de partículas (como el precipitador Cottrel), o como las superficies de carbón activado.

También se puede obtener energía a partir de los residuos sólidos urbanos y de los lodos de las centrales depuradoras y potabilizadoras de agua. Energía que también es contaminante, pero que también lo sería en gran medida si no se aprovechara, pues los procesos de pudrición de la materia orgánica se realizan con emisión de gas natural y de dióxido de carbono.

a) Las Fuentes de Energía.

- No renovables:

Los combustibles fósiles son recursos no renovables: no podemos reponer lo que gastamos. En algún momento, se acabarán, y tal vez sea necesario disponer de millones de años de evolución similar para contar nuevamente con ellos. Son aquellas cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso. Las principales son la energía nuclear y los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural y el carbón).

I. Energía fósil

Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas,

y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno, de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía. La energía fósil se saca de la explotación del petróleo, el gas o el carbón. Estos residuos – hidrocarburos - proceden de la descomposición de organismos vivos durante eras geológicas, por acción de la temperatura, la presión y determinadas bacterias. Al contrario de las energías renovables, la producción de energía fósil se va gastando conforme se agotan las reservas del planeta. La energía más utilizada en el mundo es la energía fósil. Si se considera todo lo que está en juego, es de suma importancia medir con exactitud las reservas de combustibles fósiles del planeta. Se distinguen las “reservas identificadas” aunque no estén explotadas, y las “reservas probables”, que se podrían descubrir con las tecnologías futuras. Según los cálculos, el planeta puede suministrar energía durante 40 años más (si sólo se utiliza el petróleo) y más de 200 (si se sigue utilizando el carbón). Hay alternativas actualmente en estudio: la energía fósil –nuclear y no renovable-, las energías renovables, las pilas de hidrógeno o la fusión nuclear.

II. Energía nuclear

El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua. Se obtiene al romper los átomos de minerales radiactivos en reacciones en cadena que se producen en el interior de un reactor nuclear.

Una consecuencia de la actividad de producción de este tipo de energía, son los residuos nucleares, que pueden tardar miles de años en desaparecer y tardan mucho tiempo en perder la radiactividad.

- **Renovables:**

Las fuentes de energía se pueden dividir en dos grandes subgrupos: permanentes (renovables) y temporales (no renovables). En principio, las fuentes permanentes son las que tienen origen solar, de hecho, se sabe que el Sol permanecerá por más tiempo que la Tierra. Aun así, el concepto de renovabilidad depende de la escala de tiempo que se utilice y del ritmo de uso de los recursos.

Así, los combustibles fósiles se consideran fuentes no renovables ya que la tasa de utilización es muy superior al ritmo de formación del propio recurso

I. Energía hidráulica.

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico.

II. Biomasa

La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.

III. Energía solar

La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares.

Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

Se distinguen dos componentes en la radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones. Sin embargo, tanto la radiación directa como la radiación difusa son aprovechables.

Se puede diferenciar entre receptores activos y pasivos en que los primeros utilizan mecanismos para orientar el sistema receptor hacia el Sol -llamados seguidores- y captar mejor la radiación directa.

Una importante ventaja de la energía solar es que permite la generación de energía en el mismo lugar de consumo mediante la integración arquitectónica. Así, podemos dar lugar a sistemas de generación distribuida en los que se eliminan casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte -que en

la actualidad suponen aproximadamente el 40% del total- y la dependencia energética.



Figura 1.22 Colectores solares parabólicos que concentran la radiación solar aumentando temperatura en el receptor.²⁵

Las diferentes tecnologías fotovoltaicas se adaptan para sacar el máximo rendimiento posible de la energía que recibimos del sol. De esta forma por ejemplo los sistemas de concentración solar fotovoltaica (CPV por sus siglas en inglés) utiliza la radiación directa con receptores activos para maximizar la producción de energía y conseguir así un coste menor por kW/h producido.



Figura 1.23 Paneles solares que convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica.²⁶

²⁵ www.psa.com.es

²⁶ www.amt-solar.com

IV. Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire.



Figura 1.24 Una central eólica para generación de electricidad.²⁷

La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión).

V. Energía geotérmica

Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

²⁷ www.freewebs.com

VI. Energía mareomotriz

La energía mareomotriz se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes durante la fase de explotación. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y el impacto ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía.



Figura 1.25 Central eléctrica mareomotriz.²⁸

²⁸ www.kalipedia.com

Otras formas de extraer energía del mar son la energía undimotriz, que es la energía producida por el movimiento de las olas; y la energía debida al gradiente térmico oceánico, que marca una diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas del océano.

- **Ventajas e inconvenientes de la energía renovable:**

I. Energías ecológicas.

Las fuentes de energía renovables son distintas a las de combustibles fósiles o centrales nucleares debido a su diversidad y abundancia. Se considera que el Sol abastecerá estas fuentes de energía (radiación solar, viento, lluvia, etc.) durante los próximos cuatro mil millones de años. La primera ventaja de una cierta cantidad de fuentes de energía renovables es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones, contrariamente a lo que ocurre con los combustibles, sean fósiles o renovables. Algunas fuentes renovables no emiten dióxido de carbono adicional, salvo los necesarios para su construcción y funcionamiento, y no presentan ningún riesgo suplementario, tales como el riesgo nuclear.

No obstante, algunos sistemas de energía renovable generan problemas ecológicos particulares. Así pues, los primeros aerogeneradores eran peligrosos para los pájaros, pues sus aspas giraban muy deprisa, mientras que las centrales hidroeléctricas pueden crear obstáculos a la emigración de ciertos peces, un problema serio en muchos ríos del mundo.

II. Naturaleza difusa

Un problema inherente a las energías renovables es su naturaleza difusa, con la excepción de la energía geotérmica la cual, sin embargo, sólo es accesible donde la corteza terrestre es fina, como las fuentes calientes y los géiseres.

Puesto que ciertas fuentes de energía renovable proporcionan una energía de una intensidad relativamente baja, distribuida sobre grandes superficies, son necesarias nuevos tipos de "centrales" para convertirlas en fuentes utilizables.

Para generar 1.000kWh de electricidad, consumo anual per cápita en los países occidentales, el propietario de una vivienda ubicada en una zona nublada de Europa debe instalar ocho metros cuadrados de paneles fotovoltaicos (suponiendo un rendimiento energético medio del 12,5%).

Sin embargo, con cuatro metros cuadrados de colector solar térmico, un hogar puede obtener gran parte de la energía necesaria para el agua caliente sanitaria aunque, debido al aprovechamiento de la simultaneidad, los edificios de pisos pueden conseguir los mismos rendimientos con menor superficie de colectores y, lo que es más importante, con mucha menor inversión por vivienda.



Figura 1.26 Batería de paneles solares.²⁹

III. Irregularidad

La producción de energía eléctrica permanente exige fuentes de alimentación fiables o medios de almacenamiento (sistemas hidráulicos de almacenamiento por bomba, baterías, futuras pilas de combustible de hidrógeno, etc.). Así pues, debido al elevado coste del almacenamiento de la energía, un pequeño sistema autónomo resulta raramente económico, excepto en situaciones aisladas, cuando la conexión a la red de energía implica costes más elevados.

²⁹ www.parquesfotovoltaicos.com

IV. Fuentes renovables contaminantes

En lo que se refiere a la biomasa, es cierto que almacena activamente el carbono del dióxido de carbono, formando su masa con él y crece mientras libera el oxígeno de nuevo, al quemarse vuelve a combinar el carbono con el oxígeno, formando de nuevo dióxido de carbono. Teóricamente el ciclo cerrado arrojaría un saldo nulo de emisiones de dióxido de carbono, al quedar las emisiones fruto de la combustión fijadas en la nueva biomasa. En la práctica, se emplea energía contaminante en la siembra, en la recolección y la transformación, por lo que el balance es negativo.

Por otro lado, también la biomasa no es realmente inagotable, aun siendo renovable. Su uso solamente puede hacerse en casos limitados. Existen dudas sobre la capacidad de la agricultura para proporcionar las cantidades de masa vegetal necesaria si esta fuente se populariza, lo que se está demostrando con el aumento de los precios de los cereales debido a su aprovechamiento para la producción de biocombustibles. Por otro lado, todos los biocombustibles producen mayor cantidad de dióxido de carbono por unidad de energía producida que los equivalentes fósiles.

La energía geotérmica no solo se encuentra muy restringida geográficamente sino que algunas de sus fuentes son consideradas contaminantes. Esto debido a que la extracción de agua subterránea a alta temperatura genera el arrastre a la superficie de sales y minerales no deseados y tóxicos. La principal planta geotérmica se encuentra en la Toscana, cerca de la ciudad de Pisa y es llamada Central Geotérmica de Larderello. En Argentina la principal central fue construida en la localidad de Copahue y en la actualidad se encuentra fuera de funcionamiento la generación eléctrica. El surgente se utiliza para calefacción distrital, calefacción de calles y aceras y baños termales

V. Diversidad geográfica

La diversidad geográfica de los recursos es también significativa. Algunos países y regiones disponen de recursos sensiblemente mejores que otros, en

particular en el sector de la energía renovable. Algunos países disponen de recursos importantes cerca de los centros principales de viviendas donde la demanda de electricidad es importante. La utilización de tales recursos a gran escala necesita, sin embargo, inversiones considerables en las redes de transformación y distribución, así como en la propia producción.

VI. Administración de las redes eléctricas

Si la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables se generalizase, los sistemas de distribución y transformación no serían ya los grandes distribuidores de energía eléctrica, pero funcionarían para equilibrar localmente las necesidades de electricidad de las pequeñas comunidades. Los que tienen energía en excedente venderían a los sectores deficitarios, es decir, la explotación de la red debería pasar de una "gestión pasiva" donde se conectan algunos generadores y el sistema es impulsado para obtener la electricidad "descendiente" hacia el consumidor, a una gestión "activa", donde se distribuyen algunos generadores en la red, debiendo supervisar constantemente las entradas y salidas para garantizar el equilibrio local del sistema. Eso exigiría cambios importantes en la forma de administrar las redes.

Sin embargo, el uso a pequeña escala de energías renovables, que a menudo puede producirse "in situ", disminuye la necesidad de disponer de sistemas de distribución de electricidad. Los sistemas corrientes, raramente rentables económicamente, revelaron que un hogar medio que disponga de un sistema solar con almacenamiento de energía, y paneles de un tamaño suficiente, sólo tiene que recurrir a fuentes de electricidad exteriores algunas horas por semana. Por lo tanto, los que abogan por la energía renovable piensan que los sistemas de distribución de electricidad deberían ser menos importantes y más fáciles de controlar.

VII. La integración en el paisaje

Un inconveniente evidente de las energías renovables es su impacto visual en el ambiente local. Algunas personas odian la estética de los generadores

eólicos y mencionan la conservación de la naturaleza cuando hablan de las grandes instalaciones solares eléctricas fuera de las ciudades. Sin embargo, todo el mundo encuentra encanto en la vista de los "viejos molinos a viento" que, en su tiempo, eran una muestra bien visible de la técnica disponible.

Otros intentan utilizar estas tecnologías de una manera eficaz y satisfactoria estéticamente: los paneles solares fijos pueden duplicar las barreras anti-ruido a lo largo de las autopistas, hay techos disponibles y podrían incluso ser sustituidos completamente por captadores solares, células fotovoltaicas amorfas que pueden emplearse para teñir las ventanas y producir energía, etc.



Figura 1.27 Aerogenerador.³⁰

VIII. Las fuentes de energía renovables en la actualidad

Representan un 20% del consumo mundial de electricidad, siendo el 90% de origen hidráulico. El resto es muy marginal: biomasa 5,5%, geotérmica 1,5%, eólica 0,5% y solar 0,05%.

³⁰ www.mailkelnai.es

Alrededor de un 80% de las necesidades de energía en las sociedades industriales occidentales se centran en torno a la industria, la calefacción, la climatización de los edificios y el transporte (coches, trenes, aviones). Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones a gran escala de la energía renovable se concentra en la producción de electricidad.



Figura 1.28 Central hidroeléctrica.³¹

En España, las renovables fueron responsables del 19,8 % de la producción eléctrica. La generación de electricidad con energías renovables superó en el año 2007 a la de origen nuclear.

b) Alternativas y posibles soluciones energéticas.

– El ahorro de energéticos y las energías alternativas:

A nuestra civilización se la ha definido, con justicia, como una civilización de consumo; esta expresión, empero, se puede entender de dos maneras: por un lado, significa que cada uno de nosotros tiene a su disposición una cantidad de bienes y servicios que era indispensable hace solamente cincuenta años, y esto es ciertamente positivo; por otro lado, también quiere decir que

³¹ www.lenntech.com

consumimos, es decir, agotamos de manera irreversible, reservas que la naturaleza ha acumulado en cientos de millones de años. Pensemos en las reservas de combustibles: aún no existe una valuación unánime en cuanto a lo que éstos puedan durar, pero es seguro que se trata de decenas de años, y no de siglos.

De igual manera, respecto del uso de las mercancías, el comportamiento que prevalece, que de hecho es fomentado por la omnipresente y cada vez más omnipotente publicidad, es en el sentido de una utilización todo lo más parcial que sea posible, de tal manera que siempre haya nuevos modelos de todas las cosas, que se puedan producir y vender. Pero para producir mercancías se requiere de energía, y con frecuencia incluso para eliminar las mercancías que tan poco se han usado es preciso gastar aún más energía adicional. Más energía, empero, significa, como ya hemos visto, más contaminación; así, uno de los métodos más eficaces para limitar la infición consiste en limitar nuestras necesidades de energía.

Pongamos unos cuantos ejemplos: consumimos grandes cantidades de energía para calentar nuestras viviendas, así como para enfriarlas puesto que cada vez nos volvemos más exigentes en materia de comodidad. No obstante, bastaría con construirlas apegándonos a mejores criterios, aislándolas térmicamente de manera más apropiada, para que disminuyeran nuestras necesidades de energía. Puesto que la mayor dispersión de calor ocurre a través de los vidrios, un doble vidrio con espacio intermedio de aire constituiría ya una buena aportación. Y si es absolutamente necesario que consumamos combustible para la calefacción, es a todas luces necio utilizar energía eléctrica con esta finalidad, porque, como ya hemos visto, con ello se desperdicia necesariamente más de la mitad del combustible utilizado.

Otro gran despilfarro es el que realiza el sector de los transportes; nuestra vida está organizada de manera tal, que a menudo vivimos en casa muy alejadas del lugar de trabajo. Esto origina el fenómeno de la “pendularidad”: dos veces al día, grandes masas de personas se trasladan desde su vivienda a los sitios que trabajan, y viceversa. La mayor parte de estos desplazamientos se efectúa por las calles y a través de medios de transporte individuales (los automóviles).

Debido a la alta relación entre peso y carga útil, un automóvil principalmente se transporta principalmente así mismo. Son evidentes las ventajas que se obtendrían mediante un sistema integrado y racional entre ferrocarriles y medios de transporte públicos. Lo menos que se puede decir en cuanto a la política de los transportes que se ha seguido en nuestro país es que no se ha orientado en esa dirección.

Si bien resulta fácil indicar cuáles son aquellos campos en los que se puede realizar un ahorro de energéticos, no lo es tanto organizar la vida a manera de llevar esto a cabo de una manera práctica; el sistema de distribución y del uso de la energía es muy complejo, y su optimización no es tarea sencilla, sobre todo en Italia, donde son muy pocas las cosas que se optimizan. Por otro lado, es inevitable que haya una redundancia; es decir, no se puede producir exactamente sólo la cantidad de energía que se calcula en el escritorio; pero entre esto y los gigantescos derroches que se hacen, ciertamente existe espacio para soluciones más racionales. Para implantar una política seria de ahorro de energéticos se requiere de tiempos no inferiores a los necesarios para la construcción de nuevas instalaciones, así como de inversiones económicas de no menor monto. Es preciso planificar de manera racional la forma de construir, los asentamientos individuales y productivos, los transportes. Del mismo modo, es necesario modificar la manera de concebir la vida, en lo concerniente a la flexibilidad de los horarios de trabajo, escalonamiento de las vacaciones, etcétera.

Cierto es que la tecnología moderna tiende a reducir el consumo de energía por unidad de producto: la telematización hace menos necesarias las grandes unidades productivas; la industria química se orienta hacia la química fina, que inherentemente es menos contaminante y que consume menos energía. No obstante, puesto que la producción global de mercancías aumenta, no se tiene una menor producción de energía sino que, como máximo, se frena un poco la velocidad a la que se incrementa la energía producida. Además del necesario ahorro de energéticos se deben buscar, pues, otros caminos, a saber: escoger las formas menos contaminantes de producción de energía, esto es, las llamadas fuentes alternativas, y darles preferencia; en el campo de las energías tradicionales, optar por aquellas tecnologías de combustión, por ejemplo que

provoquen los menores daños al ambiente; dotar a todas las instalaciones con los medios más modernos para el abatimiento de la contaminación.

– **Las fuentes alternativas:**

Las fuentes energéticas alternativas son renovables; es decir, a diferencia de los combustibles fósiles, la naturaleza las regenera de manera continua. Examinaremos aquí la energía del viento y aquella que proviene directamente del sol.

I. La energía del viento.

La energía del viento es una materia prima que no cuesta nada. Su explotación para obtener energía es muy antigua; basta con pensar con las naves de vela o en los molinos que caracterizan el paisaje holandés. Por ende, resulta muy atractiva la idea de utilizar el viento para mover el eje de un rotor acoplado a un generador de electricidad. Pero el viento es más bien inconstante en cuanto a su dirección y a su velocidad; se puede pasar de la calma total a las ráfagas de una tempestad. La fuerza con la que el viento impele las aspas de un rotor depende del cuadrado de su velocidad, en tanto que la potencia, o sea, la energía que se puede obtener en un determinado tiempo, es función nada menos que del cubo de la velocidad. Esto significa que si la velocidad del viento disminuye a la mitad o se incrementa al doble, la energía pasa a ser, respectivamente, la octava parte u ocho veces la original. Por lo demás, la potencia susceptible de obtenerse por unidad de superficie es bastante modesta: con un viento que sople a la velocidad de 5 m por segundo, la potencia máxima que se puede extraer es de 75 vatios por metro cuadrado, de las cuales hay que sustraer las inevitables pérdidas.

La tecnología ofrece soluciones para ambos tipos de inconveniente; para remediar la inconstancia, los generadores eólicos o aerogeneradores se enlazan en paralelo con otros tipos de generadores, de tal manera que éstos puedan sustituirlos durante los períodos de calma; existen también dispositivos de varios tipos para controlar mecánicamente el número de revoluciones por minuto, con objeto de que los generadores puedan soportar los vientos demasiados fuertes.

La baja potencia por unidad de superficie obliga a tener aspas con grades secciones transversales, así como con un adecuado diseño aerodinámico de las mismas. Todo esto, claro está, hace que aun cuando la materia prima sea completamente gratuita, el costo de la energía producida resulte todavía superior al que se tiene con los combustibles tradicionales. A pesar de ello, en los países más industrializados el número de los aerogeneradores, simple o en batería, que pasan a integrarse a la red existente, va en constante aumento.

II. Energía limpia obtenida directamente desde el sol.

Para obtener energía limpia directamente desde el sol se lo puede hacer de dos modos. En el primero, que es el más sencillo, se hace que la luz del sol sea absorbida por una superficie de acero inoxidable, pintada de negro; de hecho, el negro absorbe prácticamente toda la radiación. Así, buena parte de la energía luminosa se transforma en calor, el cual se le sustrae a la placa mediante una película de agua, y se acumula en un depósito. De esta manera se puede obtener agua caliente para usos domésticos, sanitarios, agrícolas, etcétera.

El otro método implica una tecnología más refinada, pero permite transformar luz directamente en energía eléctrica que, como hemos visto, es una forma más noble de energía. El dispositivo con el que se logra esto se conoce con el nombre de celda fotovoltaica.

Para entender como funciona, imaginemos un trozo de silicio. El átomo de silicio tiene una estructura similar a la del carbono; ambos poseen una capa externa formada por cuatro electrones. Estos electrones se utilizan para formar enlaces con otros cuatro átomos de silicio; todo enlace está formado por un par de electrones, cada uno de los cuales lo aporta uno de los átomos que participan en el enlace. La representación esquemática de un cristal de silicio es, poco más o menos, la siguiente:

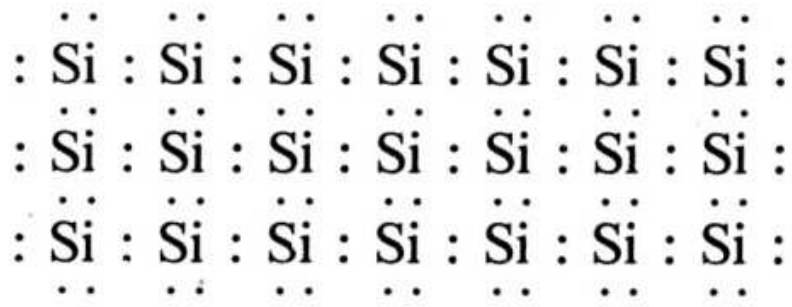


Figura 1.29 Cristal de silicio.³²

Naturalmente, éste no es más que un pedazo de la estructura, que se extiende a miles y miles de millones de átomos. Puesto que todos los electrones externos están empeñados en formar enlaces, aquellos no se encuentran disponibles para transportar corriente eléctrica. Sin embargo, si el silicio es bombardeado por una radiación luminosa que posea la energía suficiente, esta energía puede ser utilizada para romper uno de los enlaces, y entonces el electrón que se le ha arrancado al enlace constituye una carga negativa que puede conducir la corriente, mientras que en el lugar que ocupaba queda una carga positiva, a la que se llama hoyo, que también contribuye a la conductibilidad eléctrica.

Supongamos ahora que cortamos dos plaquitas de este material y que insertamos en ellas átomos extraños, en una cantidad de aproximadamente uno por cada millón de átomos de silicio. En una de las plaquitas, en particular, se introducen átomos que posean electrones excedentes, con respecto a los cuatro de silicio. Por ejemplo, si un átomo tiene cinco electrones en la órbita externa, podrá utilizar cuatro para insertarse en la estructura en lugar de un átomo de silicio, pero el quinto no formará ningún enlace y se lo podrá desplazar muy fácilmente. Puesto que existe un gran número de cargas negativas disponibles para conducir corriente, se dice que se ha creado un semiconductor de tipo n, donde la n significa negativo.

En la otra plaquita, en cambio, se introducen átomos que poseen un electrón menos que el silicio. Es como si dispusiera de sitios huecos que pueden ser ocupados por

³² Obtenido del libro "La Contaminación Atmosférica" de Maurizio Caseli

los electrones de enlace de la estructura, creando así agujeros; puesto que los agujeros son positivos, a éste se le denomina un semiconductor de tipo p.

Cuando un semiconductor de tipo n se pone en contacto con uno de tipo p, se crea en esa zona un campo eléctrico que favorece la separación de aquellos pares de cargas que se forman por efecto de la radiación luminosa. Si, por ejemplo, las dos plaquitas se colocan una sobre la otra y la superior es un semiconductor de tipo n y la inferior un semiconductor de tipo p, las cargas negativas son empujadas hacia afuera del campo eléctrico y hacia la superficie superior, en tanto que las positivas son impulsadas hacia las inmediaciones de la superficie inferior. Haber logrado separar las cargas significa ya haber obtenido energía. De hecho, vinculando las dos superficies a un circuito externo mediante un cable conductor, en este circuito pasará corriente mientras la celda fotovoltaica sea bombardeada por la luz.

Está claro que el material debe ser transparente, con objeto de que la luz pueda llegar a las cercanías del campo eléctrico que se halla en la zona de contacto, donde las cargas formadas por la luz tengan la máxima probabilidad de ser separadas.

El sol manda sobre la tierra alrededor de 1000 vatios por metro cuadrado, distribuidos esencialmente en un espectro con longitudes de onda que van de los 400 a los 2500 nanómetros. Una celda fotovoltaica de silicio es capaz de utilizar la radiación hasta un poco más de los 1000 nanómetros. Sin embargo, no toda esta energía se puede transformar en corriente, y el rendimiento práctico de una celda no supera el 14%. Éste es un valor más bajo que el de una planta tradicional a base de combustible, pero hay que considerar, naturalmente, que perder el 60% de un combustible costoso es mucho más desventajoso que perder el 90% de una energía que no cuesta nada; esto sin contar las enormes ventajas desde el punto de vista de la contaminación.

Se entiende que la mayor parte del costo de este tipo de energía limpia se debe al precio de los materiales. Lo cierto es que el material que constituye el punto de partida debe poseer un elevado grado de pureza, a manera de que se introduzcan en él solamente los átomos que son necesarios para el funcionamiento. No

obstante, en cosa de unos diez años los precios ya han descendido, y se pueden prever avances futuros. Por ejemplo, sustituyendo el silicio cristalino por el amorfo, se puede reducir notablemente el espesor de las celdas, con lo cual se logra un gran ahorro en material costoso.

1.1.2 Tecnologías de propulsión de vehículos.

A lo largo del tiempo en que se han fabricado vehículos con propulsión propia se han creado y se han utilizado varias tecnologías, luego del uso de medios de propulsión rústica como el ser jalado por animales o la propulsión humana.

Dentro de los sistemas de propulsión más comunes actualmente y más utilizados tenemos:

- Los motores de combustión interna.

- Los motores a base de hidrógeno

- Los motores a base de vapor

- Los motores a reacción

- Los sistemas híbridos (a base de motores eléctricos), etc.

En este estudio vamos a analizar los más importantes y utilizados comúnmente.

1.1.2.1 Motor de combustión interna.

Un motor de combustión interna es una máquina que obtiene energía mecánica producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor. Se emplean motores de combustión interna de cuatro tipos:

- El motor cíclico Otto, cuyo nombre proviene de Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina que se emplea en automoción y aeronáutica.

- El motor diésel, llamado así en honor del ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasóleo. Se emplea en instalaciones generadoras de energía eléctrica, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y automóviles.
- El motor rotatorio.
- La turbina de combustión

a) Motores encendidos por chispa.

Los motores encendidos por chispa también se los denominan de ciclo Otto en honor a su creador. El ciclo Otto es el ciclo termodinámico ideal que se aplica en los motores de combustión interna. Se caracteriza porque todo el calor se aporta a volumen constante. El ciclo consta de cuatro procesos:

- 1-2: Admisión
- 2-3: Compresión adiabática, aporte de calor a volumen constante. La presión se eleva rápidamente antes de comenzar el tiempo útil
- 3-4: Fuerza, adiabática o parte del ciclo que entrega trabajo
- 4-1: Escape, cesión del calor residual al medio ambiente a volumen constante.

Hay dos tipos de motores que se rigen por el ciclo de Otto, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos. Este, junto con el motor diésel, es el más utilizado en los automóviles ya que tiene un buen rendimiento y contamina mucho menos que el motor de dos tiempos.

– Ciclos del motor:

Un motor en ciclo Otto cumple ciclos tanto para dos tiempos como para cuatro tiempos como tenemos:

I. Ciclo de dos tiempos.

1. (Admisión - Compresión). Cuando el pistón alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior) empieza a desplazarse hasta el PMS (Punto Muerto Superior), creando una diferencia de presión que aspira la mezcla de aire y gasolina por la lumbrera de admisión. Cuando el pistón tapa la lumbrera, deja de entrar mezcla, y durante el resto del recorrido el pistón la comprime.
2. (Expansión - Escape de Gases). Una vez que el pistón ha alcanzado el PMS y la mezcla está comprimida, se la enciende por una chispa entre los dos electrodos de la bujía, liberando energía y alcanzando altas presiones y temperaturas en el cilindro. El pistón se desplaza hacia abajo, realizando trabajo hasta que se descubre la lumbrera de escape. Al estar a altas presiones, los gases quemados salen por ese orificio.

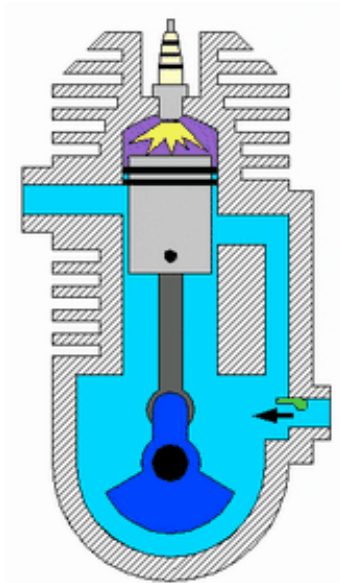


Figura 1.30 Motor de dos tiempos.³³

El rendimiento de este motor es inferior respecto al motor de 4 tiempos, ya que tiene un rendimiento volumétrico menor y el escape de gases es menos eficaz. También son más contaminantes. Por otro lado, suelen dar más potencia para la misma cilindrada, ya que este hace una explosión en cada revolución,

³³ www.wikipedia.org

mientras el motor de 4 tiempos hace una explosión por cada 2 revoluciones, y cuenta con más partes móviles.

Éste tipo de motores se utilizan mayoritariamente en motores de poca cilindrada (motocicletas, cortacésped, moto sierras, etc), ya que es más barato y sencillo de construir.

II. Ciclo de cuatro tiempos.

1. Durante la primera fase el pistón se desplaza hasta el PMI y la válvula de admisión permanece abierta, permitiendo que se aspire la mezcla de combustible y aire hacia dentro del cilindro.
2. Durante la segunda fase las válvulas permanecen cerradas y el pistón se mueve hacia el PMS, comprimiendo la mezcla de aire y combustible. Cuando el pistón llega al final de esta fase, la bujía se activa y enciende la mezcla.
3. Durante la tercera fase se produce la combustión de la mezcla, liberando energía que provoca la expansión de los gases y el movimiento del pistón hacia el PMI. Se produce la transformación de la energía química contenida en el combustible en energía mecánica transmitida al pistón. El la trasmite a la biela, y la biela la trasmite al cigüeñal, de donde se toma para su utilización.
4. En la cuarta fase se abre la válvula de escape y el pistón se mueve hacia el PMS, expulsando los gases producidos durante la combustión y quedando preparado para empezar un nuevo ciclo.

Para mejorar el llenado del cilindro, también se utilizan sistemas de sobrealimentación. Una de las formas de llegar a una sobre alimentación bien "equilibrada" (ya que la mezcla de nafta y aire tiene que ser justa para una buena combustión) es poniendo un filtro de aire de admisión directa que hace que no haya excedentes de nafta en la cámara de compresión ya que los filtros convencionales frenan mucho el aire.

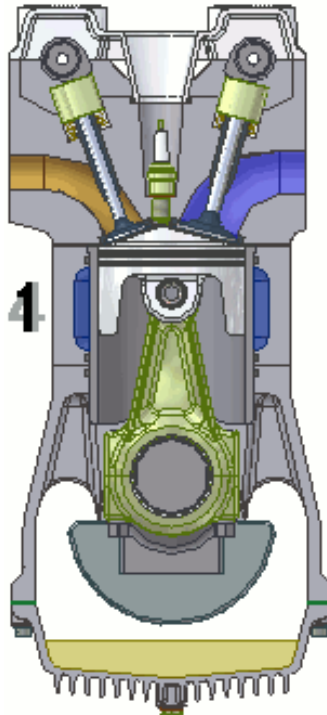


Figura 1.31 Motor a cuatro tiempos.³⁴

b) Motores encendidos por compresión.

El motor encendido por compresión o motor diesel es un motor térmico de combustión interna en el cual el encendido se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro. Fue por Rudolf Diesel en 1895. Fue diseñado inicialmente y presentado como el primer motor para "biocombustible" como aceite puro de palma o de coco. Diesel también reivindicó en su patente el uso de polvo de carbón como combustible, aunque no se utiliza por lo abrasivo que es.

– Principio de funcionamiento:

Un motor diesel funciona mediante la ignición (quema) del combustible al ser inyectado en una cámara (o pre cámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de auto combustión, sin necesidad de chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el

³⁴ www.wikipedia.org

segundo tiempo motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

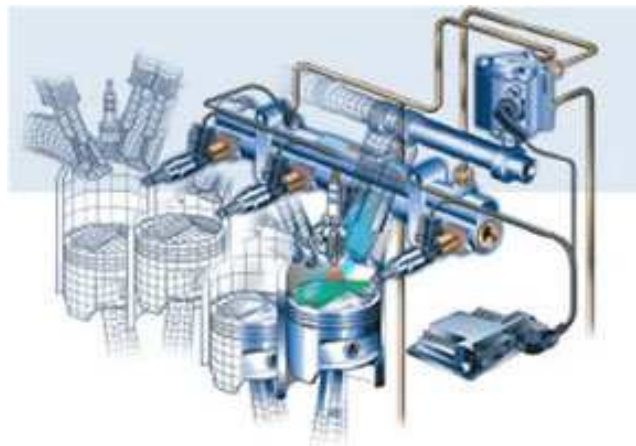


Figura 1.32 Bomba de inyección diesel.³⁵

Para que se produzca la auto inflamación es necesario pre-calentar el aceite-combustible o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo comprendida entre los 220 y 350°C, que recibe la de nominación de gasóleo.

– **Ventajas y desventajas:**

La principal ventaja de los motores diesel comparados con los motores a gasolina estriba en su menor consumo de combustible. Las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor. No obstante, la adopción de la pre cámara para los motores de automoción, con la que se consiguen prestaciones semejantes a los motores de gasolina, presentan

³⁵ www.boschservice.com.pe

el inconveniente de incrementar el consumo, con lo que la principal ventaja de estos motores prácticamente desaparece.

Se está utilizando el sistema common-rail en los vehículos automotores pequeños. Este sistema es una gran ventaja, ya que se consigue menor consumo de combustible, mejores prestaciones del motor, menor ruido y menor emisión de gases contaminantes.

– **Aplicaciones:**

- Maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras)
- Propulsión ferroviaria
- Propulsión marina
- Automóvil y camiones
- Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia)
- Accionamiento industrial (bombas, compresores, etc., especialmente de emergencia)
- Propulsión aérea.



Figura 1.33 Vista de un motor marino.³⁶

³⁶ www.img28.picoodle.com

1.1.2.2 Impulsión con hidrógeno.

La impulsión por hidrogeno es utilizar hidrógeno diatómico como su fuente primaria de energía para propulsarse. Generalmente se utilizan estos dos métodos: combustión o conversión de pila de combustible. En la combustión, el hidrógeno se quema en un motor de explosión. En la conversión de pila de combustible, el hidrógeno se convierte en electricidad a través de pilas de combustible que mueven motores eléctricos, de esta manera, la pila de combustible funciona como una especie de batería. El subproducto que siempre se obtiene es el agua que puede ser utilizado para mover una turbina.

a) Pila de combustible.

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico de conversión de energía, pero se diferencia de una batería por que esta diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos; es decir, produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería. Además, los electrodos son inestables, en cambio, en una celda de combustible los electrodos son catalíticos y relativamente estables.



Figura 1.34 Pila de hidrógeno. (La celda es la estructura cúbica del centro de la imagen).³⁷

³⁷ www.news.soliclima.com

Los reactantes típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo (si se trata de una celda de hidrógeno). Por otra parte las baterías convencionales consumen reactivos sólidos y, una vez que se han agotado, deben ser eliminadas o recargadas con electricidad. Generalmente, los reactivos "fluyen hacia dentro" y los productos de la reacción "fluyen hacia fuera". La operación a largo plazo virtualmente continua es factible mientras se mantengan estos flujos.

– **Tecnología:**

En el ejemplo típico de una célula de membrana intercambiadora de protones (o electrolito polimérico) hidrógeno/oxígeno de una celda de combustible (PEMFC, en inglés: proton exchange membrane fuel cell), una membrana polimérica conductora de protones (el electrolito), separa el lado del ánodo del lado del cátodo.

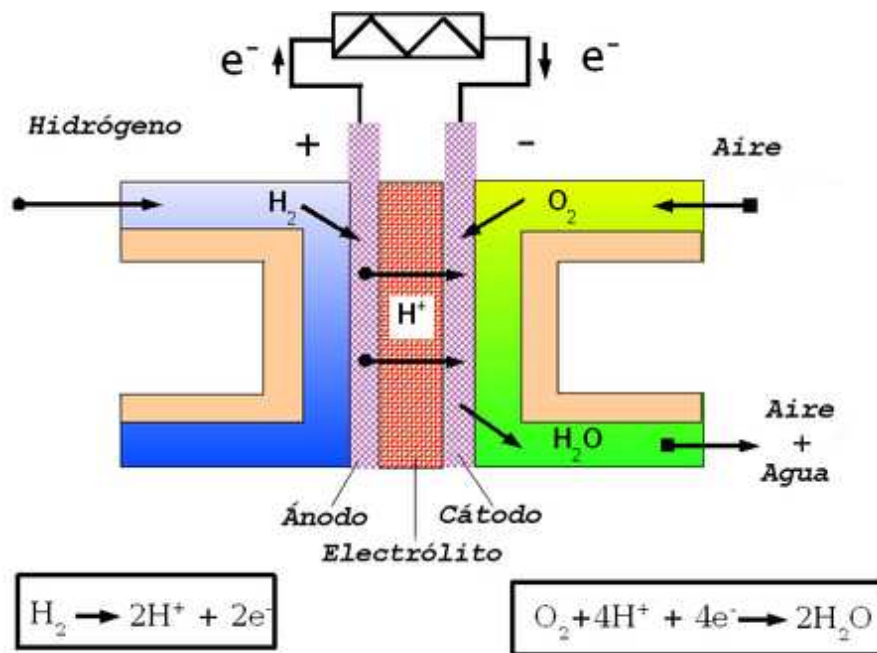


Figura 1.35 Esquema de funcionamiento de una pila de combustible.³⁸

En el lado del ánodo, el hidrógeno que llega al ánodo catalizador se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los

³⁸ www.es.wikipedia.org

electrones están forzados a viajar por un circuito externo (produciendo energía) ya que la membrana está aislada eléctricamente. En el catalizador del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones (conducidos a través del circuito externo) y protones para formar el agua. En este ejemplo, el único residuo es vapor de agua o agua líquida. Es importante mencionar que para que los protones puedan atravesar la membrana, esta debe estar convenientemente humidificada dado que la conductividad protónica de las membranas poliméricas utilizadas en este tipo de pilas depende de la humedad de la membrana. Por lo tanto, es habitual humidificar los gases previamente al ingreso a la pila.

Además de hidrógeno puro, también se tiene el hidrógeno contenido en otras moléculas de combustibles incluyendo el diesel, metanol y los hidruros químicos, el residuo producido por este tipo de combustibles además de agua es dióxido de carbono, entre otros.

– **Tensión:**

La tensión de celda depende de la corriente de carga. La tensión en circuito abierto es de aproximadamente 1,2 voltios; para crear suficiente tensión, las celdas se agrupan combinándolas en serie y en paralelo, en lo que en inglés se denomina "Fuel Cell Stack" (pila de células de combustible). El número de celdas usadas es generalmente superior a 45 y varía según el diseño.

– **Materiales:**

Los materiales usados en celdas de combustible varían según el tipo. Las placas del electrodo bipolar se hacen generalmente de nanotubos de metal, de níquel o de carbón, y están cubiertas por un catalizador (como el platino o el paladio) para conseguir una eficacia más alta. El electrolito puede ser de cerámica o bien una membrana.

– **Rendimiento:**

El rendimiento de las células de combustible, a diferencia de los motores de combustión (interna y externa) no está limitado por el ciclo de Carnot ya que no

siguen un ciclo termodinámico. Por lo tanto, su rendimiento es muy alto en comparación, al convertir energía química en eléctrica directamente. El rendimiento de una celda de combustible η , bajo condiciones estándares está limitado por el cociente entre la variación de la energía libre (estándar) de Gibbs ΔG° , y la variación de la entalpía estándar de la reacción química completa ΔH° . El rendimiento real es igual o normalmente inferior a este valor.

$$\eta = \frac{\Delta G^\circ}{\Delta H^\circ} \quad (1.13)$$

Una célula de combustible convierte normalmente la energía química de combustible en electricidad con un rendimiento aproximadamente del 50%. El rendimiento sin embargo depende en gran medida de la corriente que circula a través de la celda de combustible: cuanto mayor es la corriente, menor el rendimiento. Para una de hidrógeno, el rendimiento (energía real/energía teórica) es igual a la tensión de la celda dividida por 1,23 voltios, a una temperatura de 25 °C. Esta tensión depende del combustible usado, de la calidad y de la temperatura de la célula. Una célula que funcione a 0,6V tendrá un rendimiento cercano al 50%, lo que significa que el 50% de la energía contenida en el hidrógeno es convertida en energía eléctrica.

Una pila de combustible y un electrolizador devuelven menos del 50 por ciento de la energía de entrada (esto se conoce como eficacia del proceso reversible), mientras que una batería de plomo y ácido mucho más barata puede devolver cerca de 90 por ciento. Hay que considerar también las pérdidas debidas a la producción, al transporte y al almacenaje. Los vehículos con célula de combustible que funcionan con hidrógeno comprimido tienen una eficiencia del 22% si el hidrógeno se almacena como gas a alta presión, y del 17% si se almacena como hidrógeno líquido (estas cifras deberían justificar su metodología de cálculo).

Las células de combustible no pueden almacenar energía como una batería, sino que en algunos usos, como centrales eléctricas independientes basadas en fuentes "discontinuas" (solares, energía del viento), se combinan con electrolizadores y sistemas de almacenaje para formar un conjunto para almacenar esta energía. El

rendimiento del proceso reversible (de electricidad al hidrógeno y de nuevo a electricidad) de tales plantas se encuentra entre el 30 y el 40%.

En "usos combinados de calor y de energía" (cogeneración), para aplicaciones donde también se requiere energía calorífica, se acepta un rendimiento más bajo de la conversión de combustible a electricidad (típicamente 15-20%), porque la mayoría de la energía no convertida en electricidad se utiliza como calor. Se pierde algo de calor con los gases que salen de la célula como ocurre en cualquier caldera convencional, por lo que con esta producción combinada de energía térmica y de energía eléctrica la eficacia sigue siendo más baja de 100%, normalmente alrededor del 80%. En términos de energía sin embargo, el proceso es ineficaz, y se obtendrían mejores resultados energéticos maximizando la electricidad generada y después usando la electricidad para hacer funcionar una bomba de calor.

– **Vehículos de hidrógeno, barcos, aviones y estaciones de servicio:**



Figura 1.36 El Toyota FCHV PEM FC, un vehículo diseñado por Toyota impulsado por hidrógeno.³⁹

³⁹ www.es.wikipedia.org

Hay numerosos prototipos y modelos de coches y autobuses basados en la tecnología de la pila de combustible. Las empresas de automoción siguen investigando y ya han llegado a fabricar algunos prototipos. Compañías como DaimlerChrysler, Ballard Power Systems, Ford, Volvo, Mazda, General Motors, Honda, BMW, Hyundai, o Nissan, entre otras. Según la industria del automóvil se espera que los primeros vehículos comerciales estén disponibles en el 2010.



Figura 1.37 Submarino Type 212 en el puerto.⁴⁰

Los submarinos Type 212A, un avanzado diseño alemán no nucleares, utiliza pilas de combustible (desarrolladas por Siemens) para alimentar nueve propulsores y puede mantenerse sumergido durante semanas sin tener que subir a la superficie. De manera parecida Airbus está desarrollando un prototipo de avión que utiliza esta tecnología.

Actualmente, un equipo de estudiantes universitarios llamado Energy-Quest está preparando un barco accionado por esta tecnología para hacer un viaje alrededor del mundo, así como otros proyectos usando combustibles más eficientes o renovables. Su empresa se llama Tritón.

1.1.2.3 Motores de Vapor.

Un motor o máquina de vapor es un motor de combustión externa que transforma la energía térmica de una cantidad de vapor de agua en energía mecánica. En esencia, el ciclo de trabajo se realiza en dos etapas:

⁴⁰ www.es.wikipedia.org

- Se genera vapor de agua en una caldera cerrada por calentamiento, lo cual produce la expansión del volumen de un cilindro empujando un pistón. Mediante un mecanismo de biela - manivela, el movimiento lineal alternativo del pistón del cilindro se transforma en un movimiento de rotación que acciona, por ejemplo, las ruedas de una locomotora o el rotor de un generador eléctrico. Una vez alcanzado el final de carrera el émbolo retorna a su posición inicial y expulsa el vapor de agua utilizando la energía cinética de un volante de inercia.
- El vapor a presión se controla mediante una serie de válvulas de entrada y salida que regulan la renovación de la carga; es decir, los flujos del vapor hacia y desde el cilindro.

El motor o máquina de vapor se utilizó extensamente durante la Revolución Industrial, en cuyo desarrollo tuvo un papel relevante para mover máquinas y aparatos tan diversos como bombas, locomotores, motores marinos, etc. Las modernas máquinas de vapor utilizadas en la generación de energía eléctrica no son ya de émbolo o desplazamiento positivo como las descritas, sino que son turbo máquinas; es decir, son atravesadas por un flujo continuo de vapor que se introduce en el cilindro arrastrando el émbolo o pistón en su expansión; empleando energía genérica de turbinas de vapor. En la actualidad la máquina de vapor alternativa es un motor muy poco usado salvo para servicios auxiliares, ya que se ha visto desplazado especialmente por el motor eléctrico en la maquinaria industrial y por el motor de combustión interna en el transporte.

a) Máquina de compresión o vacío.

En los albores del siglo XVIII todos los elementos necesarios de la máquina de vapor habían sido inventados y aplicados con éxito con diferentes propósitos, y la naturaleza de la presión atmosférica y de la presión de los gases era comprendida, así como se conocía el vacío y la forma de obtenerlo mediante la condensación del vapor. Faltaba solamente el ingeniero que combinara los conocimientos prácticos y teóricos disponibles en una máquina que fuera capaz de aprovechar el poder del vapor de forma económica. Este fue Thomas

Newcomen, quien, con su ayudante John Calley, inventó una nueva máquina que denominó Máquina de vapor atmosférica (1712).

La máquina constaba de un generador de vapor, cilindro y pistón donde se condensaba el vapor, inicialmente mojando su superficie con agua fría, y posteriormente inyectando en su interior un chorro de agua y consiguiendo así hasta 10 o 12 golpes por minuto. El émbolo movía, a su vez, a través de un mecanismo de palanca, las bombas que se empleaban en la extracción del agua de las minas. Salvo la automatización de las válvulas, introducida por el joven Potter, la máquina de Newcomen no sufrió modificaciones de importancia durante años. Más tarde John Smeaton estudió experimentalmente las proporciones más adecuadas de la máquina de Newcomen, determinando que los cilindros debían ser de mayor longitud que los que se venían empleando y que, por lo general, las calderas eran demasiado pequeñas. A mediados del siglo XVIII la máquina de Newcomen se utilizaba extensivamente en los distritos mineros de Inglaterra y se había exportado a otros países europeos y, aunque el elevado consumo de combustible que exigía su funcionamiento dificultó su aplicación en otras actividades industriales o en el suministro de agua potable, se siguieron construyendo incluso después de la invención de Watt.

b) Máquina de expansión.

Auspiciado por Joseph Black, ocupado en las investigaciones que le conducirían al descubrimiento del calor latente, James Watt se propuso mejorar la máquina de Newcomen, descubriendo en el curso de sus experimentos que el vapor era una reserva de calor mucho más vasta que el agua y comprendiendo que era necesario limitar todas las pérdidas de calor que se producían en la artesanal máquina de Newcomen para disminuir el consumo de combustible, principal inconveniente de estas máquinas. Analizando el problema identificó las pérdidas debidas al propio cilindro, a la práctica de enfriar el vapor para lograr el vacío necesario para mover la máquina y a la presión residual del vapor. En sus experimentos posteriores, verdaderos trabajos científicos, llegó a la conclusión de que el cilindro debía mantenerse a la misma temperatura que el vapor.

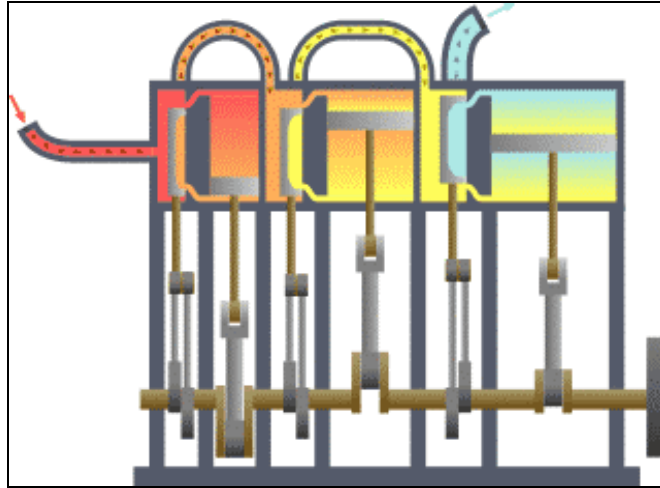


Figura 1.38 Motor a vapor de triple expansión.⁴¹

Según sus palabras, mientras daba un paseo un espléndido sábado por la tarde y meditaba sobre la máquina, una idea le vino a la cabeza: como el vapor es un cuerpo elástico se precipitará en el vacío, y, si se comunicara el cilindro con un depósito exhausto, se precipitaría en su interior donde podría condensarse sin enfriar el cilindro. Sin embargo, el desarrollo y perfeccionamiento del condensador separado dejó a Watt en la ruina y en 1765 se vio obligado a buscar empleo y abandonar su trabajo hasta que, en 1767, John Roebuck accedió a financiar sus experimentos y la explotación comercial de la máquina a cambio de las dos terceras partes de los beneficios de la patente que se obtuviera. En 1768 Watt construyó un modelo que operaba de manera satisfactoria, aun imperfecta, y se presentó el año siguiente la solicitud de la patente.

1.1.2.4 Motores a reacción.

Un motor a reacción, reactor o jet, es un tipo de motor que descarga un chorro de fluido a gran velocidad para generar un empuje de acuerdo a la tercera ley de Newton. Esta definición generalista del motor a reacción incluye turboreactores, turbofans, cohetes, estatorreactores y motores de agua pero, en su uso común.

⁴¹ www.es.wikipedia.org



Figura 1.39 Pruebas de un motor turbofan Pratt & Whitney F100 para un F-15 Eagle.⁴²

a) Tipos de motor a reacción

Existen diferentes tipos de motores a reacción, en los que todos obtienen propulsión mediante la expulsión de gases a altas velocidades.

Tabla 1.9 Tipos de motor a reacción.


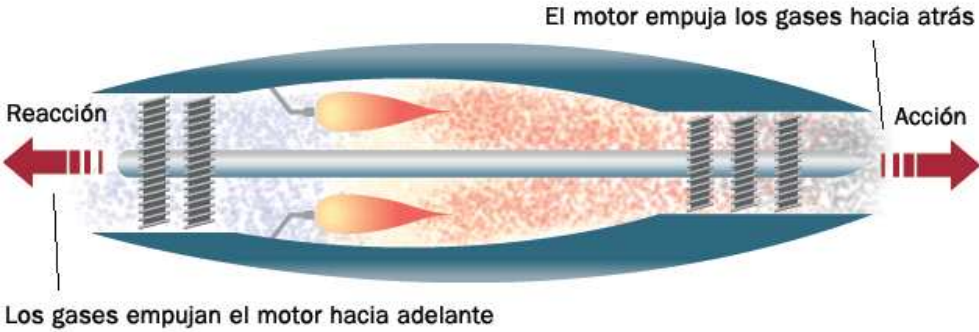
Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Motor de agua	Lanza un chorro de agua tras el barco	Puede funcionar sumergido, potente, menos dañino al medio ambiente.	Puede ser menos eficiente que una hélice, más vulnerable a los desechos

Figura 1.40 Motor de agua.⁴³

⁴² www.es.wikipedi.org

⁴³ www.blogdelmotor.com

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Termorreactor	El motor a reacción de toma de aire más primitivo. En esencia, un motor de pistones con un turbocompresor y una salida de gases.		Pesado, ineficaz y poca potencia.
 <p>Figura 1.41 Termorreactor.⁴⁴</p>			
Turborreactor	Término genérico para un motor de turbina sencillo.	Simplicidad del diseño, eficiente a velocidades supersónicas (~Mach 2).	Diseño básico, sin mejorar en rendimiento y potencia en vuelo subsónico, relativamente ruidoso.
 <p>Figura 1.42 Turborreactor.⁴⁵</p>			

⁴⁴ www.bluer.es

⁴⁵ www.rctoys.com

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<p style="text-align: center;">Turbofan</p>	<p>La primera etapa del compresor muy aumentada para proporcionar un flujo de aire derivado alrededor del núcleo del motor.</p>	<p>Más silencioso debido a su mayor masa de flujo y menor velocidad total de salida, más eficiente para diversas velocidades subsónicas, temperatura más baja de los gases de salida.</p>	<p>Mayor complejidad (múltiples conductos), diámetro del motor grande, necesidad de contener álabes pesados. Más expuesto a daños por objetos externos e hielo. La velocidad máxima está limitada debido a la posibilidad de ondas de choque que dañen el motor. La forma más común de reactor en el 2007, utilizado por aviones de línea como el Boeing 747 y aviones militares.</p>

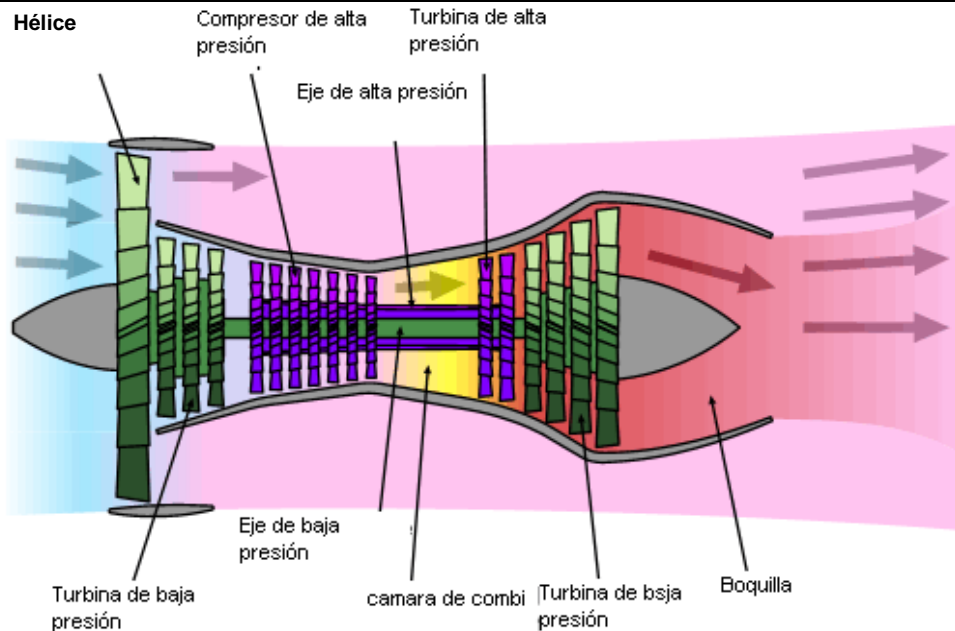


Figura 1.43 Turbofan.⁴⁶

⁴⁶ www.inta.es

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Cohete</p>	<p>Lleva todo los propelentes a bordo, emite un chorro para su propulsión.</p>	<p>Muy pocas partes móviles, alcanza velocidades de Mach 0 a 25 o más, eficiente a muy altas velocidades (Mach 10 o más), relación empuje-peso mayor de 100, sin entradas de aire complejas, alta relación de compresión, salida de gases a velocidades hipersónicas muy altas, buena relación empuje-coste, relativamente fácil de probar, trabaja en el vacío.</p>	<p>Necesita grandes cantidades de propelentes, un impulso específico muy bajo (generalmente entre 100 y 450 segundos). Altas tensiones térmicas en la cámara de combustión que pueden dificultar su reutilización. Generalmente requiere un oxidante que aumenta los riesgos, extremadamente ruidoso.</p>



Figura 1.44 Cohete.⁴⁷

⁴⁷ www.lavozdelsandinismo.com

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Estatorreactor	El aire de entrada es comprimido completamente por la velocidad y su forma divergente.	Muy pocas partes móviles, alcanza velocidades de Mach 0,8 a 5 o más, eficiente a alta velocidad (Mach 2,0 o mayor), el motor a reacción de entrada de aire más ligero con relaciones de empuje-peso de hasta 30 a velocidades óptimas.	Debe tener una velocidad inicial alta para su funcionamiento, ineficiente a velocidades bajas debido a su baja relación de compresión, generalmente con una limitada variación de velocidades, el flujo en las tomas de aire debe ser reducido a velocidades subsónicas, ruidoso, relativamente difícil de probar.

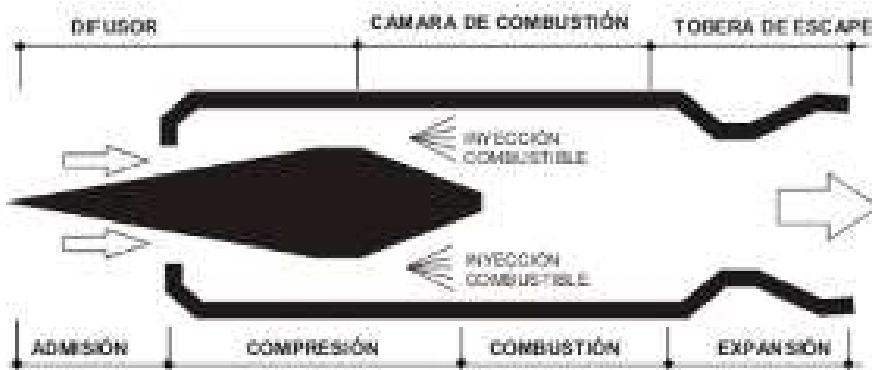

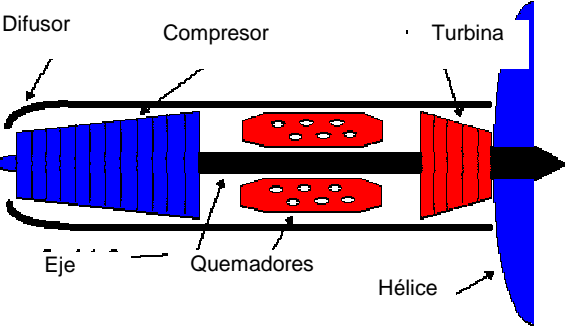


Figura 1.45 Estatorreactor.⁴⁸

⁴⁸ www.3.bp.blogspot.com

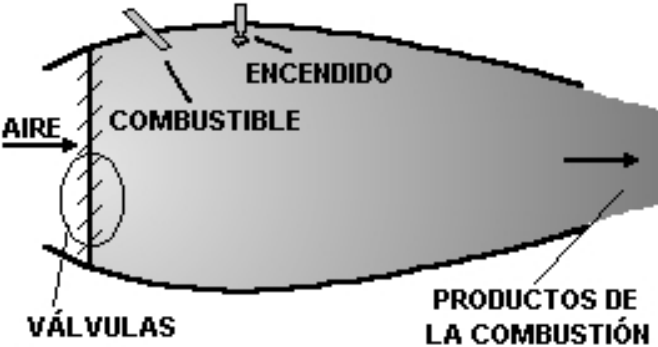
Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Turbopropulsor (similar al Turboprop)</p>	<p>Estrictamente no es un reactor completo: una turbina de gas es utilizada como planta motriz para mover una hélice o eje en caso de un helicóptero.</p>	<p>Muy eficiente a velocidades subsónicas bajas (alrededor de 400-500 km/h).</p>	<p>Velocidad máxima limitada en aviones, algo ruidoso, transmisión compleja.</p>
 <p>Figura 1.46 Turbopropulsor.⁴⁹</p>			
<p>Propfan</p>	<p>Motor turbopropulsor que mueve una o más hélices. Similar a un turboprop.</p>	<p>Alta eficacia de combustible, potencialmente menos ruidoso, podría liderar el vuelo comercial a alta velocidad, popular durante los años 1980 durante las crisis de combustibles.</p>	<p>El desarrollo de motores propfan ha estado muy limitado, generalmente más ruidoso que los turboprop, complejo.</p>
 <p>Figura 1.47 Propfan.⁵⁰</p>			

⁴⁹ www.s63.photobucket.com

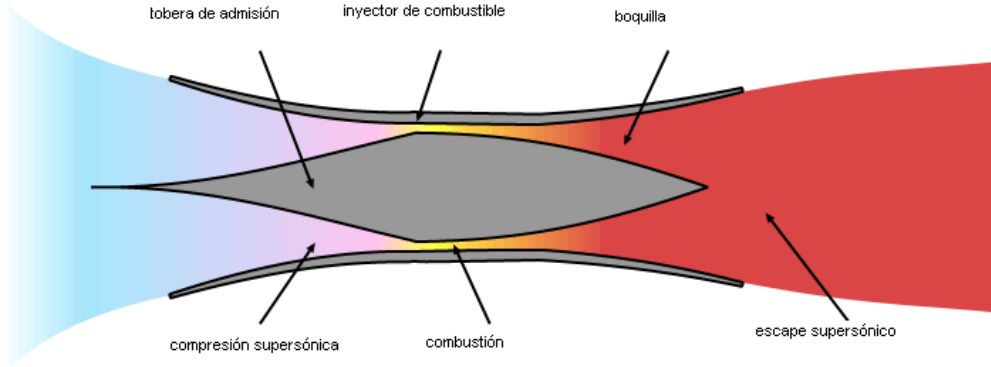
⁵⁰ www.alistar.fiu.edu

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Pulsorreactor</p>	<p>El aire es comprimido y quemado de forma intermitente en lugar de modo continuo. Algunos diseños utilizan válvulas</p>	<p>Diseño muy simple, utilizado comúnmente en aeromodelismo.</p>	<p>Ruidoso, ineficiente (baja relación de compresión), funcionamiento pobre a gran escala, las válvulas en los diseños que las utilizan se desgastan rápidamente.</p>
 <p>El diagrama muestra un perfil aerodinámico de un pulsorreactor. A la izquierda, una flecha indica el flujo de 'AIRE' que entra a través de 'VÁLVULAS'. Junto a él, se indica el flujo de 'COMBUSTIBLE'. En la parte superior interna, se muestra un punto de 'ENCENDIDO'. Una flecha a la derecha indica el flujo de 'PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN' que salen del reactor.</p>			
<p>Figura 1.48 Pulsorreactor.⁵¹</p>			
<p>Cohete aumentado de aire</p>	<p>Esencialmente un estatorreactor donde el aire de entrada es comprimido y quemado con los gases de salida de un cohete.</p>	<p>Alcanza velocidades de Mach 0 a Mach 4,5+ o (también puede ser utilizado fuera de la atmósfera), buena eficacia entre Mach 2 y 4.</p>	<p>Eficiencia similar a los cohetes a baja velocidad o fuera de la atmósfera, dificultades en las tomas de aire, un tipo relativamente poco desarrollado e investigado, problemas con la refrigeración, muy ruidoso.</p>

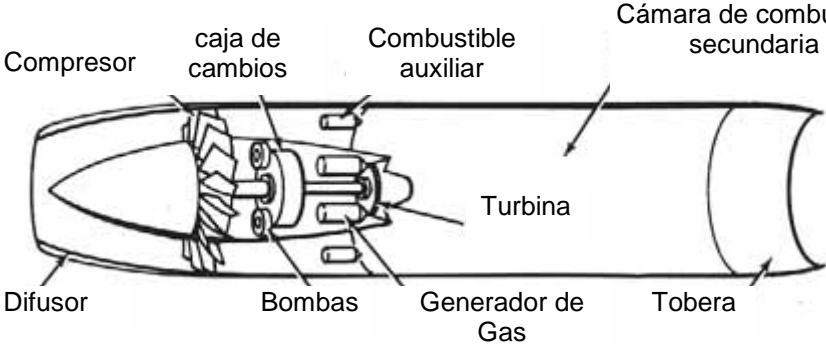
⁵¹ www.orbita.starmedia.com

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Scramjet</p>	<p>Similar a un estatorreactor sin un difusor, el flujo de aire permanece a velocidades supersónicas durante todo el motor.</p>	<p>Pocas partes mecánicas, puede operar a velocidades muy altas (Mach 8 a 15) con buena eficacia.</p>	<p>Aún en fase de desarrollo, necesita de una velocidad inicial muy alta (Mach 6 o más) para funcionar, problemas de refrigeración, relación empuje-peso muy pobre (~2), complejidad aerodinámica muy alta, dificultades en las estructuras.</p>
 <p>Figura 1.49 Scramjet.⁵²</p>			
<p>Reactores pre-enfriados / LACE</p>	<p>El aire de entrada es enfriado a temperaturas muy bajas en la toma antes de pasar a través de un estatorreactor o turboreactor.</p>	<p>Fácil de probar en tierra. Relaciones de empuje-peso muy altas son posibles (~14) junto con una buena eficacia de combustible en un amplio rango de velocidades, puede alcanzar velocidades de Mach 0 a 5,5 o más</p>	<p>Sólo existe como prototipos de laboratorios. Algunos ejemplos son RB545, SABRE, ATREX</p>

⁵² www.mutantchronicles.110mb.com

Tabla 1.9 Continuación...

Tipo	Descripción	Ventajas	Desventajas
Turbocohete	Un turborreactor donde un oxidante adicional, como el oxígeno, es añadido al flujo de aire para incrementar la altitud máxima.	Muy próximo a diseños existentes, funciona a cotas muy altas, un amplio rango de velocidades y altitudes posibles.	La velocidad limitada en el mismo rango que la del turborreactor, el transporte del oxidante como oxígeno líquido (LOX) puede ser peligroso.
 <p>Figura 1.50 Turbocohete.⁵³</p>			

b).Comparación.

El impulso de movimiento de un motor es igual a la masa de aire multiplicado por la velocidad con la que el motor expulsa esa masa:

$$I = mc \tag{1.14}$$

Donde m es la masa de aire y c la velocidad de expulsión. Se puede considerar que un avión vuela a mayor velocidad si emite la masa de aire con una velocidad de expulsión mayor o si emite más cantidad de aire por segundo a la misma velocidad. Sin embargo, cuando el avión vuela con cierta velocidad v, el aire se mueve junto a él, creando una resistencia en la entrada de aire.

⁵³ www.mutantchronicles.110mb.com

La mayoría de los motores a reacción tienen una entrada de aire, que proporciona la mayor parte del gas que saldrá por la tobera. Los motores de cohete, sin embargo, no tienen una entrada de aire, llevando en su estructura tanto el oxidante como el combustible. Por tanto, los motores de cohete no tienen una resistencia, el empuje en bruto de la tobera es el empuje neto del motor. A consecuencia de esto, las características de empuje de un motor de cohete son diferentes a las de los motores a reacción de toma de aire.

El reactor de toma de aire sólo es útil si la velocidad del gas que va hacia el motor, c , es mayor que la velocidad del avión, v . El empuje neto del motor es igual al que sería si el gas fuese expulsado a una velocidad de $c - v$. El momento sería igual a:

$$S = m(c - v) \quad (1.15)$$

El turbopropulsor tiene un ventilador que toma y acelera una gran masa de aire aunque sigue limitado a la velocidad de cualquier avión de hélice convencional. Cuando el avión supera en velocidad ese límite, las hélices no proporcionan ningún empuje ($c - v < 0$).

Los turborreactores y otros motores similares aceleran una cantidad de masa de aire menor, pero emite esa masa a velocidades más altas con una tobera de Laval. Esta es la razón por la que pueden soportar velocidades supersónicas y mayores. Por otra parte, la eficiencia energética es mayor cuando el motor expulsa tanta masa de aire posible a esa velocidad, comparable a la velocidad del avión. Su fórmula es

$$\eta = \frac{2}{1 + \frac{c}{v}} \quad (1.16)$$

El turbofan de paso bajo tiene la mezcla de dos flujos de aire, cada uno con diferentes velocidades, c_1 y c_2 , y con masas m_1 y m_2 respectivamente. El empuje de este tipo de motor es

$$S = m_1 (c_1 - v) + m_2 (c_2 - v) \quad (1.17)$$

Estos tipos de motores son eficientes a velocidades bajas, menores que la de reactores puros, pero mayores que las de turboeje y hélices en general. Por ejemplo, a 10 km de altitud, el turboeje es más efectivo a velocidades de Mach 0,4, el turbofan de paso bajo es más efectivo a velocidades de Mach 0,75 y los reactores cuando se aproximan a Mach 1, la velocidad del sonido.

Los motores de cohete se ajustan mejor a altas velocidades y altitudes. A una velocidad dada, la eficiencia y empuje de un motor de cohete mejora ligeramente con el incremento de altitud, donde un turboreactor o turbofan disminuye su empuje neto debido a la menor densidad de la masa de aire que entra en su toma.

1.1.2.5 Sistemas de propulsión híbridos.

a) Vehículo híbrido eléctrico.

Un vehículo eléctrico híbrido es un vehículo de propulsión alternativa movido por energía eléctrica proveniente de baterías y, alternativamente, de un motor de combustión interna que mueve un generador. Normalmente, el motor también puede impulsar las ruedas en forma directa.



Figura. 1.51 Toyota Prius, un vehículo híbrido de gasolina y eléctrico.⁵⁴

⁵⁴ www.hybrids.cc

En el diseño de un automóvil híbrido, el motor térmico es la fuente de energía que se utiliza como última opción, y se dispone un sistema electrónico para determinar qué motor usar y cuándo hacerlo.

En el caso de híbridos gasolina-eléctricos, cuando el motor de combustión interna funciona, lo hace con su máxima eficiencia. Si se genera más energía de la necesaria, el motor eléctrico se usa como generador y carga las baterías del sistema. En otras situaciones, funciona sólo el motor eléctrico, alimentándose de la energía guardada en la batería.

En algunos es posible recuperar la energía cinética al frenar, que suele disiparse en forma de calor en los frenos, convirtiéndola en energía eléctrica. Este tipo de frenos se suele llamar "regenerativos".

La combinación de un motor de combustión operando siempre a su máxima eficiencia, y la recuperación de energía del frenado (útil especialmente en la ciudad), hace que estos vehículos alcancen mejores rendimientos que los vehículos convencionales.

Todos los coches eléctricos utilizan baterías cargadas por una fuente externa, lo que les ocasiona problemas de autonomía de funcionamiento sin recargarlas. Esta queja habitual se evita con los coches híbridos.



Figura 1.52 Vehículos híbridos en Expo 2005.⁵⁵

⁵⁵ www.noseque.net

Los vehículos híbridos se clasifican en dos tipos:

- paralelo: tanto el motor térmico como el eléctrico pueden hacer girar las ruedas.
- serie: el motor térmico genera electricidad y la tracción la proporciona sólo el motor eléctrico.

Asimismo pueden clasificarse en:

- Regulares, que utilizan el motor eléctrico como apoyo.
- Enchufables (también conocidos por sus siglas en inglés PHEVs), que emplean principalmente el motor eléctrico y que se pueden recargar enchufándolos a la red eléctrica.

b) Cadena energética de un vehículo híbrido.

- La cadena cinemática:

Un vehículo necesita realizar trabajo para desplazarse; para ello debe adquirir energía de alguna fuente y transformarla, con algún tipo de motor (térmico convencional, eléctrico, etc.), en energía mecánica para que las ruedas giren y se produzca el desplazamiento.

Un vehículo clásico toma esa energía que se encuentra almacenada en un combustible fósil (p.e. gasolina) y que es liberada mediante la combustión en el interior de un motor térmico convencional. El par de salida de ese motor térmico se trasmite a las ruedas.

El motor eléctrico, combinado con el motor de gasolina, es una alternativa al empleo de vehículos únicamente propulsados por energía fósil procedente de fuentes no renovables. Tradicionalmente, los motores que han propulsado a los automóviles han sido sobredimensionados con respecto a lo estrictamente necesario para un uso habitual. La nota dominante ha sido, y es aún, equipar

con motores capaces de dar una potencia bastante grande, pero que sólo es requerida durante un mínimo tiempo en la vida útil de un vehículo.



Figura 1.53 Panel de información del vehículo híbrido Toyota Prius.⁵⁶

– La potencia:

Los automóviles normalmente tienen motores de combustión interna que rondan entre los 60 y 180 CV de potencia máxima. Esta potencia se requiere en situaciones particulares, tales como aceleraciones a fondo, subida de grandes pendientes con gran carga del vehículo y a gran velocidad. El hecho de que la mayoría del tiempo dicha potencia no sea requerida supone un despilfarro de energía, puesto que sobredimensionar el motor para posteriormente emplearlo a un porcentaje muy pequeño de su capacidad sitúa el punto de funcionamiento en un lugar donde el rendimiento es bastante malo. Un vehículo medio convencional, si se emplea mayoritariamente en ciudad o en recorridos largos y estacionarios a velocidad moderada, ni siquiera necesitará desarrollar 20 caballos.

El hecho de desarrollar una potencia muy inferior a la que el motor puede dar supone un despilfarro por dos motivos: por una parte se incurre en gastos de fabricación del motor superiores a lo que requeriría realmente, y por otra, el rendimiento de un motor que pueda dar 100 caballos cuando da sólo 20 es muy

⁵⁶ www.3.bp.blogspot.com

inferior al de otro motor de menor potencia máxima funcionando a plena potencia y dando esos mismos 20 caballos. Este segundo factor es el principal responsable de que el consumo urbano de un mismo vehículo equipado con un motor de gran potencia consuma, en recorridos urbanos, muchísimo más que uno del mismo peso equipado con un motor más pequeño. En conclusión, el motor ha de ser el idóneo para el uso al que se destina.

– **La eficiencia:**

Dado que el mayor consumo de los vehículos se da en ciudad, los motores híbridos constituyen un ahorro energético notable, mientras que un motor térmico necesita incrementar sus revoluciones para aumentar su par, el motor eléctrico en cambio tiene un par (fuerza del motor) constante, es decir produce la misma aceleración al comenzar la marcha que con el vehículo en movimiento.

Otro factor que penaliza el rendimiento brutalmente en recorridos urbanos es la forma de detener el vehículo. Ésta detención se realiza mediante un proceso tan ineficiente cómo es disipar y destruir la energía en forma de movimiento, energía cinética, que lleva el vehículo para transformarla en calor liberado inútilmente al ambiente.

Sin embargo, tampoco parece razonable limitar la potencia máxima de un motor en demasía en pro de conseguir excelentes consumos, puesto que en ciertas ocasiones es estrictamente necesario disponer de potencia para determinados esfuerzos tan puntuales como inevitables, tales como adelantamientos y aceleraciones en pendiente.

He aquí donde el sistema híbrido toma su mayor interés. Por una parte combina un pequeño motor térmico, suficiente para el uso en la inmensa mayoría de las ocasiones, de buen rendimiento y por tanto bajo consumo y emisiones contaminantes, con un sistema eléctrico capaz de realizar dos funciones vitales.

Por una parte desarrolla el suplemento extra de potencia necesario en contadas, pero inevitables, situaciones como las anteriormente citadas. Por otra, no supone en absoluto ningún consumo extra de combustible. Al contrario, supone un ahorro, puesto

que la energía eléctrica es obtenida a base de cargar las baterías en frenadas o retenciones del vehículo al descender pendientes, momentos en los que la energía cinética del vehículo se destruiría (transformaría en calor irrecuperable para ser más exactos) con frenos tradicionales. Además, no sólo aporta potencia extra en momentos de gran demanda de ésta, sino que posibilita emplear solo la propulsión eléctrica en arrancadas tras detenciones prolongadas (semáforos por ejemplo) o aparcamientos y mantener el motor térmico parado en éstas situaciones en las que no es empleado, o se requiere de él una potencia mínima, sin comprometer la capacidad para retomar la marcha instantáneamente. Esto es posible porque tiene la capacidad de arrancar en pocas décimas de segundo el motor térmico en caso de necesidad.

Además de la altísima eficiencia, la posibilidad de emplear los motores eléctricos, exclusivamente, durante un tiempo permite evitar la producción de humos en situaciones molestas, como por ejemplo en garajes.

En conclusión, desde el punto de vista de la eficiencia energética, el vehículo híbrido representa un hito nunca jamás antes alcanzado.

El principal problema al que se enfrenta la industria del automóvil para fabricar vehículos eficientes son las propias exigencias del consumidor. Debido al bajísimo precio (en relación a otras fuentes de energía) de los combustibles fósiles, gracias a que el petróleo es una fuente que la humanidad ha encontrado fácilmente disponible, no contribuye a concienciar a la población para un ahorro energético.

Sin embargo, no todos son ventajas actualmente. Los costes actuales de producción de baterías, el peso de las mismas y la escasa capacidad de almacenamiento limitan aún su empleo generalizado.

– **El problema del almacenamiento en las baterías:**

El gran problema actual con el que se encuentra el motor eléctrico para sustituir al térmico en el vehículo es la capacidad de acumulación de energía eléctrica, que es muy baja en comparación con la capacidad de acumulación de energía en forma de combustible. Aproximadamente, 1kg de baterías puede almacenar la energía

equivalente de 18 gramos de combustible, si bien este cálculo no tiene en cuenta el escaso aprovechamiento energético de esa energía en un motor de combustión, en comparación con un motor eléctrico. Aun así esto supone una barrera tecnológica importante para un motor eléctrico.

Los motores eléctricos han demostrado capacidades de sobra para impulsar otros tipos de máquinas, como trenes y robots de fábricas, puesto que pueden conectarse sin problemas a líneas de corriente de alta potencia. Sin embargo, las capacidades de almacenamiento energético en un vehículo móvil obligan a los diseñadores a usar una complicada cadena energética multidisciplinar, e híbrida, para sustituir a una sencilla y barata cadena energética clásica depósito-motor-ruedas. Si bien el sobreprecio de un vehículo híbrido es amortizable durante la vida de un automóvil, el consumidor raramente opta por realizar una fuerte inversión inicial en un vehículo de éste tipo. En cambio, en un futuro a medio plazo, en el que el precio del petróleo se dispare por su escasez y la única forma de suplir esta carencia sea aumentar la eficiencia y emplear biocombustibles (de mayor coste de producción que el petróleo en la actualidad) el vehículo híbrido seguramente pase de considerarse un lujo solo para ecologistas convencidos y pudientes, a la única forma viable de transporte por carretera. Gracias al empleo de tecnología híbrida se consiguen reducciones de consumo de hasta el 80% en ciudad y 40% en carretera, en comparación entre vehículos híbridos y convencionales de similares prestaciones. Las emisiones contaminantes tendrán un comportamiento paralelo.

– **Elementos:**

Elementos que pueden ser utilizados en la configuración de la cadena energética de un vehículo híbrido, y deben de estar coordinados mediante un sistema electrónico-informático:

- Baterías de alta capacidad para almacenar energía eléctrica como para mover el vehículo.
- Pila de combustible, para conseguir almacenar energía eléctrica en forma de combustible y transformarla en el momento de su utilización.

- Paneles fotovoltaicos como ayuda a la recarga de las baterías.
- Batería inercial que permite recuperar la energía desprendida en la frenada. Las baterías no se cargan bajo picos de energía cortos y muy altos, así que acelerar un volante de inercia y luego utilizar esa energía cinética para ir cargando lentamente dichas baterías se perfila como una buena opción.
- Súper condensadores para poder realizar la misma función que los volantes de inercia usando sólo tecnología eléctrica.
- Grupos electrógenos para, en caso de niveles muy bajos de batería, consumir combustible fósil para generar electricidad.

De esta forma utilizando una mezcla de tecnologías que apoyen al motor eléctrico se consigue un vehículo que pueda competir en prestaciones con la versión clásica.

– **Ventajas y desventajas:**

I. Desventajas.

- Mayor peso que un coche convencional (hay que sumar el motor eléctrico y, sobre todo, las baterías), y por ello un incremento en la energía necesaria para desplazarlo.
- Más complejidad, lo que dificulta las revisiones y reparaciones del mismo.
- Por el momento, también el precio.

II. Ventajas.

- Menos ruido que un motor térmico.
- Más par y más elasticidad que un motor convencional.

- Respuesta más inmediata.
- Recuperación de energía en desaceleraciones (en caso de utilizar frenos regenerativos).
- Mayor autonomía que un eléctrico simple.
- Mayor suavidad y facilidad de uso.
- Recarga más rápida que un eléctrico (lo que se tarde en llenar el depósito).
- Mejor funcionamiento en recorridos cortos.
- Consumo muy inferior. Un automóvil térmico en frío puede llegar a consumir 20 L/100km.
- En recorridos cortos, no hace falta encender el motor térmico, evitando que trabaje en frío, disminuyendo el desgaste.
- El motor térmico tiene una potencia más ajustada al uso habitual. No se necesita un motor más potente del necesario por si hace falta esa potencia en algunos momentos, porque el motor eléctrico suple la potencia extra requerida. Esto ayuda además a que el motor no sufra algunos problemas de infrautilización como el picado de bielas.
- Instalación eléctrica más potente y versátil. Es muy difícil que se quede sin batería, por dejarse algo encendido. La potencia eléctrica extra también sirve para usar algunos equipamientos, como el aire acondicionado, con el motor térmico parado.
- Descuento en el seguro, por su mayor nivel de eficiencia y menor grado de siniestralidad.

1.1.2.6 Sistemas fotovoltaicos.

Se denomina energía solar fotovoltaica a una forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos.

Un automóvil solar fotovoltaico, 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 70km/h con una potencia menor a 1kw, potencia equiparable a aquélla que se podría encontrar en cualquier aparato electrodoméstico. 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 súper ligeros y resistentes, logrando 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, se utilizan llantas especiales para reducir la resistencia al rodamiento.

a) Cómo Funciona un Auto Solar.

La energía del Sol se convierte directamente en electricidad por las celdas solares, esta electricidad es almacenada en baterías. Un controlador recibe la energía de las baterías y mueve un motor eléctrico que por medio de la transmisión mueve las ruedas. El piloto dentro de la cabina tiene los elementos básicos que hay en cualquier otro auto, como son, volante, acelerador y freno. Lo único que no tiene es un "clutch" o embrague, ya que un auto solar no necesita caja de velocidades.

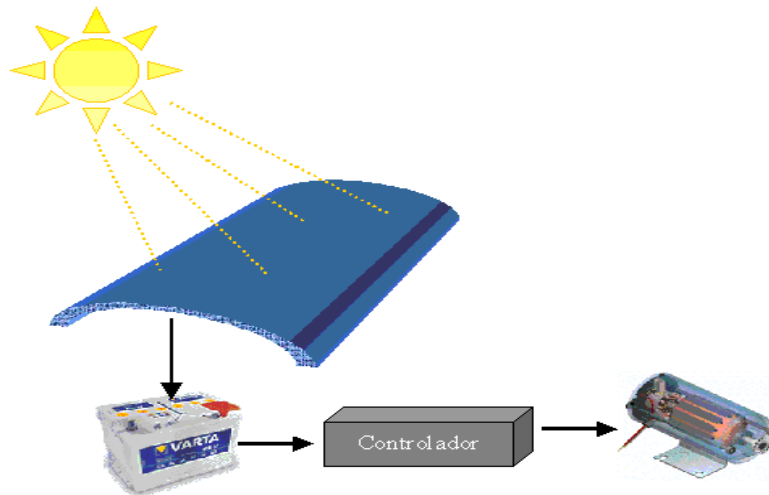


Figura 1.54 Esquema de funcionamiento de un sistema fotovoltaico.

Experimentalmente la energía fotovoltaica ha sido usada para dar energía a automóviles, por ejemplo en el World solar challenge a través de Australia. Muchos yates y vehículos terrestres los usan para cargar sus baterías lejos de la red eléctrica. Programas de incentivo a gran escala, ofreciendo recompensas financieras como la posibilidad de vender el exceso de electricidad a la red pública, han acelerado en gran medida el avance de las instalaciones de celdas fotovoltaicas solares en España, Alemania, Japón, Estados Unidos y otros países.

1.2 Definición del problema

Mediante esta investigación se espera determinar el grado de factibilidad, tanto económica como tecnológica, en la utilización de la energía solar fotovoltaica frente a energías convencionales como combustibles fósiles en el campo de la transportación, ya que con el creciente número de automotores, los niveles de emisiones se han incrementado notablemente.

Así también, es necesario encontrar las falencias de este tipo de sistemas por medio de pruebas de campo que se efectuarán al modelo de vehículo solar, las cuales nos permitan observar la capacidad real de producir energía utilizable con las condiciones de luminosidad de las que disponemos en nuestro país. Esto hará posible encontrar o al menos sugerir soluciones efectivas que permitan generalizar el uso de la energía solar.

Por último, mediante la construcción del modelo de vehículo solar pretendemos que los alumnos del laboratorio de Energías no Convencionales se familiaricen con la utilización, así como la medición de los varios parámetros de rendimiento que posee un vehículo con este tipo de tecnología

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar y construir un modelo de vehículo propulsado por energía solar fotovoltaica, con un panel de 40Wp, el cual no produzca contaminación en su fase de operación.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Determinar el tamaño del vehículo en función del panel solar fotovoltaico de 40Wp.
- Determinar los tipos de materiales y procesos con los cuales se pueda desarrollar de manera más eficiente la construcción del prototipo.
- Caracterizar el vehículo desde el punto de vista de la mecánica automotriz.
- Determinar la factibilidad económica del desarrollo de vehículos impulsados por energía solar fotovoltaica.
- Determinar la factibilidad de construir un modelo de vehículo propulsado por energía solar fotovoltaica utilizando la tecnología actual disponible en el mercado nacional.

1.4 Alcances y limitaciones.

1.4.1 Alcances.

Desarrollar durante el periodo establecido, un modelo de vehículo ecológico experimental cuyo funcionamiento sea a base de energía solar fotovoltaica, y que además posea un rendimiento satisfactorio y sirva como medio experimental, en el cual sea posible realizar pruebas y análisis en diferentes condiciones de radiación solar, pendiente de recorrido y peso total del vehículo.

1.4.2 Limitaciones.

El presente proyecto se limitará a la construcción de un modelo de vehículo propulsado por energía solar fotovoltaica, el mismo que servirá como medio de pruebas en laboratorio para analizar la factibilidad del uso de este tipo de energía como alternativa a los combustibles fósiles.

Sus principales características son: la operación se la realizará mediante un sistema de control remoto, el desplazamiento del vehículo será únicamente en sentido longitudinal, y la capacidad de carga así como la capacidad de desplazamiento dependerán de las características del panel solar del que disponemos.

1.5 Justificación e importancia.

1.5.1 Justificación.

En base a los antecedentes establecidos de que existe un decremento en las reservas petrolíferas y que esto a su vez genera un aumento de precios en los productos derivados de petróleo, vamos a diseñar y construir un modelo de vehículo de tipo experimental para aplicaciones académicas impulsado por energía solar, el cual sea autónomo durante todas las etapas de su funcionamiento. Esto se logrará a través del uso de un panel fotovoltaico y sistemas anexos. Además se desarrollarán y aplicarán técnicas de diseño que permitan maximizar las prestaciones del modelo, teniendo en cuenta aspectos

como son: el costo, el peso, la resistencia al rodamiento, la seguridad y los materiales.

La justificación del presente proyecto es la de utilizar tecnología solar de fácil acceso en el país, misma que servirá como base de desarrollo y permitirá a futuro hacer de este tipo de energía una opción accesible, competitiva y libre de contaminantes.

1.5.2 Importancia.

Teniendo en cuenta los altos índices de contaminación actuales, la importancia de este proyecto se centra en el hecho de poder analizar la posibilidad de utilizar la energía solar fotovoltaica como sustituto o apoyo a sistemas de propulsión comunes (motores de combustión), brindando características de desempeño y autonomía equiparables a las obtenidas con las tecnologías convencionales.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Definiciones.

- **Acumulador eléctrico:** Elemento compuesto por el agrupamiento de pilas, las cuales a su vez son componentes que producen electricidad a partir de una reacción química en el interior de la misma.
- **Antrópico:** Una cosa o circunstancia causada por el hombre o para el hombre.
- **Batería:** Elemento compuesto de acumuladores eléctricos conectados entre sí, y que tiene la finalidad de almacenar energía eléctrica.
- **Efecto fotoeléctrico:** conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica.
- **Electricidad:** Todo fenómeno producido como consecuencia de los efectos que producen las cargas eléctricas, ya sea que estas se encuentren en reposo o en movimiento.

- **Enlace covalente:** Es una reacción producida entre dos átomos no metales cuando existe una electronegatividad polar cuya magnitud no es lo suficientemente fuerte como para permitir que se efectúe transferencia de electrones, por lo que los átomos comparten uno o más pares electrónicos en un nuevo tipo de orbital denominado *orbital molecular*.
- **Energía:** Capacidad de un cuerpo o un sistema para producir un trabajo.
- **Energía eléctrica:** Energía asociada a campos eléctricos o magnéticos que se puede almacenar en distintos dispositivos eléctricos, o también energía de movimiento en el caso de la corriente eléctrica.
- **Energías renovables:** Toda aquella forma de energía que no proviene de fuentes naturales agotables, consumibles o que requieran de grandes periodos de tiempo para regenerarse.
- **Radiación solar:** Flujo de energía emitido por el Sol, mismo que es recibido por la tierra en forma de ondas electromagnéticas de varias frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta).
- **Trabajo:** Producto de una fuerza por la distancia en la que ésta es aplicada.

2.2 Energía solar.

Se conoce que el sol ha estado brillando sobre el planeta Tierra desde hace 5000 millones de años y que aún no ha cumplido ni la mitad de su ciclo de vida estimado, por esta razón y teniendo en cuenta los crecientes problemas energéticos y de contaminación por los cuales estamos atravesando actualmente, es de vital importancia desarrollar tecnologías que permitan explotar de manera eficiente la energía que a diario nos ofrece el astro rey.

El Ecuador especialmente, debido a su ubicación geográfica (principalmente por estar ubicado sobre la línea ecuatorial), posee niveles de radiación de los más altos a nivel regional, como se puede observar en el siguiente gráfico, y esto a su vez hace que sea altamente factible la realización de proyectos de explotación de energía solar.

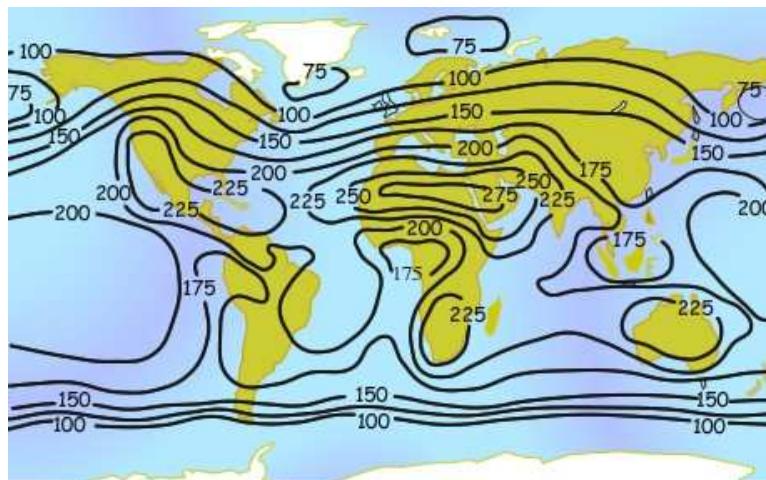


Figura 2.1 Distribución global de la radiación.⁵⁷

A continuación se desarrollarán algunos conceptos teóricos acerca de los elementos que componen a esta energía solar.

2.2.1 Radiación solar.

La radiación solar es en sí la forma en la cual se hace evidente la energía solar sobre la superficie terrestre, ya que la misma llega a la tierra en forma de ondas de varios tipos, y la suma de estas compone a la radiación solar. Por tanto, se puede definir a la radiación solar como el conjunto de ondas electromagnéticas de diferente frecuencia que son emanadas o emitidas por el Sol y recibidas por la Tierra.

La cantidad de dichas ondas que llegan a un determinado punto de la superficie terrestre luego de atravesar la atmósfera se la conoce como irradiación, y esta depende de factores geográficos: latitud, exposición e inclinación del suelo; atmosféricos: nubosidad y partículas en suspensión

⁵⁷ www.homepage.mac.com

(naturales y antrópicas); y otros: como por ejemplo la época del año y la hora en la cual se realiza la medición.

Como se dijo anteriormente, la radiación solar está compuesta por ondas electromagnéticas de frecuencias distintas. En el siguiente esquema se puede observar las ondas que componen a dicha radiación.

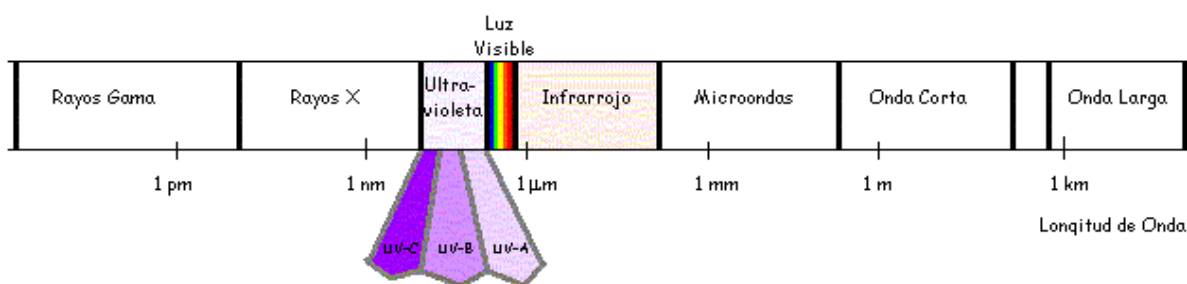


Figura 2.2 Espectro electromagnético de la radiación solar. ⁵⁸

De todas las ondas que componen la radiación solar, se describen a continuación las más importantes con respecto al presente objeto de estudio.

En primer lugar (debido a que éstas ondas representan aproximadamente la mitad del total de las ondas que llegan a la Tierra), tenemos que lo que conocemos como luz visible son ondas magnéticas cuyas longitudes de onda varían entre 0.4 y 0.74 μm, en segundo lugar encontramos a las ondas que se encuentran en la parte infrarroja del espectro, las cuales tienen longitudes de onda de entre 0.74 y 4μm; finalmente tenemos que una pequeña y última parte se encuentra en la parte ultravioleta, la cual se transmite en cantidad casi constante con una longitud de onda de entre 0.15 y 0.4 μm.

La mayoría de los rayos ultravioleta son absorbidos por la capa de ozono que se encuentra en la atmósfera y es por esta razón que son los rayos que se encuentran en menor proporción con respecto a los otros rayos que componen la radiación solar, aunque cabe anotar que a pesar de esto es la porción más energética del espectro electromagnético que incide sobre la superficie terrestre.

⁵⁸ www.ideam.gov.co

Es posible medir la cantidad de radiación mediante el uso de instrumentos meteorológicos como se verá a continuación.

2.2.2 Medidores de radiación.

Para medir la radiación solar se utilizan radiómetros solares como los piranómetros o polarímetros y los pirheliómetros. Según sus características pueden servir para medir la radiación solar global (directa más difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa, la neta y el brillo solar.

Tabla 2.1 Instrumentos meteorológicos de medidas de la radiación.

Tipo de Instrumento	Parámetro de Medida
Piranómetro	i. Radiación Global ii. Radiación directa iii. Radiación difusa
Piranómetro Espectral	Radiación Global en intervalos espectrales de banda ancha
Pirheliómetro Absoluto	Radiación Directa (usado como patrón nacional)
Pirheliómetro de incidencia normal	Radiación Directa (usado como patrón secundario)
Pirheliómetro (con filtros)	Radiación Directa en bandas espectrales anchas
Actinógrafo	Radiación Global
Heliógrafo	Brillo Solar

2.2.2.1 Piranómetro

Es el instrumento más usado en la medición de la radiación solar (ver figura 2.3). Mide la radiación directa y difusa (global) sobre una superficie horizontal, obtenida a través de la diferencia de calentamiento de dos sectores pintados alternativamente de blanco y negro en un pequeño disco plano. Además, tiene instalado una cúpula de vidrio óptico transparente para filtrar la radiación entre las longitudes de onda que oscilan aproximadamente entre 280 y 2800 nm.

Se pueden usar filtros en lugar de la bóveda de cristal para medir la radiación en diversos intervalos espectrales, por ejemplo: la radiación ultravioleta.



Figura 2.3 Piranómetro para medir radiación global.⁵⁹

2.2.2.2 Pirheliómetro.

Son instrumentos para la medición de la radiación solar directa. Esto se consigue colocando el sensor normalmente en el foco solar, bien manualmente o bien sobre un montaje ecuatorial.



Figura 2.4 Pirheliómetro de cavidad absoluta, serie PMO – 6.⁶⁰

2.2.2.3 Pirheliógrafo

Es el que se utiliza para medir la radiación solar directa. Este instrumento registra la radiación que proviene de un ángulo sólido pequeño y que incide en una superficie plana normal al eje de este ángulo.

⁵⁹ www.ideam.gov.co

⁶⁰ www.ideam.gov.co

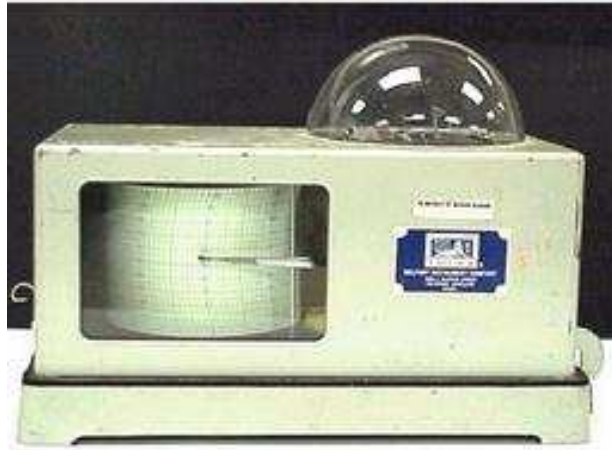


Figura 2.5 Pirheliógrafo.⁶¹

2.2.2.4 Actinógrafo

Es un instrumento que funciona mediante un sensor termomecánico, protegido por una cúpula en vidrio, esta conformado por un arreglo bimetalico de dos superficies, una pintada de color negro y la otra de blanco, que registra mediante el trazo de una grafica colocada en un tambor de reloj los valores de la radiación solar global.



Figura 2.6 Actinógrafo Fues.⁶²

⁶¹ www.ideam.gov.co

⁶² www.ideam.gov.co

2.2.2.5 Heliógrafo

Es un instrumento registrador que proporciona las horas de sol efectivo en el día (insolación o brillo solar). En este equipo el sol quema una cartulina graduada en horas, la cual está ubicada concéntricamente debajo de la esfera de vidrio.



Figura 2.7 Heliógrafo.⁶³

2.2.3 Tipos de radiación solar:

Se puede resaltar a los siguientes tipos de radiación solar de acuerdo con la forma en que los objetos que se encuentran en la superficie terrestre la reciben. Así tenemos:

– **Radiación directa.**

Es aquella radiación que llega hasta los objetos que se encuentran en la superficie terrestre sin experimentar ningún tipo de obstáculo en su trayectoria y se caracteriza por proyectar una sombra claramente definida de los cuerpos opacos que la interceptan.

⁶³ www.ideam.gov.co

– **Radiación difusa.**

Es aquella que se produce como consecuencia de las reflexiones y absorciones de las nubes, partículas de polvo, montañas, etc. Se presenta en todas direcciones sobre los objetos que la interceptan y no proyecta ningún tipo de sombra sobre los mismos.

– **Radiación reflejada.**

Es la radiación reflejada por la superficie terrestre y la cantidad de ésta depende del *albedo* (coeficiente de reflexión de la superficie).

– **Radiación global.**

Esta radiación es la suma de las tres radiaciones anteriores.

En la siguiente representación podemos observar los diferentes tipos de radiación, así como las direcciones en las que estas actúan y la forma en la que inciden sobre los objetos que la reciben.

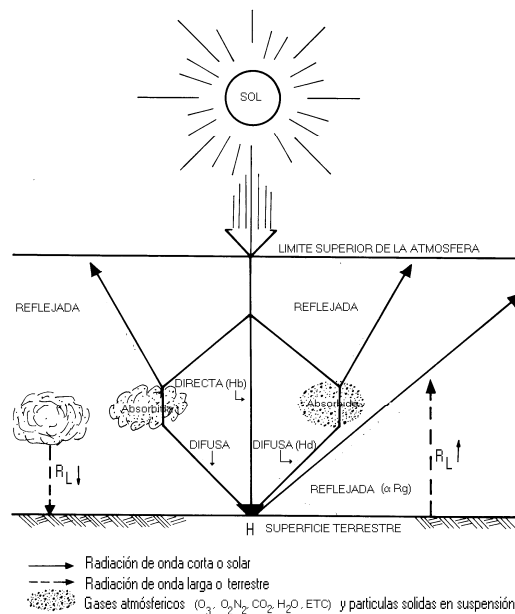


Figura 2.8 Atenuación de la radiación solar por la atmósfera terrestre.⁶⁴

⁶⁴ Obtenido del Atlas de radiación solar

2.3 Conversión fotovoltaica.

Para comprender de forma clara y concreta la forma en que la radiación solar se convierte en energía eléctrica es necesario revisar brevemente algunos principios referentes a la conductividad eléctrica, así como la clasificación de los materiales de acuerdo con la forma en que esta los afecta.

2.3.1 Conducción eléctrica

Todos los materiales o elementos que encontramos en la naturaleza y en la vida diaria en general están compuestos por átomos. Los átomos a su vez están compuestos por un núcleo, en el cual se encuentran albergados los neutrones y los protones que este posee, y por unas bandas u órbitas en las cuales se encuentran circulando sus electrones (de acuerdo con el modelo atómico de Bohr, utilizado por practicidad).



Figura 2.9 Diagrama del modelo atómico de Bohr.⁶⁵

Cabe decir que dependiendo del átomo, o más bien del número de electrones que posee el elemento al que pertenece el átomo, se tendrán más o menos órbitas ocupadas por electrones, que serán las más cercanas al núcleo, debido

⁶⁵ www.wikipwdia.org

a que cuando estos están estables ocupan las órbitas que poseen la menor energía, como se explica a continuación.

Los electrones al circular en sus órbitas poseen niveles de energía asociados que se van incrementando con relación directa a la distancia a la que se encuentran del núcleo, sin embargo, al circular el electrón sobre esas órbitas, no radia ni pierde energía, de manera que su estado permanece estable. De igual forma cada órbita corresponde a un nivel determinado de energía, siendo el estado estable de menor energía la trayectoria más próximo al núcleo.

Si el átomo recibe luz de una fuente exterior, absorberá energía, misma que llevará al electrón a una órbita más alejada del núcleo. En el interior atómico, ganancia o pérdida de energía se traducen, pues, por saltos electrónicos que se efectúan, en el primer caso, hacia los niveles superiores; en el segundo, hacia los inferiores.

Por esta razón los electrones que se encuentran girando en la órbita o capa de valencia, la más externa, son los que poseen un nivel más alto de energía y es así como tienen una mayor capacidad de transferirse hacia la banda de conducción y/o hacia otros átomos para formar compuestos o para facilitar la conducción térmica y eléctrica. La distancia entre la banda de valencia y la banda de conducción se denomina banda prohibida debido a que en ella no pueden existir portadores de corriente.

Los electrones de valencia o electrones libres que se encuentran en el último nivel u órbita son entonces los que hacen posible la conducción de electricidad a través de los distintos compuestos o materiales, por tanto mientras más electrones libres posean los átomos de un elemento o material específico en su capa de valencia, mayor será su capacidad de conducir corriente eléctrica y/o temperatura.

A continuación podemos observar como se clasifican los diferentes materiales de acuerdo con lo dicho anteriormente:

– **Conductores:**

Los metales en general transfieren sus electrones sin ninguna dificultad ya que sus bandas de valencia y conducción se superponen, es decir que no existe ningún intervalo de energías prohibidas entre estas.

– **Aislantes:**

Son los elementos en los cuales existe una diferencia energética considerable entre sus bandas de valencia y conducción, lo que hace que en condiciones normales no sea posible el salto de electrones entre éstas y por ende no exista conducción eléctrica.

– **Semi-conductores:**

A continuación se explicará de forma más detallada a este tipo de elementos, ya que son parte fundamental de la conversión fotovoltaica.

2.3.2 Semi-conductores.

Los semi-conductores son elementos o sustancias que tienen la capacidad de actuar como conductores o como aislantes eléctricos dependiendo de la temperatura a la cual se encuentran (nivel de energía que poseen). Mientras mayor sea la temperatura, mayor será su capacidad de conducir la electricidad y viceversa.

En estos elementos la diferencia energética existente entre las bandas de valencia y conducción es mucho menor que en el caso de los aislantes, por lo que es posible lograr la conducción eléctrica mediante el suministro de energía. Cabe decir también que con estos elementos es posible además regular la conductividad eléctrica variando la cantidad de energía suministrada.

Dicho de otra manera, en los semi-conductores la banda de conducción es el intervalo de energías electrónicas que, estando por encima de la banda de valencia,

permite a los electrones sufrir aceleraciones por la presencia de un campo eléctrico externo y, por tanto, permite la presencia de corrientes eléctricas.

Los electrones de un semi-conductor pueden alcanzar esta banda cuando reciben suficiente energía, generalmente debido a la excitación térmica.

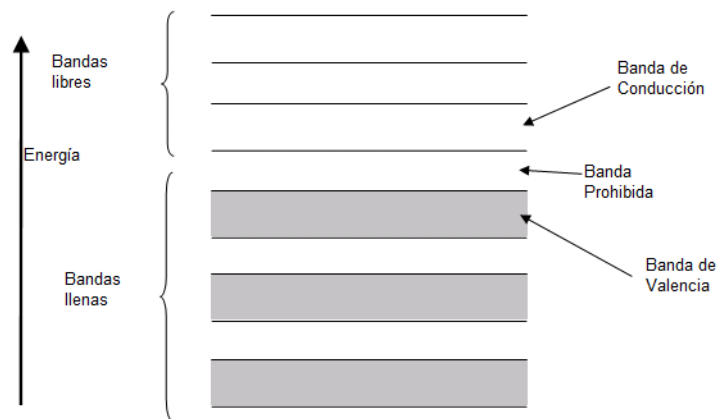


Figura 2.10 Estructura de bandas de un semi-conductor.⁶⁶

Entre los elementos más comúnmente utilizados encontramos al silicio y al germanio, aunque con mayor frecuencia se utiliza al primero. Por otra parte, encontramos que combinaciones entre elementos de los grupos IIB y IIIA con elementos de los grupos VA y VIA producen compuestos de idéntico comportamiento al silicio, y la característica en común que presentan es que tienen cuatro electrones en su última capa, es decir son *tetravalentes*.

2.3.2.1 Tipos de semi-conductores.

a) Semi-conductor intrínseco.

Un semi-conductor intrínseco es aquel que posee cuatro electrones en su última capa (capa de valencia), como el silicio, además se los llama así porque no han sido alterados con impurezas externas de ningún tipo, sino que se encuentran en estado puro.

⁶⁶ www.wikipedia.org

Los cuatro electrones de la última capa se encuentran formando *enlaces covalentes* con otros átomos vecinos para así formar un cristal, que es la forma en que se los encuentra en la naturaleza. Si esta estructura se encuentra a una temperatura muy baja o en el cero absoluto, el cristal tendrá tan poca energía que no hará posible la conducción eléctrica. Al aumentar la temperatura (a temperatura ambiente por ejemplo) ciertos electrones adquieren suficiente energía para romper el enlace del que forman parte y "saltar" al siguiente orbital. Esto provoca la formación de un espacio vacío, que por carencia de electrones, posee carga positiva, a este espacio se lo denomina *hueco*.

Este proceso no es realizado por un sólo electrón, sino que se produce simultáneamente con miles y miles de electrones a temperatura ambiente. Es decir, continuamente se está formando pares electrón-hueco (así llamados porque siempre que se desprende un electrón se genera el hueco correspondiente), pero también continuamente se están recombinando, es decir los electrones vuelven a ocupar su lugar, desapareciendo de esta forma el par electrón-hueco. Se llega así a un equilibrio dinámico en el que el número de electrones y huecos es igual y fijo (siempre y cuando la temperatura no se modifique).

Si en estas condiciones se conecta a dicho cristal una fuente externa de tensión, los electrones irán hacia el polo positivo de la pila, mientras que los huecos fluirán hacia el otro polo de la misma. De esta forma se establecerá una corriente eléctrica a través del cristal. Dado que la cantidad de portadores (huecos y electrones) aumenta con la temperatura, también lo hace la corriente por el cristal, aunque cabe mencionar que las corrientes que se desarrollan están en el orden de micro o nano amperios, por lo que no son útiles. Es así como podemos considerar a los semi-conductores intrínsecos como aislantes

b) Semi-conductor extrínseco.

Un semi-conductor extrínseco no es más que un semi-conductor intrínseco dopado con impurezas. El objeto del mencionado proceso es el de aumentar la cantidad de portadores libres en el cristal provocando un aumento en la conductividad del mismo (recordemos que la corriente es el flujo de portadores).

Ahora bien, para dopar al cristal se utilizan átomos trivalentes o pentavalentes de otros elementos (con tres y cinco electrones en su última capa, respectivamente), los cuales reemplazan a ciertos átomos del elemento original. Estos átomos son las denominadas impurezas.

El semi-conductor intrínseco, sea cual fuere, posee cuatro electrones en la última capa de sus átomos, que se combinan a su vez con otros átomos para formar un cristal. Por esta razón, al introducir un átomo pentavalente o trivalente en dicho cristal, se provocará un aumento o un defecto de electrones que hará aumentar la cantidad portadores.

Como hemos explicado, es posible dopar al cristal con dos tipos de impurezas, que a su vez dan como resultado dos tipos de semi-conductores.

- Semi-conductores tipo N.
- Semi-conductores tipo P.

- **Semi-conductor tipo N:**

Un semi-conductor tipo N es aquel en que ha sido utilizado como impureza para el dopaje del cristal intrínseco un elemento pentavalente.

El propósito de este dopaje tipo N es el de producir abundancia de electrones portadores en el material. Cuando el material dopante es añadido, éste aporta sus electrones más débilmente vinculados a los átomos del semiconductor. Este tipo de agente dopante es también conocido como *material donante* ya que da algunos de sus electrones.

A nivel atómico, lo que sucede es que si se introduce un átomo pentavalente (P, Sb, As) en un cristal puro, cuatro de sus electrones se unirán a cuatro electrones de los átomos de silicio vecinos, pero el quinto queda libre, dando como resultado la formación de electrones libres que no forman parte de ninguna unión, por lo que están débilmente ligados al átomo. De ésta forma el

número de electrones en el material supera ampliamente al número de huecos, transformándose los electrones en los portadores mayoritarios.

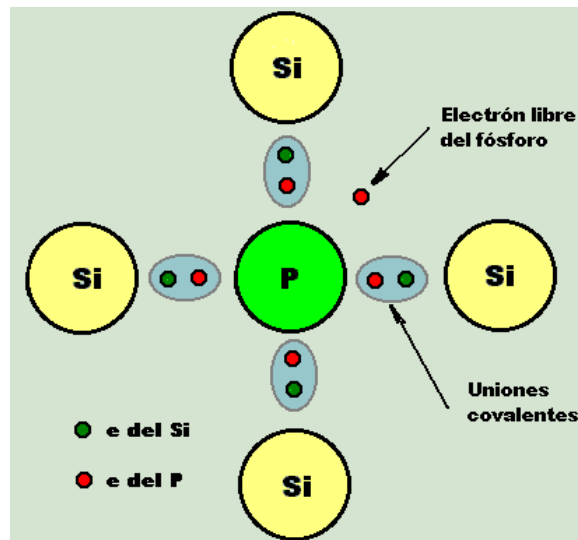


Figura 2.11 Dopaje de un semi-conductor tipo N.⁶⁷

Estos electrones libres requerirán muy poca energía para "saltar" a la banda de conducción, por lo que la energía térmica del ambiente basta para provocar este salto.

De esta forma al agregar átomos pentavalentes agregamos electrones en la banda de conducción, es decir, agregamos portadores.

– **Semi-conductor tipo P:**

Un semi-conductor tipo P es por tanto, aquel en que ha sido utilizado como impureza para el dopaje del cristal intrínseco un elemento trivalente.

A nivel atómico lo que sucede es que si sustituimos uno de los átomos del material intrínseco (que como sabemos tiene 4 electrones en su capa exterior) por un átomo de otro elemento que contenga tres electrones en su capa exterior, resulta que estos tres electrones llenarán los huecos que dejaron los electrones del átomo de silicio, pero como son cuatro, quedará un hueco por ocupar. O sea que ahora la sustitución de un átomo por otros provoca la

⁶⁷ www.comunidadciudad.com

aparición de huecos en el cristal de silicio, lo que es el propósito del dopaje tipo P. Por tanto ahora los portadores mayoritarios serán los huecos y los electrones los portadores minoritarios.

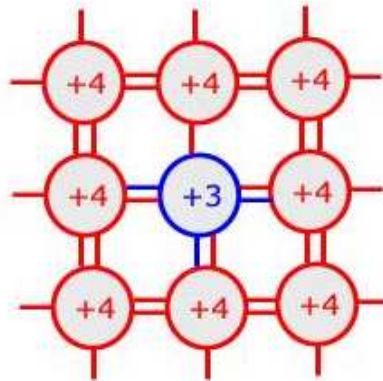


Figura 2.12 Dopaje de un semi-conductor tipo P.⁶⁸

Cuando un número suficiente de aceptores (agentes dopantes trivalentes) son añadidos, los huecos superan ampliamente la excitación térmica de los electrones. Así, los huecos son los portadores mayoritarios, mientras que los electrones son los portadores minoritarios en los materiales tipo P. Ahora bien, una vez revisados los conceptos básicos acerca de la conducción eléctrica y los semi-conductores, se explicará a continuación el funcionamiento del elemento básico en el que se produce la conversión fotovoltaica.

Dicho elemento se denomina celda o célula solar, que como veremos posteriormente es un dispositivo en el cual intervienen todos los elementos y fenómenos que se analizaron anteriormente.

2.3.3 Celdas o células solares.

Las celdas solares están compuestas por la unión de un semi-conductor del tipo N con uno del tipo P, a lo que se conoce como unión tipo P-N. Estos semi-conductores son por lo general silicio monocristalino en forma de obleas (barras muy finas con espesores de entre 0.1 y 0.35 mm.) dopados con fósforo en un caso y boro en el otro, para producir semi-conductores tipo P y tipo N respectivamente.

⁶⁸ [www. ifent.org](http://www.ifent.org)

El propósito de realizar ésta unión tipo P-N es que se produzca un flujo de electrones desde la zona P a la zona N. Para producir dicho flujo es necesario en primer lugar que exista una incidencia de radiación luminosa con energía suficiente como para romper los enlaces de los electrones de valencia generando pares electrón-hueco en cada uno de los semi-conductores, pero que en el caso de la unión P-N produce que dichos pares electrón-hueco se separen, afluyendo electrones a la zona N y huecos a la zona P.

De esta manera, cuando se expone una celda solar a la luz del sol se hace posible la circulación de electrones y la aparición de corriente eléctrica entre las dos caras de la célula, que puede a su vez ser entregada a un circuito exterior saliendo por la zona P y entrando por la zona N.

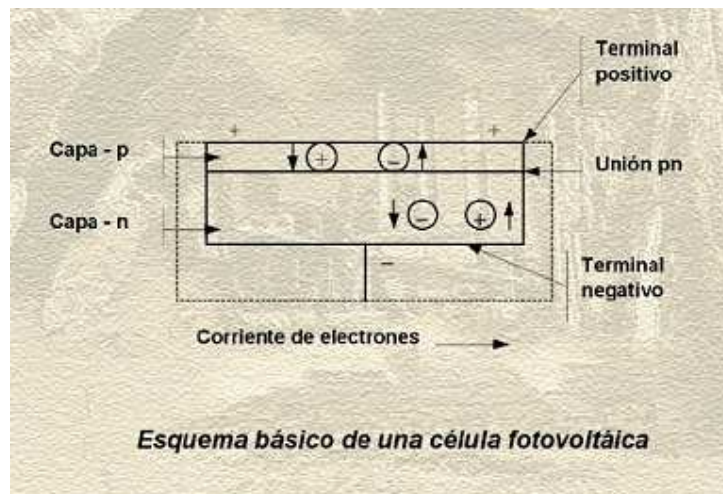


Figura 2.13 Esquema básico de una célula fotovoltaica.⁶⁹

Siendo la celda solar la mínima unidad de conversión fotovoltaica, es necesario aclarar que su rendimiento en términos de potencia es muy bajo, así pues, si se tiene una radiación de 1000 W/m^2 la celda solar promedio es capaz de suministrar apenas 0.5 V y 2 A aproximadamente. Por esta razón si se requiere producir energía eléctrica suficiente como para hacer funcionar un aparato de mediana potencia será necesario unir un cierto número de celdas para formar un panel fotovoltaico.

⁶⁹ www.villarubiadelosojos.com

2.3.3.1 Paneles fotovoltaicos:

Los paneles fotovoltaicos están conformados por la unión de varias celdas solares, donde el número y la disposición de las mismas vienen dados en función de los requerimientos de tensión y potencia del sistema al cual va a alimentar el panel.

Si lo que se necesita es obtener más tensión hay que conectar varias celdas en serie. Por ejemplo, conectando 36 (tomando en cuenta celdas de dimensiones normales, 7.6 cm de diámetro) se obtienen 18 V, tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12V, incluso con iluminaciones mucho menores de 1kW/m².

La unidad básica de las instalaciones fotovoltaicas es, pues, la placa fotovoltaica, que contiene entre 20 y 40 celdas solares; estas placas se conectan entre sí en serie y/o paralelo para obtener el voltaje deseado (12V, 14V, etc.). Estas células interconectadas y montadas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie constituyen lo que se denomina un módulo fotovoltaico.

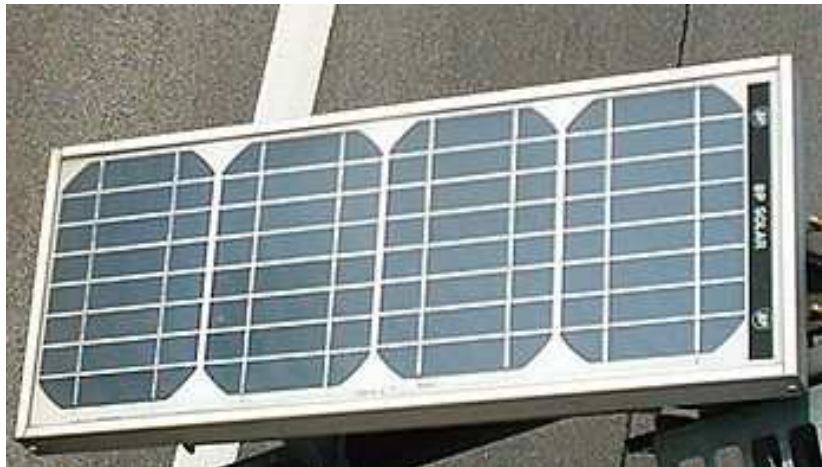


Figura 2.14 Panel solar o módulo fotovoltaico.⁷⁰

A pesar de que se ha dicho que se puede armar los paneles para generar la tensión que se quiera, por lo general los paneles están contruidos para generar tensiones de 12 V y 24 V (de corriente continua), teniendo en cuenta también que se debe sobre dimensionar el sistema debido a que las condiciones de radiación no siempre son las óptimas. Cabe además mencionar que los módulos solares

⁷⁰ www.es.wikipedia.org

tienen una vida útil estimada de entre 25 y 30 años, y que el mantenimiento que requieren es mínimo (solo se requiere mantenerlo limpio) ya que como hemos visto no contienen ningún elemento móvil en su interior.

2.4 Rendimiento de sistemas fotovoltaicos

El rendimiento de los sistemas fotovoltaicos viene dado principalmente por la eficiencia que tengan las celdas solares, y por ende los paneles solares, ya que el resto de elementos que forman parte del sistema son simplemente accesorios que sirven para mantener la tensión en un cierto nivel o para transmitir la energía. Por tanto para el análisis del rendimiento nos concentraremos en la eficiencia de los distintos tipos de celdas solares, ya que estas son la unidad base del sistema fotovoltaico.

En términos generales tenemos que una celda solar tiene un grosor que varía de 0.25 a 0.35mm, aunque existen algunas que pueden tener incluso 0.1mm, y una sección cuadrada con un área de alrededor de 100mm².

Ahora bien, a pesar de que se tiene un valor un tanto generalizado en cuanto a las dimensiones de las celdas solares, los materiales que se utilizan son más diversos, y de estos depende directamente el rendimiento, así como el costo también.

2.4.1 Rendimiento de acuerdo al material.

A continuación se describen las principales características de los materiales utilizados para la fabricación de celdas fotovoltaicas, así como el rendimiento de estas.

– Silicio monocristalino:

Material de silicio caracterizado por una disposición ordenada y periódica de átomo, de forma que solo tiene una orientación cristalina, es decir, todos los átomos están dispuestos simétricamente. sc-Si (single crystal). Presentan un color azulado oscuro y con un cierto brillo metálico. Alcanzan rendimientos de 15% hasta el 17%.

– **Silicio policristalino:**

Silicio depositado sobre otro sustrato, como una capa de 10 a 30 μ m, y tamaño de grano entre 1 μ m y 1mm. Las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición. Alcanzan rendimientos de 12% hasta el 14%.

– **Silicio amorfo:**

Compuesto hidrogenado de silicio, no cristalino, depositado sobre otra sustancia con un espesor del orden de 1 μ m. am-Si, o am-Si:H. No existe estructura cristalina ordenada, y el silicio se ha depositado sobre un soporte transparente en forma de una capa fina. Presentan un color marrón y gris oscuro. Las células de silicio amorfo (no cristalino) parecen tener unas perspectivas de futuro muy esperanzadoras.

Esta tecnología permite disponer de células de muy delgado espesor, de fabricación más simple y barata, aunque con eficiencia del 6-8%. Su principal campo de aplicación en la actualidad se encuentra en la alimentación de relojes, calculadoras, etc. Son muy adecuadas para confección de módulos semitransparentes empleados en algunas instalaciones integradas en edificios.

– **Otros materiales:**

Se utilizan además otros materiales como: arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, y telurio de cobre, que son materiales creados y utilizados especialmente para uso fotovoltaico. La eficiencia que se puede obtener con el uso de estos materiales es más alta que la del silicio monocristalino, sin embargo el costo también es superior.

2.5 Curvas de funcionamiento.

Existen parámetros que nos permiten conocer el rendimiento que tendrá un panel solar específico, los mismos que son obtenidos a partir de dos curvas en particular, I-V (intensidad-voltaje) y P-V (potencia-voltaje).

Los principales parámetros que se deben considerar, y que podemos obtener a partir de las gráficas mencionadas son:

- **Corriente de cortocircuito (I_{cc}):**

Es la intensidad máxima de la corriente que se puede obtener del panel bajo condiciones normalizadas en situación de cortocircuito entre los bornes del panel.

- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):**

Es el voltaje máximo que aparece entre los bornes del panel desconectado bajo condiciones normalizadas.

- **Factor de forma (FF):**

Cociente entre la potencia máxima y el producto del voltaje de circuito abierto por la corriente de cortocircuito.

- **Punto de máxima potencia:**

Definido por V_{mpp} e I_{mpp} , y que proporcionan el mayor valor de potencia, también llamado potencia a máximo punto de potencia.

Otro parámetro para definir la potencia máxima entregable por el panel es *la potencia de pico*, que es la potencia que entrega el panel en condiciones estándar de medida (explicadas más adelante) y que puede considerarse como un valor límite.

Así por tanto, con estos datos, se podrá establecer una base de cálculo para determinar el fin último del proyecto, es decir, conocer la inversión a realizar para tener una potencia dada, la capacidad de generación, la producción eléctrica del conjunto y por tanto, el periodo de amortización.

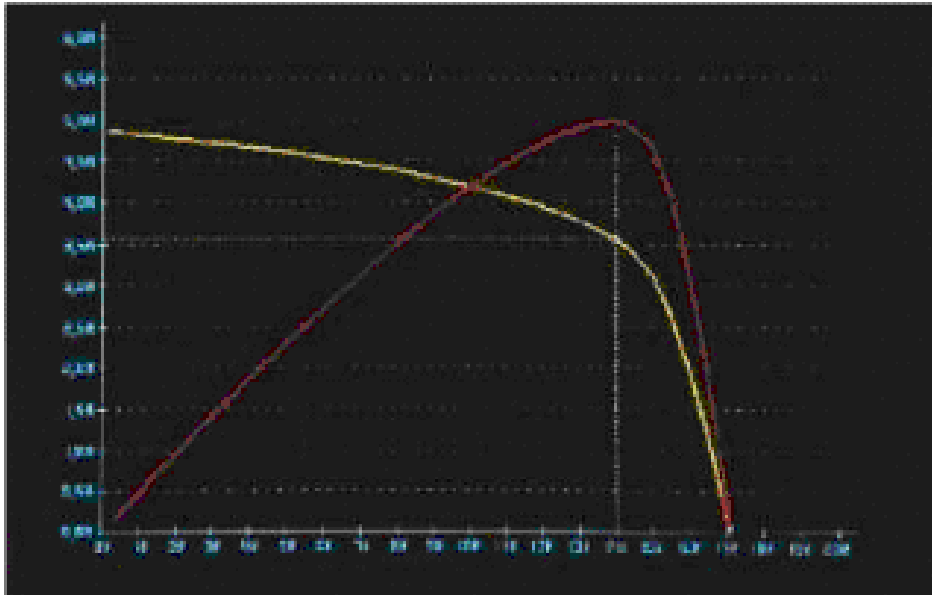


Figura 2.15 Curvas experimentales I-V (amarillo)/P-V (rojo), obtenidas de un ensayo.⁷¹

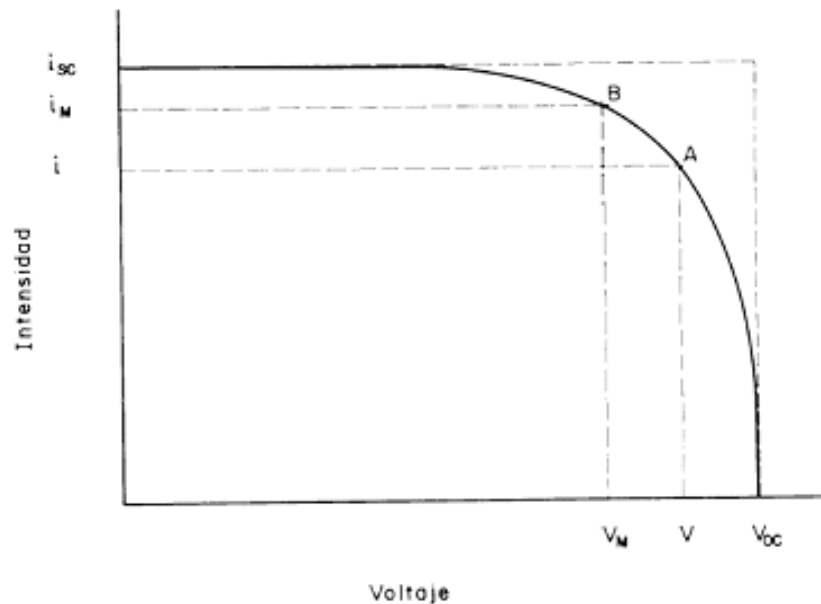


Figura 2.16 Curva i-V característica de un panel para una irradiancia (E) y una temperatura (T) dadas.⁷²

⁷¹ www.volltinum.es

⁷² www.volltinum.es

Podemos ver las curvas de intensidad-voltaje y de potencia-voltaje, obtenidas de un ensayo y, como la característica de los paneles fotovoltaicos, produce un máximo de potencia en el codo de caída de corriente.

Para la obtención de estas curvas los fabricantes de paneles se rigen a las condiciones estándar de medida (CEM o STC en inglés), las que dictaminan que se debe utilizar una irradiancia solar de $1000\text{W}/\text{m}^2$ con espectro AM 1.5 (figura 2.14) y una temperatura de celda de 25°C .

Debido a que es necesario mantener estables las condiciones de ensayo estándar impuestas por las normativas internacionales, se utilizan en la actualidad herramientas como los generadores de espectro, los cuales incorporan una celda de referencia calibrada que permite establecer un sistema trazable de medida, y así obtener un sistema de evaluación estable independiente del lugar y el momento de su realización.

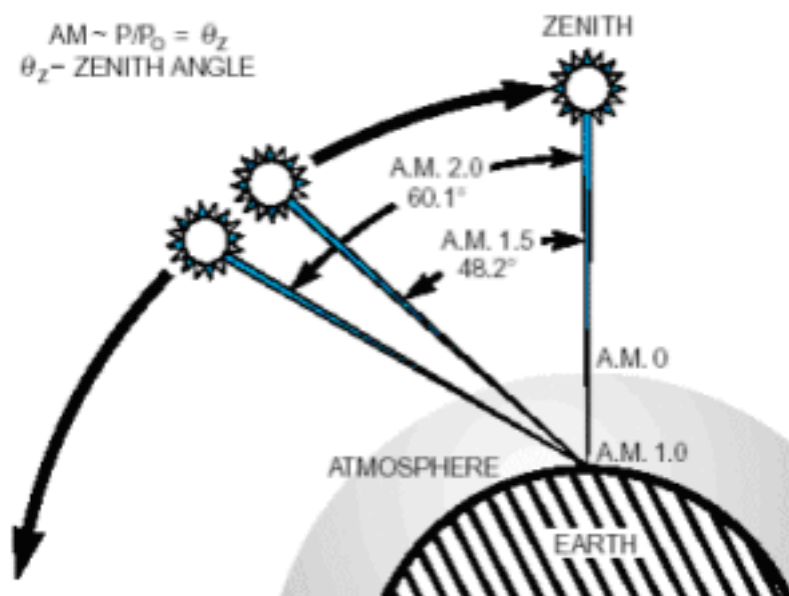


Figura 2.17 Esquema de referencias utilizadas en distintos ensayos.⁷³

⁷³ www.volltinum.es

2.6 Modelos de vehículos impulsados con energía solar fotovoltaica.

En este numeral se presentan diferentes modelos los cuales se han producido como concep cars (vehículos concepto), los cuales dan una idea de que en un futuro cercano se pueden mejorar y desarrollar más vehículos con este tipo de energía.

Tomando en cuenta que es cierto que la energía solar no será la sustitución de la gasolina en un corto plazo., se ha hecho el intento y como prueba se muestran 13 de los coches concepto con energía solar que podrían ser cabezas de inflexión en las carreteras del mundo y en carreteras en los próximos años.

– El Koenigsegg Quant:



Figura 2.18 El Koenigsegg Quant.⁷⁴

Este es un supercoche desarrollado por una empresa sueca, posee dos fuentes de energía: la energía solar y pirita, también conocida como Fool's Gold. Un portavoz de la compañía en el Salón de Ginebra fue citado diciendo el Quant tendrá un rango de 300 millas y solo 20 minutos para recargar totalmente.

⁷⁴ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

– **El Peugeot Shoo:**



Figura 2.19 El Peugeot Shoo.⁷⁵

Este es uno de los que mas aspecto futurista tiene, el Peugeot Shoo utiliza un diseño triangular y un techo con paneles solares para alimentar el motor. El diseño fue inspirado por un barco y gran parte de la aerodinámica del coche se debe a eso.

– **El Italdesign Giugiaro Quaranta:**

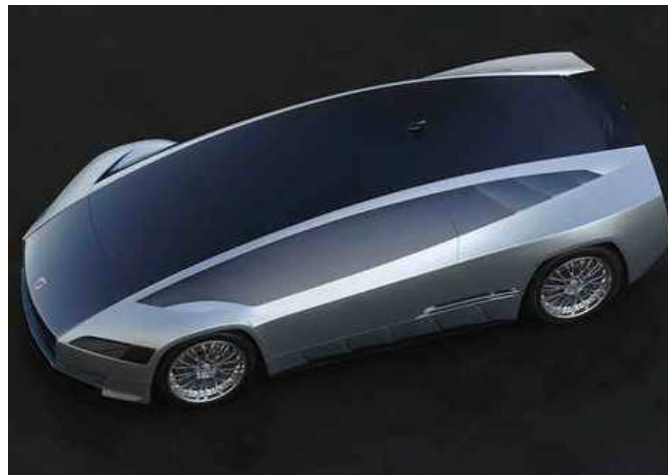


Figura 2.20 El Italdesign Giugiaro Quaranta.⁷⁶

El Quaranta es uno de los más elegantes y dinámicos automóviles concepto solares existente en la actualidad. Sus baterías están completamente alimentadas por energía solar, que es recogida a través de paneles colocados en el techo y la parte delantera del vehículo.

⁷⁵ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

⁷⁶ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

– **El Mercedes-Benz de Fórmula Cero:**



Figura 2.21 El Mercedes-Benz de Fórmula Cero.⁷⁷

La foto anterior es el Fórmula Zero, un concept car que se creó en el 2008 en Los Ángeles. Es propulsado por motores eléctricos en cada una de sus 4 ruedas y baterías que obtienen su energía de un ala de paneles solares.

– **El Astro Solo:**



Figura 2.22 El Astro Solo.⁷⁸

El húngaro Astro Solo tiene un diseño sorprendente, utiliza una combinación de energía solar y combustión con etanol para producir energía eléctrica. Los paneles solares en el techo son suficientes para alimentar el coche de 15 a 25 kilómetros. Cuando el cielo está nublado, el Astro Solo tiene un pequeño motor alimentado por el pedaleo de los tres pasajeros.

⁷⁷ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

⁷⁸ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

– **El 1987 GM Sunraycer:**



Figura 2.23 El 1987 GM Sunraycer.⁷⁹

Este throwbacks es de 1987 MM Sunraycer, un concept car construido para la competencia del Mundial de Australia de energía solar El Sunraycer posee abordo 8800 de las células solares que generan alrededor de 1500 vatios de potencia, este propulsor llegó a la velocidad de 110 Km. / h.

– **El SEAT Brisa:**

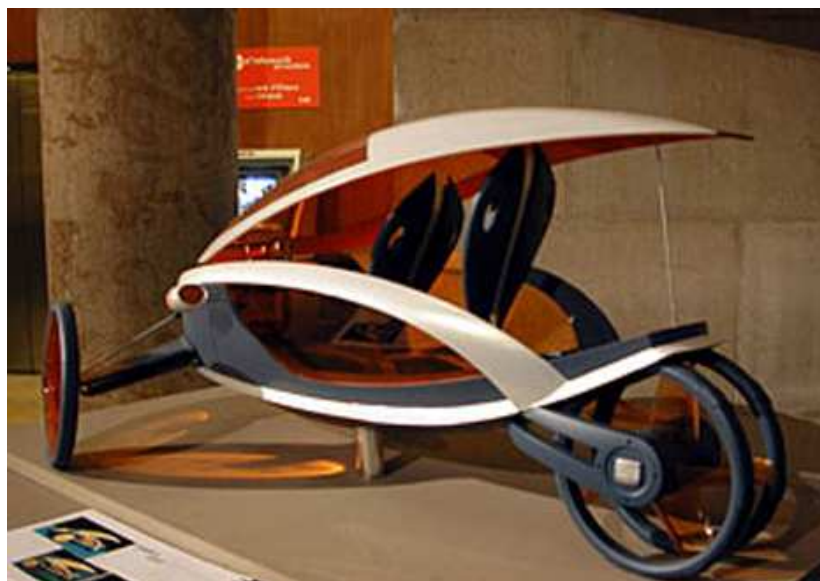


Figura 2.24 El SEAT Brisa.⁸⁰

⁷⁹ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

⁸⁰ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

Si se parece más a una bicicleta de ocio para dos que un automóvil, esta es precisamente la intención de su creador. Como dice CarDailyNews, el SEAT Brisa "no fue diseñado para un viaje sin escalas desde Madrid a Barcelona, sino como una recreación o diversión de vehículo." A diferencia de muchos coches con energía solar que tienen los paneles claramente visible en el techo, en el SEAT Brisa los tiene oculto bajo el cuerpo translúcido.

– **El Six50:**



Figura 2.25 El Six 50.⁸¹

El Six50 (Listo para su lanzamiento en el 2009) anda 100 Km puede con una sola carga de batería, aprovechando su poder desde los paneles solares montados en el techo. Una de las principales ventajas de la Six50 es su precio: aunque actualmente no está en producción, se ha estimado que costará el Six50 por 31.000 euros, muy reducido en comparación con muchos nuevos híbridos.

⁸¹ www.webecoist.com

– **El Lotus Elise Eco:**



Figura 2.26 El Lotus Elise Eco.⁸²

Se lo reveló en el 2008 en la British Motor Show. Este vehículo posee paneles solares para su consumo eléctrico ya que es propulsado por un motor a gas.

– **El Enigma:**



Figura 2.27 El Enigma.⁸³

Esta creación de vehículo con energía solar fue uno de los ganadores en la competencia Royal College of Art's Green Concept Car. Fue diseñado por Paul Howse y se basa en electricidad y energía solar para la propulsión de motores.

⁸² [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

⁸³ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

– La energía solar de Volvo:



Figura 2.28 El energy – powered de Volvo.⁸⁴

Volvo incursiona en la energía solar, pensando en el Rally Dakar del 2015, el vehículo combina la energía solar y las pilas de combustible para apoyar a su motor diesel. Hasta el momento, se podría calificar como el mayor proyecto de vehículos asistidos con energía solar.

– El Eve:



Figura 2.29 El Eve.⁸⁵

⁸⁴ [www. webecoist.com](http://www.webecoist.com)

El Eve utiliza un parabrisas con recubrimiento especial que le permite aprovechar los rayos solares y convertirlos en energía aprovechable en las competencias. El resto de la energía proviene de su cuerpo, hecho de una mezcla de polímeros que utilizan la fricción de la ruedas de inflexión para generar electricidad.

– **El Nuna4**



Figura 2.30 El Nuna4.⁸⁶

El Nuna4 es un coche solar desarrollado por un equipo de once estudiantes de TUDelft (Delft University of technology de holanda) es creado tomando en cuenta al diseño de sus tres antecesores.

El Nuna4 se trata de un coche ecológico accionado por energía solar, la versión 4 de Nuna tiene 6 metros cuadrados de paneles solares, el conductor está sentado casi en posición vertical, tiene volante y el piloto esta protegido por un toldo duro y casco.

El coche ganó el 20mo recientemente. Desafío Solar Mundial (World Solar Challenge in Australia), una carrera de 3.000 kilómetros a través del desierto australiano para coches propulsados mediante el aprovechamiento de la

⁸⁵ www.webecoist.com

⁸⁶ www.cochesecologicos.com

energía solar. El Nuna4 tardó 33 horas y 17 minutos en recorrer el trayecto y otorgó la cuarta victoria en la carrera al equipo holandés Nuon Solar, que ostenta el récord para la competencia en 29 horas y 11 minutos.

Su velocidad de desplazamiento es de 142 Km. / h cerca al record de velocidad logrado por su antecesor en Nuna2 con 170 Km. /h.

Por motivo de comparación con el modelo que se desea diseñar y construir ponemos las especificaciones técnicas del Nuna4 para poderlo comparar con dicho modelo.

Especificaciones técnicas

Tabla 2.2 *Técnica Estadística Técnica del Nuna 4.*⁸⁷

Dimensiones	Longitud: 4,72 m Anchura: 1,68 m Altura: 1,10 m
Peso (excluido el conductor)	202 Kg.
Número de ruedas	3
Número de células solares	2318 células (arseniuro de galio - Triple Unión)
Superficie de las células	6 m ² (nuevas normas de 2007 como máximo)
Eficiencia de las celulas	> 26 %
Velocidad máxima	Al menos 142 km / h
Motor	Motor Eléctrico (Eficacia: 97 - 99%)
Batería	30 Kg. Batería de polímeros de ion - litio
Cuerpo	De fibra de carbono y compuesto
Neumáticos	Michelin radiales de uso solar 16 pulgadas
Resistencia a la rodadura	10 veces menos que un automóvil medio
resistencia del aire	6 veces menos que un automóvil medio

⁸⁷ www.wikipedia.org

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL VEHÍCULO

3.1 Esbozo del diseño del vehículo.

3.1.1 Consideraciones Iniciales.

Para el diseño del vehículo se debe tomar en cuenta que es lo que se requiere y cuales son las necesidades, que en la construcción del vehículo se debe solucionar. Las consideraciones más importantes que se deben tener son las siguientes:

- El diseño de la estructura parte de que se posee un panel solar de 40 Wp., cuyo peso y dimensiones se lo indica en las especificaciones técnicas en la tabla 4.24. Este bastidor debe soportar y transportar a dicho panel, procurando que este tenga el menor peso posible.
- Otra consideración es que la estructura nos brinde facilidades en el montaje de la misma, y que su conformado igualmente requiera de un proceso simplificado.
- Tomando en cuenta que el vehículo será orientado a realizar experimentación, se requiere que la estructura o bastidor nos permita

acceder a cada uno de los dispositivos que se usarán para el funcionamiento como son: el panel de instrumentos, la transmisión, el motor, los ejes delanteros, el sistema fotovoltaico y todo el sistema eléctrico.

- Debido a la pequeña potencia con que se cuenta este vehículo se trasladara en dirección longitudinal, tanto para adelante como para atrás.
- Hay que tener en cuenta que al modelo se lo pretende caracterizar desde el punto de vista de la mecánica automotriz. Para este efecto se seguirán procesos de diseño utilizados en el desarrollo de vehículos convencionales, aunque cabe indicar que en este modelo no se considerarán factores como: aerodinámica, habitáculo del vehículo y sistema de dirección debido a su reducida velocidad, tamaño y fuente de energía.
- Y por último se tomara en cuenta para la realización de este proyecto, la oferta de materiales que existen únicamente en el mercado nacional y que se encuentren dentro del presupuesto del proyecto.

3.1.2 Tipos de estructuras aplicables a vehículos solares.

Los automóviles solares tienen formas muy especiales y no hay normas establecidas de diseño. Se trata de minimizar la resistencia del aire, maximizar la exposición al sol, minimizar el peso y hacer los vehículos lo más seguro posible. En los diseños de chasis el propósito es maximizar la rigidez y la seguridad mientras se mantiene el peso lo más bajo posible. Hay tres tipos de chasis:

- **Estructura espacial:**

Este es la estructura más utilizada ya que permite, la disposición y soporte de los implementos en este tipo de vehículo, además de brindar alta seguridad. El sistema estructural esta basado en la unión articulada de barras o tubos los cuales soportan a la carrocería. Las principales ventajas y desventajas de este tipo de estructura son las siguientes:

a) Ventajas.

I. Relación Calidad/Precio.

Esta estructura brinda firmeza y permite la utilización de varios materiales para su conformado y su montaje es sencillo permitiendo aplicar geometrías complejas y adaptables, lo que brinda una buena calidad a un buen precio.

II. Diseño.

Gracias a la utilización del Diseño Asistido por Ordenador y su integración con el proceso productivo, se puede conseguir prácticamente cualquier tipo de geometría con la estructura espacial.

III. Cálculo Integral.

El cálculo de la estructura se lleva a cabo siguiendo las indicaciones de carga, dando lugar al dimensionamiento de las barras, de los tornillos, remaches o tipo de unión. Pudiéndose hacer un cálculo integrado del conjunto estructural, adquiriéndose un conocimiento más fiable y real de su comportamiento.

IV. Montaje.

En el montaje de la estructura espacial permite cualquier medio de unión y debido a que cada elemento que compone a la estructura tiene su posición se ensambla como un mecano. Todo esto hace que el montaje sea rápido y fiable.

V. Accesibilidad.

Ya que esta es una estructura que se la fabrica por secciones, permite colocar los elementos de tal forma que permita acceder a los dispositivos que se instalen sin afectar a la rigidez del bastidor. Y así si se necesita acceder a dichos dispositivos su desmontaje brinde facilidad y no obligue a desmontar otros elementos.

b) Desventajas.

I. Peso.

Si no se toma en cuenta cual material se utilizará en el diseño y si el diseño es mal realizado y sobredimensionado la estructura puede tener un peso excesivo lo que afecta al desempeño de un sistema fotovoltaico para movimiento. Pero si lo dicho anteriormente es adecuado puede tener menos peso que otro tipo de chasis y gran rigidez.

– Semi - monocasco.

El chasis semi monocasco usa las vigas y cabeceras para soportar el peso y está integrado en la parte inferior, con las secciones superiores a menudo unidas a la carrocería.

a) Ventajas.

I. Peso.

Ya que se utiliza menos partes rígidas y aquí la carrocería soporta varios de los dispositivos utilizados, se utiliza menos material, lo que beneficia al peso del vehículo.

II. Diseño.

Los materiales que se podrían utilizar para este tipo de bastidor, permiten dar formas que se adaptarían a la geometría que se requiere. Y presenta una estructura con una buena rigidez debido a su soporte como vigas y cabeceras

b) Desventajas.

I. Relación Calidad/Precio.

Se puede obtener una excelente rigidez y un bajo peso, mezclando materiales en la construcción, pero esto decae en el aumento del precio, ya que materiales polímeros con buena resistencia y bajo peso, no se encuentran en el mercado y su valor es elevado.

II. Montaje.

Para el conformado de este bastidor se debe tener muy en cuenta el tipo de uniones, ya que para el soporte de la carrocería se debe tener cuidado de cómo se va a unir al resto de elementos.

III. Cálculo Integral.

Hay que tener bastante cuidado en el cálculo de las cargas que se aplica a este tipo de bastidor ya que, como posee menos elementos de sujeción, la carrocería está expuesta a mayores esfuerzos.

– Monocasco.

La estructura monocasco usa la carrocería como una estructura que soporta la carga. En este tipo no existe un chasis formado por largueros y travesaños, sino la misma carrocería reforzada hace de estructura principal, a la cual se le anexan los componentes de suspensión, transmisión y motorización.

a) Ventajas.

I. Peso.

En los vehículos modernos de serie es la opción más adecuada por su bajo peso y disminución de elementos de soporte. Y los materiales que se usan presentan grandes ventajas.

II. Montaje.

El montaje brinda muchas facilidades, ya que solo se adjuntan los elementos a la carrocería y para su conformado existen procesos que realizan personas especializadas con gran facilidad.

b) Desventajas.

I. Relación Calidad/Precio.

Para que este tipo de bastidor presente una buena rigidez se lo debe reforzar, utilizando materiales de alta resistencia pero de bajo peso, lo que aumenta su precio considerablemente y a pesar de ello no se obtiene una rigidez que de una alta seguridad como en una estructura espacial. También su conformado lleva un alto costo ya que como se indico existen lugares especializados que mantienen valores altos a comparación de otros procesos.

II. Diseño.

Su diseño puede tener muchas variantes pero limitado en su geometría o en el caso de que se utilice geometrías complejas hay que tomar en cuenta si se puede conformar y si el material usado soportara las solicitudes del vehículo, que en estos casos son experimentales

III. Cálculo Integral.

Su cálculo es bastante elaborado ya que se debe tener muy en cuenta, la distribución de las cargas provocadas por los elementos que componen al vehículo y aplicar el material más adecuado tomando en cuenta no perder la rigidez del sistema.

IV. Accesibilidad.

Debido a que es una estructura pequeña, la accesibilidad que brinda dicha carrocería es bastante limitada ya que para un vehículo solar donde se requiere evaluar y experimentar con cada uno de los elementos que lo componen, no da la facilidad de acceder, ya que se requeriría desmontar la carrocería para realizar dichas acciones.

3.1.3 Carrocería a utilizarse en el modelo de vehículo solar.

Las opciones más favorables para el diseño es la estructura espacial y la semi – monocasco ya que ofrecen una buena rigidez, se pueden aplicar varios materiales, en el cálculo se puede distribuir mejor las cargas de los elementos y dan una mejor accesibilidad a los elementos, en cambio en un monocasco, no se puede obtener las ventajas mencionadas. Esos diseños se simularon en un software CAD para establecer la mejor opción, aplicar el material, analizar los comportamientos a las cargas y si existe la posibilidad de fabricarlo.

– Semi - monocasco.

La estructura semi – monocasco se indica en la figura 3.1. a y b, en el diseño de esta se simuló una carrocería envolvente en un material que se pueda conformar y de bajo peso, como prueba se utilizó: fibra de vidrio tipo: A, C, E y S; además de fibra de carbono: Zoltec Panex 33, Hexcel AS4C (3000 filamentos), Thornel Matt VMA y Thornel VCB – 20 carbon cloth. En la parte superior de la carrocería se encuentra el panel solar, esta carrocería va

sujetada a una sección inferior de travesaños en un material rígido de bajo peso (como prueba se utilizó aluminio), en el cual se sujetarán también los dispositivos como: motor, ejes, transmisión, batería, etc.

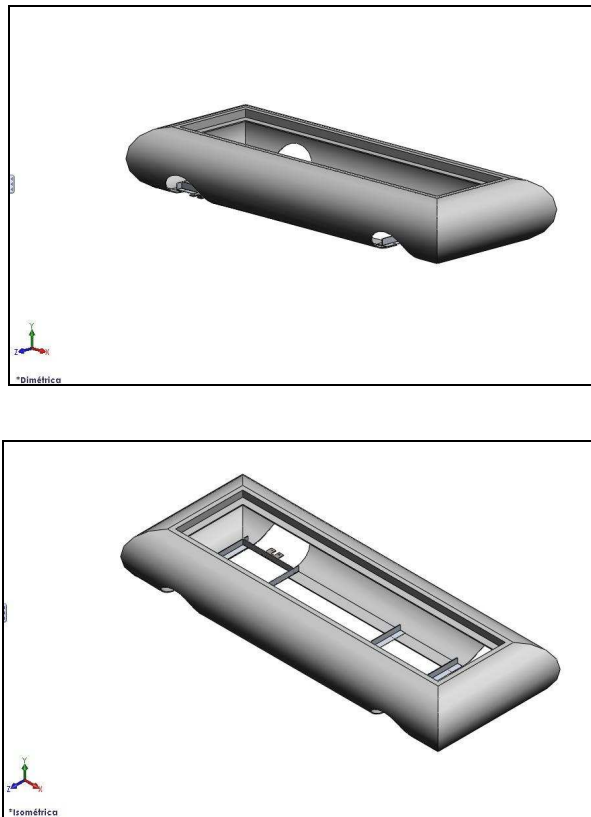


Figura 3.1 a) Vista dimétrica del bastidor semi – monocasco, b) Vista isométrica del bastidor semi - monocasco

En la simulación se obtuvo que los pesos del bastidor con cada uno de los materiales, tomando en cuenta los espesores mínimos a los que puede fabricarse, son los siguientes:

Tabla 3.1 Pesos del bastidor.

Material	Tipo	Espesor (mm)	Peso (Kg)
Fibra de vidrio	Tipo A	3	12,81
Fibra de vidrio	Tipo C	3	13,23
Fibra de vidrio	Tipo E	3	14,54
Fibra de vidrio	Tipo S	3	13,02
Fibra de carbono	Zoltec Panex 33	2	6.85
Fibra de carbono	Hexcel AS4C (3000 filamentos)	2	6.74
Fibra de carbono	Thornel Matt VMA	2	7.57
Fibra de carbono	Thornel VCB – 20 carbon cloth.	2	7.11

– **Estructura espacial.**

La estructura espacial se indica en la figura 3.2. a y b, en el diseño de esta se simulo una carrocería en la cual se realizan compartimentos para cada uno de los elementos. Este bastidor consta de tres secciones, en la cual la primera es la inferior que es la que soportara a los ejes, transmisión, batería, sistema eléctrico y de control, además de la sección superior y la de unión,; la sección superior soporta al panel y al panel de instrumentos. En la simulación se utilizará un material rígido de bajo peso como es el aluminio 6063 - T52 para perfilería, otro material como acero nos dará un peso superior y con madera sería un conformado más rustico y una estructura de menos rigidez.

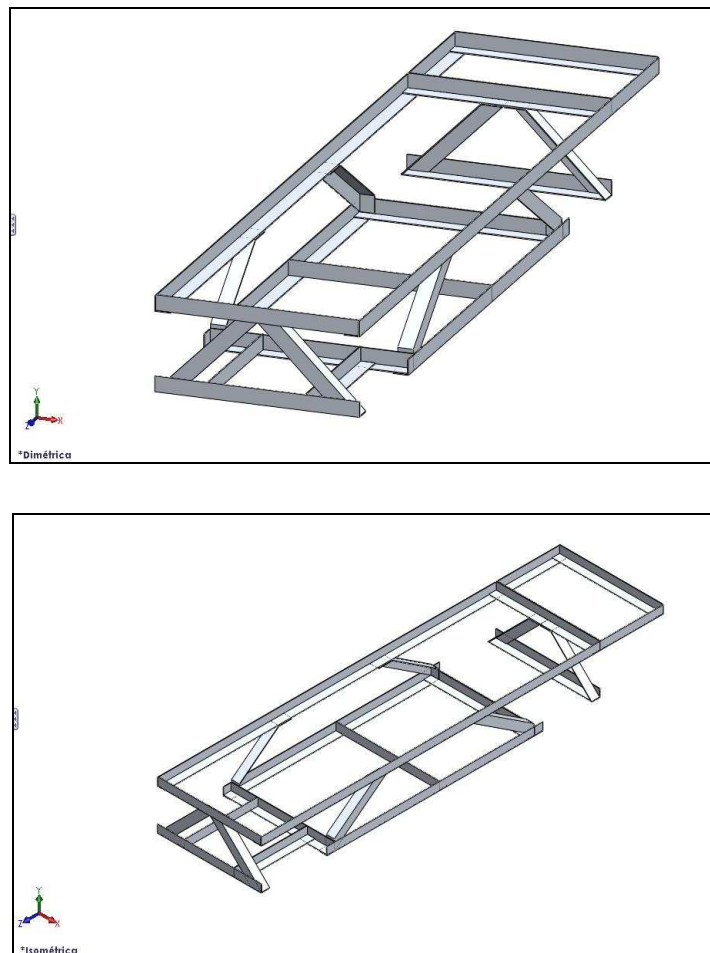


Figura 3.2. a) Vista dimetrica del bastidor en estructura espacial, b) Vista isométrica del bastidor en estructura espacial

En la simulación se obtuvo que el peso del bastidor en aluminio es de 2 Kg., lo que es mucho menor a la estructura semi – monocasco debido a que se requiere poco material por el tamaño reducido del vehículo.

Entonces, tomando en cuenta todos los criterios mencionados anteriormente se utilizará una estructura espacial, debido a que presenta las mejores ventajas para los requerimientos que se tienen. La estructura nos brindara la rigidez necesaria para soportar los dispositivos que se usaran, su conformado y montaje será menos elaborado, lo que disminuirá el costo final del vehículo. Y por la disposición y geometría que permite diseñar este bastidor, se minimizara el uso de espacio, ya que solo soportara un panel y el resto de elementos se distribuirán adecuadamente alrededor de dicho panel y esto nos ayudaría mucho en las fases de experimentación. Hay que tomar mucho en cuenta los materiales a utilizarse para minimizar el peso, costo y si dichos materiales se encuentran en el mercado local. Por esa razón se utilizara el aluminio 6063 - T52 para perfilería el cual tiene un bajo costo y se encuentra en el mercado.

– **Tipos de unión.**

Para armar la estructura se debe tomar en cuenta como se va a fijar los elementos que la constituyen se analizaran varias opciones para escoger la mejor. Las juntas que se van a unir es aluminio de 1.6mm de espesor. Las opciones se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 *Tipos de unión.*

Tipo de Unión	Descripción	Resist. Tracción N/mm²	Resist. Cizalla N/mm²	Ventajas y desventajas	Obs
Soldadura en Aluminio	Soldadura en Tig para aluminio	176	90 - 140	Ventajas Fijación estable Desventajas Difícil de soldar, alto costo. Disminuye propiedades del material base	Es recomendado para espesores superiores a 3 mm.

Tabla 3.2 *Continuación...*

Tipo de Unión	Descripción	Resist. Tracción N/mm ²	Resist. Cizalla N/mm ²	Ventajas y desventajas	Obs
Remache	Remaches de cuerpo de aluminio y vástago de acero	150	120	<p>Ventajas Fácil fijación, bajo costo, excelente unión. Rápida colocación</p> <p>Desventajas En las placas actúa como concentrador de esfuerzos</p>	Para la dimensión de los remaches se debe tomar en cuenta lo siguiente: El diámetro de remaches es igual al espesor de la mayor junta por 3, esto es: $\phi = 1.6 \times 3$ $\phi = 4.8\text{mm}$ $\phi = 0.188''$ $\phi = 3/16\text{aprox}$
Pegamento SikaBond AT-Metal Gris Claro	Adhesivo especial para pegado elástico de metales, láminas de metal, sellados de juntas, tiene muy buena adhesión sobre soportes no porosos, especialmente sobre metales	1.6	1.15	<p>Ventajas Elevada adherencia, excelente trabajabilidad, no corrosivo, buena resistencia a la intemperie y al agua.</p> <p>Desventajas No da una unión rígida, alto costo, baja resistencia</p>	

Analizando la tabla anterior, concluimos que la mejor solución para la sujeción de los elementos de la estructura son los remaches ya que ofrecen buena resistencia y una rápida sujeción. En la estructura el concentrador de esfuerzos que actúa por causa de la inclusión de remaches se desprecia ya que los elementos no van a estar expuestos a grandes esfuerzos.

Conocido el diámetro del remache, ha de seleccionarse su longitud, la cual es la suma de cada espesor de chapas más una vez y media del diámetro del remache. Entonces se tiene:

Longitud = $1.6 + 1.6 + 1.5 (4.8) = 10.4 \text{ mm.} = 3/8 \text{ "aprox.}$

El espacio entre remaches para su colocación es de la siguiente manera:

I. Desde el borde – (centro del agujero al borde).

- El mínimo ha de ser 2 veces el diámetro del remache.
- El máximo ha de ser de 4 veces el diámetro del remache.

II. Entre remache (de centro a centro de agujero).

- El mínimo ha de ser 3 veces el diámetro del remache
- El máximo ha de ser de 24 veces el espesor de la chapa más utilizada.

3.2 Diseño Estructural.

3.2.1 Diseñó estructural en CAD (diseño asistido por computadora).

El diseño en este proyecto es de un chasis de estructura espacial, lo cual lo realizamos en el programa de CAD SolidWorks 2008, que nos permite tener un diseño bastante adecuado y una idea muy clara de cómo reaccionará la estructura a las cargas a la que esta expuesta y si esta soportará dichas cargas.

La estructura ya ensamblada (bastidor) se ve en la figura 3.3 y a esta es la que se le realizará un análisis utilizando el programa CosmosWorks que es una utilidad del SolidWorks.

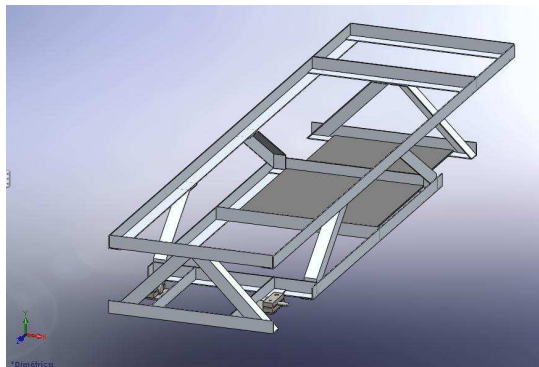


Figura 3.3 Ensamble del bastidor del vehículo.

Todas las dimensiones y ensambles de todos los elementos que constituyen la estructura (bastidor) del vehiculo solar se encuentran en el Anexo B, del plano 1 al plano al plano 11 incluyendo los planos del 17 al 20 correspondientes a la base de rueda delantera.

El programa CosmosWorks realiza el análisis mediante el método de elementos finitos (MEF). El análisis de las tensiones del bastidor del vehiculo es el siguiente:

– **Propiedades del estudio.**

Tabla 3.3 *Propiedades del estudio.*

Nombre de estudio	Diseño estructural
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Tipo de solver	Solver tipo FFEPlus
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin

– **Unidades..**

Tabla 3.4 *Unidades*

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	m
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

– **Propiedades físicas de los elementos (Ver figura 3.4)**

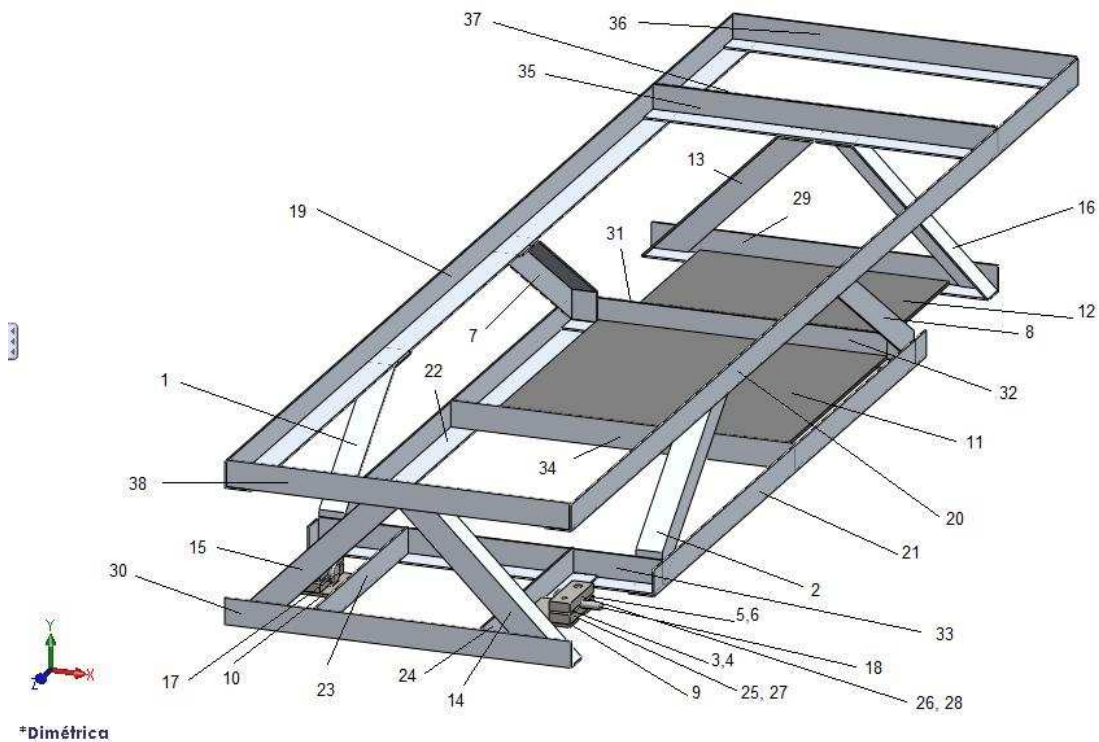


Figura 3.4 Numeración y posición de los elementos de la estructura espacial.

Tabla 3.5 Propiedades físicas de los elementos.

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	A derecha-2	[SW]6063 T52	0.0442962 kg	1.6406e-005 m ³
2	A izquierda-2	[SW]6063 T52	0.0442962 kg	1.6406e-005 m ³
3	Alza(5)-1	AISI 1020	0.0023464 kg	2.97013e-007 m ³
4	Alza(5)-2	AISI 1020	0.0023464 kg	2.97013e-007 m ³
5	Alza(8)-2	AISI 1020	0.00186244 kg	2.35752e-007 m ³
6	Alza(8)-3	AISI 1020	0.00186244 kg	2.35752e-007 m ³
7	B derecha-2	[SW]6063 T52	0.0486478 kg	1.80177e-005 m ³
8	B izquierda-2	[SW]6063 T52	0.0486478 kg	1.80177e-005 m ³
9	Base ruedas delanteras-1	[SW]AISI 1020	0.0603426 kg	7.6383e-006 m ³
10	Base ruedas delanteras-2	[SW]AISI 1020	0.0603426 kg	7.6383e-006 m ³
11	Base sin batería-1	[SW]PP Copolymer	0.225647 kg	0.000253536 m ³

Tabla 3.5 *Continuación...*

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
12	Base sin motor-2	Copolymer	0.13162 kg	0.000147888 m ³
13	C tipo 1-3	[SW]6063 T52	0.0426055 kg	1.57798e-005 m ³
14	C tipo 1-4	[SW]6063 T52	0.0426055 kg	1.57798e-005 m ³
15	C tipo 2-4	[SW]6063 T52	0.0426055 kg	1.57798e-005 m ³
16	C tipo 2-5	[SW]6063 T52	0.0426055 kg	1.57798e-005 m ³
17	Eje rueda-1	AISI 1020 Steel, Cold Rolled	0.0235365 kg	2.99066e-006 m ³
18	Eje rueda-2	AISI 1020 Steel, Cold Rolled	0.0235365 kg	2.99066e-006 m ³
19	Larguero 1-2	[SW]6063 T52	0.274182 kg	0.000101549 m ³
20	Larguero 1-3	[SW]6063 T52	0.274182 kg	0.000101549 m ³
21	Larguero 2-5	[SW]6063 T52	0.147293 kg	5.4553e-005 m ³
22	Larguero 2-6	[SW]6063 T52	0.147293 kg	5.4553e-005 m ³
23	Larguero 3-3	[SW]6063 T52	0.0494802 kg	1.8326e-005 m ³
24	Larguero 3-4	[SW]6063 T52	0.0494802 kg	1.8326e-005 m ³
25	Mordaza rueda delantera-1	[SW]AISI 1020	0.0784006 kg	9.92412e-006 m ³
26	Mordaza rueda delantera-2	[SW]AISI 1020	0.0784006 kg	9.92412e-006 m ³
27	Mordaza rueda delantera-3	[SW]AISI 1020	0.0784006 kg	9.92412e-006 m ³
28	Mordaza rueda delantera-4	[SW]AISI 1020	0.0784006 kg	9.92412e-006 m ³
29	Travesaño externo-3	[SW]6063 T52	0.0708197 kg	2.62295e-005 m ³
30	Travesaño externo-4	[SW]6063 T52	0.0708197 kg	2.62295e-005 m ³
31	Travesaño-10	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
32	Travesaño-11	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
33	Travesaño-12	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
34	Travesaño-13	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
35	Travesaño-14	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
36	Travesaño-15	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
37	Travesaño-16	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³
38	Travesaño-17	[SW]6063 T52	0.0701395 kg	2.59776e-005 m ³

– **Propiedades de los materiales.**

Tabla 3.6 *Aluminio 6063 T52.*

Nombre de material:		[SW]6063 T52	
Tipo de modelo del material:		Isotrópico elástico lineal	
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	6.95e+010	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.345	NA	Constante
Módulo cortante	2.6e+010	N/m ²	Constante
Densidad	2700	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	2.15e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	1.75e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	2.3e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	237	W/(m.K)	Constante
Calor específico	900	J/(kg.K)	Constante

Tabla 3.7 *Acero AISI 1020.*

Nombre de material:		AISI 1020	
Tipo de modelo del material:		Isotrópico elástico lineal	
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

Tabla 3.8. *Plástico PP Copolimero.*

Nombre de material:		[SW]PP Copolymer	
Tipo de modelo del material:		Isotrópico elástico lineal	
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	8.96e+008	N/m ²	Constante
Coeficiente de Poisson	0.4103	NA	Constante
Módulo cortante	3.158e+008	N/m ²	Constante
Densidad	890	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	2.76e+007	N/m ²	Constante
Conductividad térmica	0.147	W/(m.K)	Constante
Calor específico	1881	J/(kg.K)	Constante

Tabla 3.9. *Acero AISI 1020 laminado en frío.*

Nombre de material:		AISI 1020 Steel, Cold Rolled	
Tipo de modelo del material:		Isotrópico elástico lineal	
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2.05e+011	N/m ²	Constante
Coeficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	8e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7870	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5e+008	N/m ²	Constante
Coeficiente de dilatación térmica	1.17e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	51.9	W/(m.K)	Constante
Calor específico	486	J/(kg.K)	Constante

– **Restricciones y Cargas aplicadas.**

Tabla 3.10 *Cargas en la estructura.*

Nombre de carga	Lugar de Carga	Tipo de carga	Descripción
Gravedad	Gravedad normal con respecto al plano horizontal	Carga secuencial	con una aceleración de la gravedad de 9.81 m/s ²
Cargas distribuida 1	Travesaño-14, Travesaño-17	Carga secuencial	Fuerza de -4.8 Kgf. a lo largo de la dirección Y
Cargas distribuida 2	Travesaño-15, Travesaño-16	Carga secuencial	Fuerza de – 1 Kgf. A lo largo de la dirección Y
Cargas distribuida 3	remotas-3, Base sin motor-2	Carga secuencial	Fuerza de – 1 Kgf. A lo largo de la dirección Y
Cargas distribuida 4	remotas-4, Base sin batería- 1	Carga secuencial	Fuerza de – 1.4 Kgf. A lo largo de la dirección Y

Tabla 3.11 *Restricciones en la estructura.*

Nombre de restricción	Lugar de restricción	Descripción
Restricción-1	Eje rueda-2.	Unión Rígida
Restricción-2	Base sin motor-2.	Unión Rígida
Restricción-3	Eje rueda-1	Unión Rígida

– **Información de malla.**

El análisis de malla se realiza por una verificación jacobiana. Esta se basa en una cantidad de puntos ubicados dentro de cada elemento. El software brinda la posibilidad de basar la verificación jacobiana en cuatro, dieciséis o veintinueve puntos gaussianos o en los nodos. Se utiliza la verificación jacobiana en los nodos para el análisis estático de la estructura.

La calidad de la malla establece que el tamaño de los elementos finitos de dicha malla sean lo más pequeños y así obtener un análisis mucho más exacto.

Tabla 3.12 Información de malla.

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Estándar
Verificación jacobiana:	En los nodos
Tamaño de elementos:	5.3212 mm.
Tolerancia:	0.26606 mm.
Calidad:	Alta
Número de elementos:	136311
Número de nodos:	270035

– **Fuerzas de reacción.**

Tabla 3.13 Fuerzas de reacción.

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-0.0215549	108.219	-0.0156455	108.219

– **Fuerzas de cuerpo libre.**

Tabla 3.14 Fuerzas de cuerpo libre.

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-3.81593e-005	-0.000787649	-0.000975546	0.00125441

– **Momentos de cuerpo libre.**

Tabla 3.15 *Momentos de cuerpo libre.*

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

Resultados del estudio

– **Resultados predeterminados.**

En CosmosWorks se utiliza criterios basados en teorías de diseño como herramienta para los análisis. El software aconseja que para materiales dúctiles se utilice los siguientes criterios de falla:

- Criterio de falla por tensión de Von Mises.-

El criterio de máxima tensión de von Mises se basa en la teoría de von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima.

En términos de las tensiones principales σ_1 , σ_2 y σ_3 , la tensión de von Mises se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{(1/2)} \quad (3.1)$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión. Sin embargo, el software le permite utilizar el límite de tensión de tracción/ruptura o establecer su propio límite de tensión.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}} \quad (3.2)$$

El límite elástico es una propiedad dependiente de la temperatura. Este valor especificado del límite elástico debe considerar la temperatura del componente. El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de:

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = \sigma_{\text{limit}} / \sigma_{\text{vonMises}} \quad (3.3)$$

En el caso de una cortadura t , la tensión de von Mises puede expresarse de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = (3)^{1/2} \tau \quad (3.4)$$

El fallo se produce si:

$$\tau_{\text{max}} = 0.577 \sigma_{\text{yield}} \quad (3.5)$$

- Criterio de cortante máximo por desplazamientos resultantes.-

El criterio de tensión de cortadura máxima, también conocido como criterio de flexibilidad de Tresca, se basa en la teoría de tensión de cortadura máxima.

Esta teoría predice que el fallo de un material se producirá cuando la tensión de cortadura máxima absoluta (t_{max}) alcance la tensión que provoca que el material ceda en una prueba de tensión simple. El criterio de tensión de cortadura máxima se utiliza para materiales dúctiles.

$$\tau_{\text{max}} \geq \sigma_{\text{limit}} / 2 \quad (3.6)$$

$$\tau_{\text{max}} \text{ es el mayor de } \tau_{12}, \tau_{23} \text{ y } \tau_{13} \quad (3.7)$$

Donde:

$$\tau_{12} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2; \tau_{23} = (\sigma_2 - \sigma_3)/2; \tau_{13} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 \quad (3.8)$$

Por lo tanto:

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = \sigma_{\text{limit}} / (2 \tau_{\text{max}}) \quad (3.9)$$

Comparando los criterios de tensiones de von Mises y Tresca. El criterio de tensión de cortadura máxima es más conservador que el criterio de tensión de von Mises, puesto que el hexágono que representa el criterio de tensión de cortadura se incluye dentro de la elipse que representa el criterio de tensión de von Mises. Para una condición de cortadura, el criterio de tensión de von Mises predice el fallo en (0.577*límite elástico) mientras que el criterio de tensión de cortadura lo predice en un límite elástico de 0.5. Las pruebas de torsión reales utilizadas para desarrollar la cortadura han demostrado que el criterio de tensión de von Mises brinda resultados más precisos que la teoría de tensión de cortadura máxima. Y por último el software calcula también las deformaciones unitarias. Los datos obtenidos observamos en la siguiente tabla.

Tabla 3.16 Resultados predeterminados.

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	Tensión de von Mises	0.218603 N/m ² Nodo: 209243	(-505.924 mm, 578.646 mm, -1231.69 mm)	3.15781e+007 N/m ² Nodo: 135438	(-347.257 mm, 734.276 mm, -892.726 mm)
Desplazamientos1	Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 61076	(-633.857 mm, 580.246 mm, -1063.73 mm)	0.00292533 m Nodo: 252472	(-601.679 mm, 735.876 mm, -1450.13 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.6839e-011 Elemento: 102998	(-474.487 mm, 578.869 mm, -1228.85 mm)	0.000469739 Elemento: 23336	(-643.601 mm, 582.496 mm, -757.028 mm)

– **Factores de seguridad del diseño.**

El factor de diseño se calcula en base a una comparación entre el valor máximo de esfuerzo en la totalidad de los elementos que conforman la malla y el valor de esfuerzo de fluencia del material evaluado.

Tabla 3.17 Factores de seguridad del diseño.

Criterio	Máximo esfuerzo obtenido	Factor de seguridad
Von Mises	31.58 Mpa.	5.542
Cortante Máxima	18.18 Mpa.	4.812

En la grafica 3.5 a y b se observa un diagrama de la distribución del factor de seguridad para cada uno de los criterios utilizados

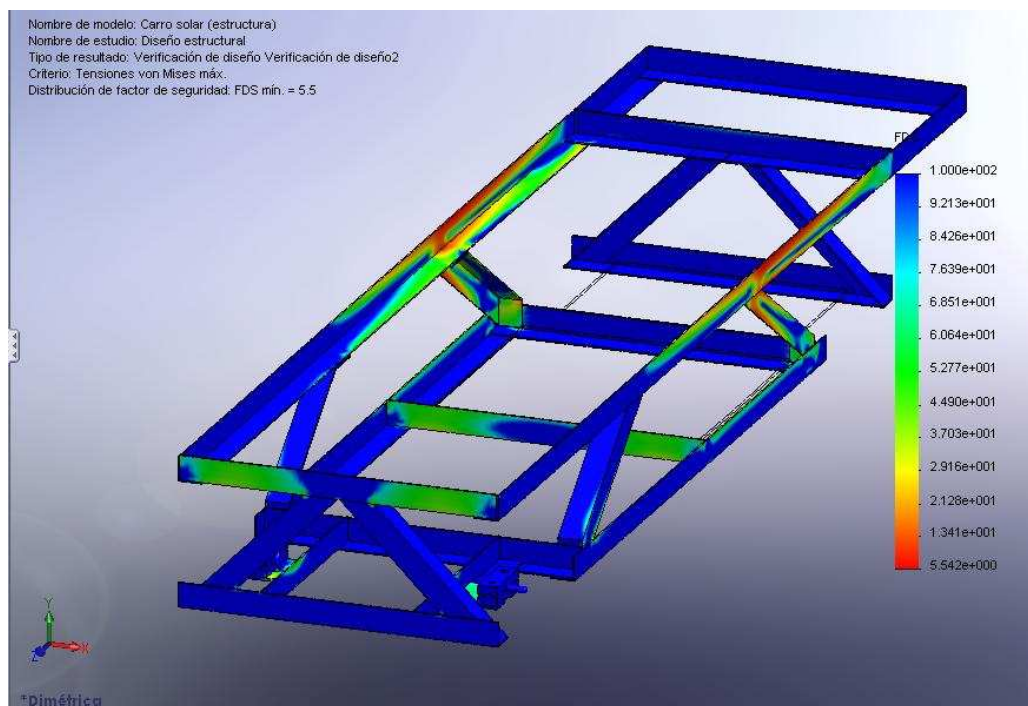


Figura 3.5 a) Distribución de factor de seguridad según criterio de Von Mises en la estructura espacial.

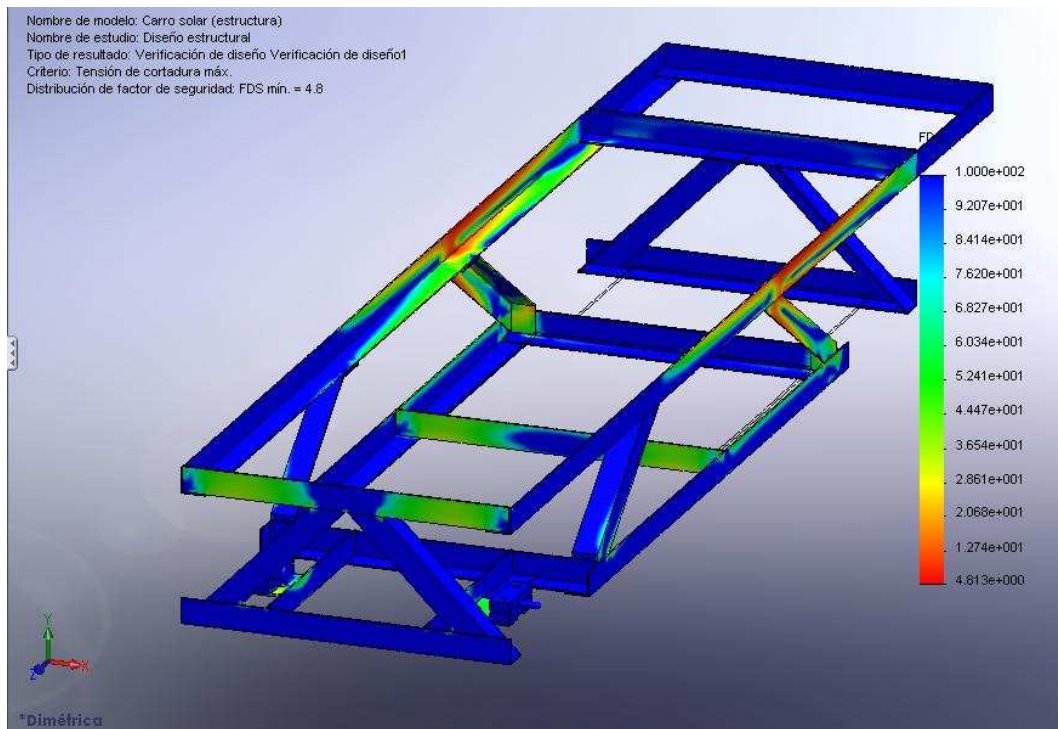


Figura 3.5 b) Distribución de factor de seguridad según criterio del esfuerzo cortante máximo en la estructura espacial.

El CosmosWorks generó gráficos en los cuales se puede observar el comportamiento de la estructura. A continuación se muestran las graficas de:

– **Tensiones estáticas.**

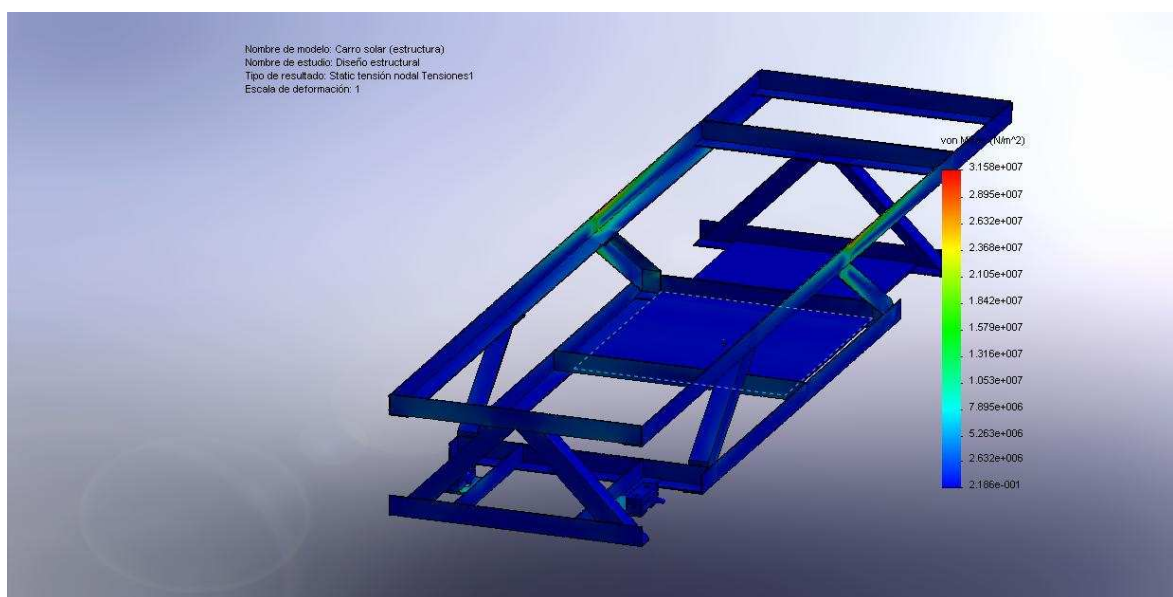


Figura 3.6 Tensiones estáticas en la estructura.

– **Desplazamientos.**

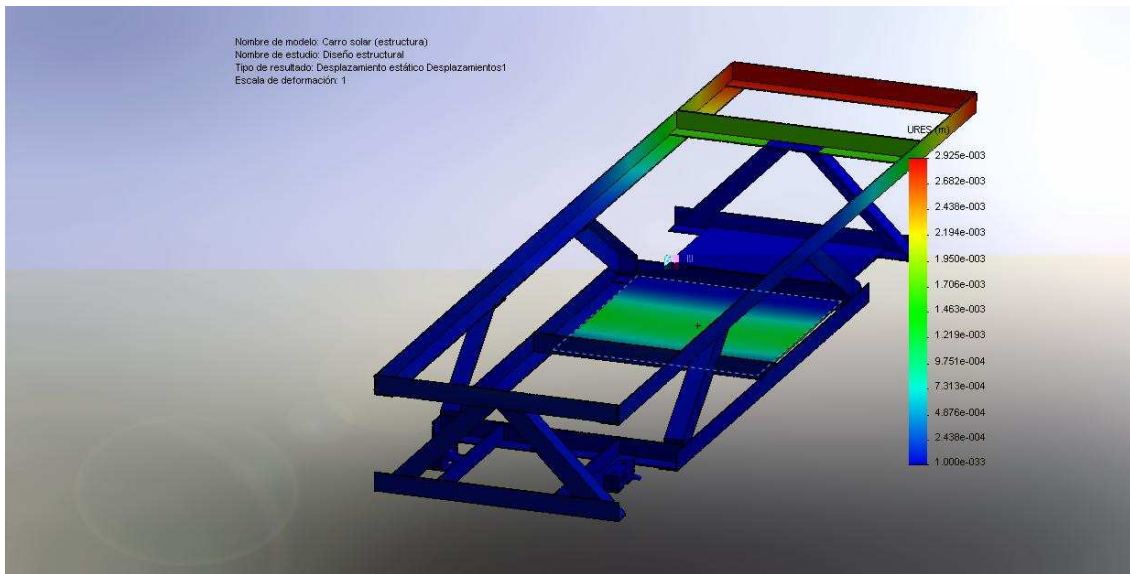


Figura 3.7 Desplazamientos de la estructura.

– **Deformación unitaria.**

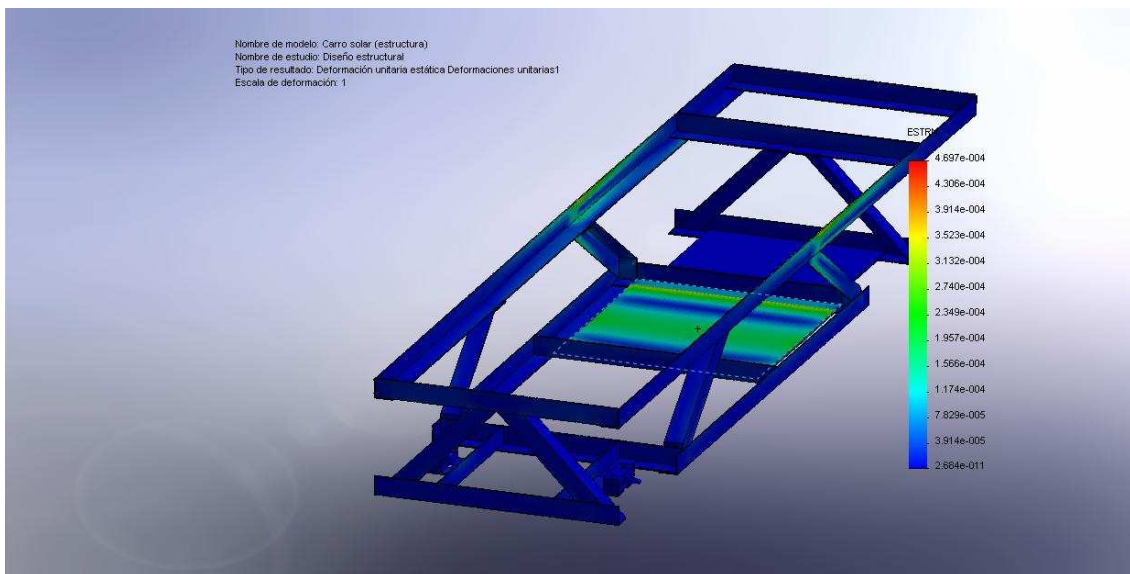


Figura 3.8 Deformaciones unitarias en la estructura.

3.3 Diseño Mecánico.

En el diseño mecánico hay que tener presente como el vehículo va a funcionar y que consideraciones hay que aplicar para que este tenga un correcto

funcionamiento como vehículo, se pueda mover y su consumo vaya acorde a la potencia generada por el panel fotovoltaico.

Par el diseño mecánico se tomaran en cuenta cuatro elementos principales como son: Las consideraciones iniciales para el diseño, el reductor de velocidad (transmisión), las prestaciones del vehículo como son: la relación de transmisión, capacidad de arranque y ascenso a pendiente, radio de curvatura además de las ruedas a utilizarse y por último el eje delantero. Los análisis realizados son los siguientes:

3.3.1 Consideraciones iniciales en el diseño mecánico.

Para el diseño hay que tomar en cuenta que si con la potencia que se obtiene del panel fotovoltaico que es de 40 Wp. la cual es muy limitada., se necesita un motor y un sistema de transmisión de movimiento, los cuales nos permita mover el peso de la estructura aumentado los pesos de todos los elementos que constituyen al vehículo como son los sistemas de propulsión, fotovoltaico, eléctrico, de mando y control, accesorios, etc., a una velocidad que se establecerá como adecuada. El análisis para obtener que tipo de motor eléctrico requerido es el siguiente:

- **Peso total del vehículo:**

Tabla 3.18 *Peso total del vehículo.*

Elemento	Peso [Kg]
Panel solar	4.8
Estructura	2
Batería	1.4
Sistema de propulsión	1
Instrumentos	1
Ruedas	0.85
Extras	0.65
Peso total del vehículo (PBV)	12.5

El peso de los extras se refiere al peso de: tarjetas electrónicas, cables, cinta aislante, pegamentos, antena, bornera, remaches y tornillos.

– **Fuerza debido al peso sobre el piso:**

$$F_N = PBV \cdot g \quad (3.10)$$

Donde:

F_N = fuerza debido al peso sobre el piso [N].

PBV = Peso bruto vehicular [Kg.].

g = gravedad [m/s^2].

Entonces:

$$F_N = 12.5 (9.8) = 122.5 \text{ N.}$$

– **Fuerza de rozamiento debida al contacto de la rueda con el piso:**

$$F_K = \rho \cdot F_N \quad (3.11)$$

Donde:

F_K = fuerza de rozamiento [N].

ρ = coeficiente de rodadura

El coeficiente de rodadura se encuentra en el rango de [0.008-0.02], y para efectos de cálculo se ha seleccionado el valor de 0.018, ya que es el valor recomendado por la bibliografía consultada⁸⁸.

Para realizar el cálculo teórico de la resistencia a la rodadura se debería analizar el peso dinámico del vehículo, incluyendo factores como: la

⁸⁸ Obtenido de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina-Facultad Regional de Diseño Vehicular General Pacheco. www.vehicledesign.frgp.utn.edu.ar y tambien Manual de la Técnica del Automovil de Robert Bosch y Karl – Heinz Dietsche. Pág 419.

transferencia dinámica de pesos en los ejes, la posible carga producida por el arrastre de un remolque o a la componente vertical de la resistencia generada por la acción del viento. No obstante, dicha variación de la magnitud del peso dinámico del vehículo simplemente complica los cálculos sin representar una mejora significativa en la precisión, por lo que en la mayoría de los casos no se justifica considerarlos, siendo suficiente utilizar el peso estático para obtener resultados de gran precisión en cuanto a la resistencia a la rodadura⁸⁹.

Entonces:

$$F_K = 0.018 (122.5) = 2.205 \text{ N.}$$

- **Fuerza con fricción con el aire:**

$$F_a = \frac{\delta}{2} C_x A V^2 \quad (3.12)$$

Donde:

F_a = fuerza por la fricción con el aire [N].

δ = peso específico del aire [Kg/m^3].

C_x = coeficiente aerodinámico medido en túnel de viento [adimensional].

A = área frontal del vehículo [m^2].

V = velocidad total del aire al interceptar al vehículo [m/s].

Debido a que la velocidad del vehículo es muy reducida, el cálculo de la resistencia debido al rozamiento con el aire no será considerado, aunque este es un análisis fundamental en el caso de vehículos de mayor tamaño o en vehículos que alcancen mayores velocidades.

⁸⁹ Tratado sobre automóviles, Tomo IV, "La dinámica del vehículo": José Font Mezquita, Juan Fco. Dols Ruiz; Universidad Politécnica de Valencia; pág. 135.

- **Resistencia al avance (considerando un terreno plano):**

$$R_{\text{mov}} = F_K + F_a \quad (3.13)$$

Por tanto:

$$R_{\text{mov}} = 2.205 + 0 = 2.205 \text{ N.}$$

En este cálculo no se consideran ni la resistencia ejercida por el avance sobre una pendiente ni la resistencia generada por una aceleración debido a que se trata de un análisis estimativo del cual se busca obtener la potencia mínima requerida del motor para que el vehículo se desplace a velocidad constante.

- **Potencia mínima requerida del motor:**

$$P_{\text{rueda}} = \frac{R_{\text{mov}} V}{3.6} \quad (3.14)$$

$$\eta_{\text{engranes}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (3.15)$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{rueda}}}{\eta_{\text{engranes}}} \quad (3.16)$$

Donde:

P_{rueda} = potencia requerida por la rueda para producir el movimiento [W].

V = velocidad del vehículo [Km/h].

η_{engranes} = eficiencia total del reductor de velocidades [adimensional].

η_1 = eficiencia del primer escalón del reductor [adimensional]. Tiene un valor de 0.985, al tratarse de engranes rectos⁹⁰.

η_2 = eficiencia del segundo escalón del reductor [adimensional]. Valor de 0.985.

⁹⁰ Diseño en Ingeniería Mecánica: Joseph Shigley, Charles Mischke; Sexta edición; pág. 884.

η_3 = eficiencia del tercer escalón del reductor [adimensional]. Valor de 0.985.

P_{motor} = potencia que se requiere del motor [W].

$$P_{\text{rueda}} = \frac{2.205 \cdot 10}{3.6} = 6.125 \text{ W .}$$

$$\eta_{\text{engranes}} = 0.99 \cdot 0.99 \cdot 0.99 = 0.95$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{6.125}{0.95} = 6.45 \text{ W .}$$

De acuerdo a los cálculos necesitamos un motor de 6.45 Watts, pero en el mercado nacional se encontró un motor de 8 Watts de consumo. Las especificaciones técnicas del motor se lo puede ver en la tabla 4.29 del siguiente capítulo.

3.3.2 Reductor de Velocidad (Transmisión).

Este elemento del vehículo solar fue adquirido, por esa razón lo que se hará es una comprobación del diseño y así también obtener la relación de transmisión y torques de entrada y salida.

Este reductor de velocidad será comprobado su diseño tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Potencia de 0.008 Kw. Suministrada por el motor.
- Velocidad de entrada de 8500 rpm suministrada por el motor.
- Relación de transmisión total de $\frac{3264}{175}$ calculada.
- Distribución de ejes: Ejes Paralelos.
- Servicio tipo ligero debido a que no estará expuesto a fuerte trabajo.

- Se utilizara un criterio de diseño de máxima eficiencia debido a que son engranajes rectos.
- Y los materiales de dichos engranajes son plásticos.
- Para la comprobación del diseño también se utilizará un criterio optimista debido a que como se menciona no estará expuesto a grandes esfuerzos.

El esquema de cómo está diseñado el reductor de velocidad se ve en la figura 3.9.

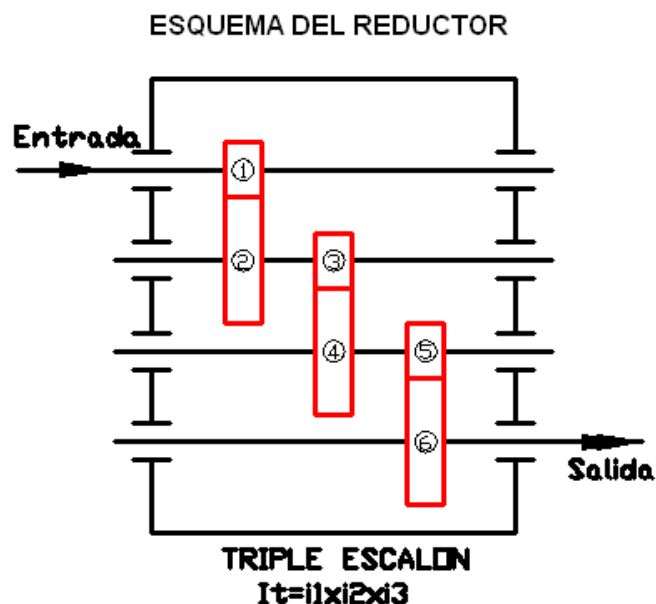


Figura 3.9 Esquema de diseño del reductor de velocidad.

Debido a que se requiere comprobar el diseño de un reductor de velocidades con una disposición de ejes paralelos y que cuyo criterio de diseño sea el de obtener una máxima eficiencia, este reductor se ha diseñado con engranes de dientes rectos, los cuales tienen las características adecuadas para la configuración requerida⁹¹, $0.98 < e < 0.99$

Debido a la distribución y al tamaño como es fabricado el reductor se ha resuelto utilizar un diseño de 3 escalones, de modo tal que se cumplan con las

⁹¹ Criterio de acuerdo al libro "Diseño en ingeniería mecánica" de Shigley y Mischke, Pág. 840 y 884

recomendaciones de diseño de este tipo de elementos y además se pueda hacer un cambio gradual en la relación de transmisión entre cada par de flechas contenido en el reductor.

Debido a que el diseño se refiere a un reductor de velocidad, sabemos que el torque final será $\frac{3264}{175}$ veces el torque inicial, lo que quiere decir que también la velocidad final será $\frac{3264}{175}$ veces menor que la velocidad inicial, la menor velocidad produce los mayores esfuerzos⁹².

La memoria de cálculo de la comprobación y dimensiones del diseño del reductor de velocidad se lo observa en el Anexo C. En este análisis de esfuerzos de los engranajes se obtuvo que las fuerzas tangenciales aplicadas en los dientes son cargas de un mayor valor, en la siguiente tabla se indican las fuerzas y torques aplicada en cada uno de los engranajes:

Tabla 3.19 Fuerzas y torques aplicados en los engranajes.

Nº de Engrane	Torque (N-m)	Fuerza tangencial (N)	Fuerza Radial (N)
Piñón 1	8.988×10^{-3}	2.247	0.818
Rueda 1	0.029	2.247	0.818
Piñón 2	0.029	4.109	1.496
Rueda 2	0.07	4.109	1.496
Piñón 3	0.07	6.985	2.542
Rueda 3	0.168	6.985	2.542

La terminología de las dimensiones de los engranajes y las cargas que se aplican en estos se ven en la figura 3.10 a y b.

⁹² Criterio de acuerdo al libro "Diseño en ingeniería mecánica" de Shigley y Mischke, Pág. 886

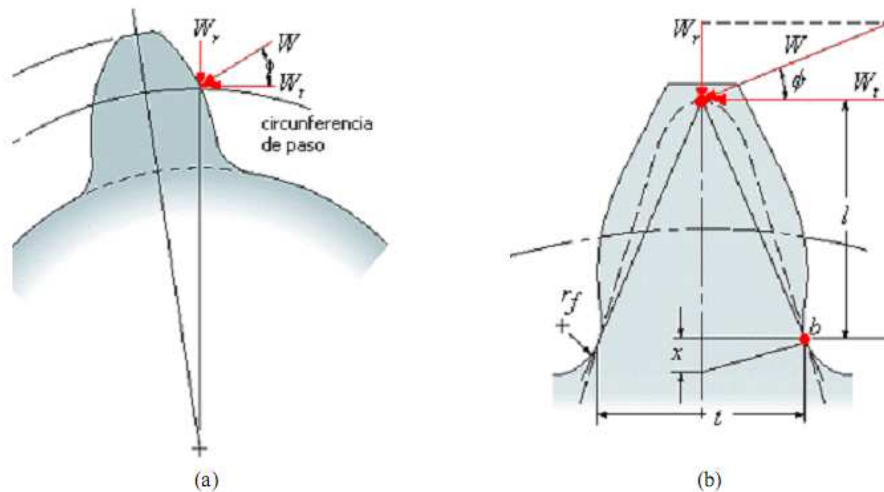


Figura 3.10 a) Distribución de cargas en un engrane recto b) cargas hipotéticas en un diente.

El análisis de esfuerzo aplicados en los engranes, se busco un criterio que es aplicado para engranes plásticos fabricados con poliamida (Nylon)⁹³.

La condición de resistencia de una pareja de engranajes plásticos esta dada por la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{F_t C_s}{m B Y n} \leq \sigma_{pa} \quad (3.17)$$

Donde:

σ = Tensión actuante en el pie del diente en MPa.

Σpa = Tensión admisible del material en MPa.

F_t = Fuerza tangencial aplicada sobre el diente [N]

C_s = Factor de servicio según tabla 3.20

Y = Factor de Lewis según tabla 3.21

m = Modulo en mm.

B = Ancho del diente en mm.

n = Factor de seguridad (el cual es de 0.2 ya que se supone en el diseño de fábrica ya esta dado un factor de seguridad).

⁹³ Criterio obtenido del libro "Ingeniería Mecánica" de L. Moya Rodríguez *, J. A. Velázquez Pérez; volumen 6. Págs. de la 25 a 32.

Tabla 3.20 Factores de servicio (Cs).

Tipo de carga	8 – 10 h / día	24 h / día	Intermitente (3 h / día)	Ocasional (0.5 h / día)
Constante	1	1.25	0.80	0.50
Choques ligeros	1.25	1.50	1	0.80
Choques medios	1.50	1.75	1.25	1
Choques fuertes	1.72	2	1.50	1.25

Un aspecto aun por investigar dentro de los engranajes plásticos son los valores que toma el factor de forma de los dientes producidos con cremalleras no normalizadas o especiales. Para la cremallera AGMA estandarizada el factor de Lewis se determina por la tabla No. 3.21.

Tabla 3.21 Factor de forma (Y).

Número de dientes	Diente de involuta de 20 grados	Diente de involuta de 20 grados cortos
12	0.245	0.311
14	0.276	0.339
16	0.295	0.361
18	0.308	0.377
20	0.320	0.393
22	0.330	0.405
26	0.346	0.424
30	0.358	0.437
34	0.371	0.446
38	0.383	0.456
43	0.396	0.462
50	0.408	0.474

Las propiedades de la poliamida son las siguientes:

Tabla 3.22 *Propiedades de la poliamida (Nylon).*

Propiedad	Unidades	Valor
Resistencia al calor	Grados Fahrenheit	500° F continuo, 900° F intermitente
Densidad	g/cm ³	1.15
Resistencia a la Tracción	MPa.	83
Módulo de elasticidad	MPa.	2.75 X10 ³
Resistencia relativa al peso	Acero = 1	2.27
Coefficiente de expansión térmica lineal	mm. /mm. / grado Kelvin	100 X10 ⁶

Utilizando las fuerzas tangenciales de cada engrane se obtuvo los siguientes esfuerzos con sus factores de seguridad:

Tabla 3.23 *Esfuerzos obtenidos y factores de seguridad.*

Nº de Engrane	Esfuerzo (Mpa.)	Factor de seguridad
Piñón 1	14.331	5.792
Rueda 1	7.717	10.756
Piñón 2	13.534	6.133
Rueda 2	10.068	8.244
Piñón 3	14.267	4.563
Rueda 3	60.635	5.818

De acuerdo a la tabla anterior se puede establecer que el reductor de velocidad (transmisión) se encuentra correctamente diseñado ya que como menor factor de seguridad tenemos un valor de 4.563 y como mayor factor un valor de 10.756

3.3.3 Prestaciones del vehículo y cálculo de rueda.

Primeramente para analizar las prestaciones se buscara que ruedas va a utilizar el vehículo para su desplazamiento el análisis es muy sencillo y es el siguiente:

3.3.3.1 Cálculo de rueda.

De la memoria de cálculo para el análisis del diseño del reductor de velocidad en la tabla 3.19 se obtiene que el torque de salida (rueda 3) es de 0.178 N-m y se tiene que la fuerza que necesita el vehículo para moverse a cierta velocidad de acuerdo a la ecuación 3.13 es de 2.205 N. Entonces como el torque se calcula de la siguiente manera:

$$T = F \cdot d \quad (3.18)$$

Donde :

T = Torque

F = Fuerza

d = distancia

Se tiene que el torque es el torque de salida del reductor, la fuerza es la resistencia al avance del vehículo y la distancia es el radio mínimo que tendrá la rueda, despejando de la ecuación 3.18 tenemos que:

$$R_r = \frac{T_s}{R_{mov}} \quad (3.19)$$

Donde:

R_r = Radio mínimo de la rueda.

T_s = Torque de salida del reductor.

R_{mov} = Resistencia al avance

Remplazando lo valores se tiene:

$$R_r = \frac{0.168}{2.205} = 0.076 \text{ m} = 76.1 \text{ mm}$$

Aproximando el radio máximo para que el vehículo se mueve y vaya a una velocidad de 10 Km. /h. será de 76 mm. En el mercado se encontró una rueda (ver figura 3.11) con medidas de 65 mm. de radio, en plástico y con rodadura en caucho. La cual pesa 200 gramos y esta dentro de lo considerado en los pesos de la tabla 3.18.



Figura 3.11 Ruedas para el vehículo.

3.3.3.2 Prestaciones del vehículo.

Al tener una fuerza mayor debido a la disminución de radio y aumento de potencia del motor tendremos que el vehículo aumentará en un pequeño valor la velocidad como se demuestra a continuación:

Despejando en la ecuación 3.19 tenemos:

$$F_{Kf} = \frac{T_s}{R_{rf}} = \frac{0.168}{0.065} = 2.584 \text{ N}$$

Donde

F_{Kf} = Fuerza final que el sistema de propulsión da para que se mueva el vehículo.

R_{rf} = Radio final de la rueda.

– Velocidad Máxima:

Analizando lo anterior la velocidad máxima teórica a la que podría andar el vehículo en una recta utilizando las ecuaciones 3.14 y 3.16. Hay que tener en cuenta que la resistencia al avance se la supera, entonces en la ecuación 3.14 esta resistencia es disminuida, ya que existe un exceso de fuerza dado por el

sistema de propulsión. Este exceso es la fuerza final F_{Kt} menos la fuerza resistiva R_{mov} . Por esta razón a la resistencia al avance hay que quitar el exceso. A continuación se hallan dicha fuerzas:

$$F_{exc} = F_{Kt} - R_{mov} \quad (3.20)$$

$$F_{exc} = 2.584 - 2.205 = 0.379 \text{ N}$$

Donde:

F_{exc} = Exceso de fuerza requerida

Entonces la fuerza para halla la velocidad máxima es:

$$F_{vel} = R_{mov} - F_{exc} \quad (3.21)$$

$$F_{vel} = 2.205 - 0.379 = 1.826$$

Despejando de la ecuación 3.16 se obtiene la potencia en la rueda:

$$P_{rueda} = P_{motor} \eta_{engranes} = 8 \cdot 0.95 = 7.6 \text{ W}$$

Entonces la velocidad máxima se obtiene despejando de la ecuación 3.14 y remplazando R_{mov} por F_{vel} que es la fuerza resistiva nueva que se da por el exceso de la fuerza generada por el sistema de propulsión:

$$V = \frac{3.6 \cdot P_{rueda}}{F_{Kt}} = \frac{3.6 \cdot 7.6}{1.826} = 14,98 \text{ Km/h.}$$

- **Máximo peso que el vehículo puede transportar (considerando un terreno plano):**

En la ecuación 3.10 la fuerza F_K se la reemplaza por la fuerza F_{Kf} para determinar la fuerza (F_N) debido al peso sobre el vehículo tomando en consideración que no se toma en cuenta la resistencia al aire. Entonces F_N es:

$$F_N = \frac{F_{Kf}}{\rho} = \frac{2.584}{0.018} = 143.55 \text{ N}$$

Este valor se lo reemplaza despejando el PBV en la ecuación 3.10, así:

$$PBV_F = \frac{F_N}{g} = \frac{143.55}{9.8} = 14.64 \text{ Kg.}$$

Donde

PBV_F = Peso máximo que el vehículo puede transportar

El máximo peso que el vehículo puede cargar es de 14.64 Kg., lo que indica que se tiene un valor extra de carga cuyo valor es:

$$\text{Carga extra} = PBV_F - PBV = 2.14 \text{ Kg.}$$

- **Pendiente máxima de ascenso:**

Para este punto se debe tomar en cuenta dos consideraciones: la primera se basa en la capacidad máxima de ascenso de pendientes con la propulsión que posee, la segunda es cual es el ángulo de ataque que permite el vehículo, o sea es el ángulo máximo que puede subir el vehículo tomando como limitante la estructura del mismo. Este ángulo se lo puede visualizar en la figura 3.12. De estos dos ángulos hay que tomar el menor como el adecuado, el cual será el máximo al que puede subir el vehículo teóricamente.

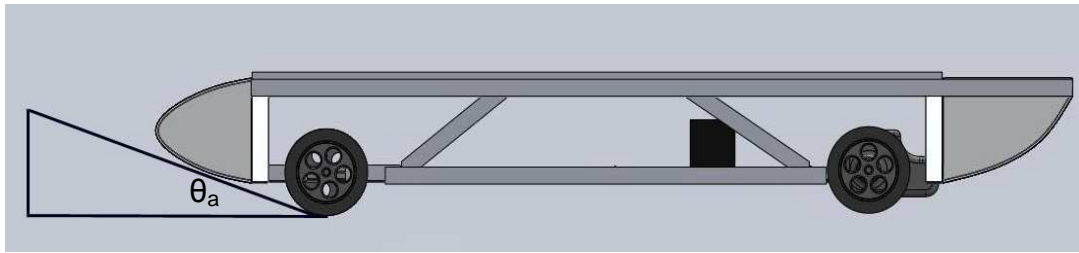


Figura 3.12 Ángulo de ataque.

a) Ángulo de ataque

El ángulo de ataque lo determinamos utilizando el software de diseño SolidWorks, en este medimos el valor del ángulo que se necesita. El ángulo encontrado es de 20° con respecto a la horizontal donde se apoyan las ruedas delanteras al punto más cercano donde el plano inclinado es tangente a la parte delantera del vehículo.

Para hallar la pendiente máxima de ascenso en porcentaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$p = (\tan \alpha) 100\% \quad (3.22)$$

Donde

α = ángulo de inclinación

Entonces la pendiente será:

$$p = (\tan 20) 100\% = 36.39\%$$

Podemos decir entonces que el vehículo tendrá una capacidad de ascender una pendiente máxima del 36.39 %.

b) Capacidad máxima de ascenso de pendientes:

Vamos a suponer para este cálculo que el valor de la resistencia al ascenso será el valor máximo de tracción calculado en base al torque del reductor en el

eje de salida $T_s = 0.168$ Nm. (anexo C). Por tanto, la fuerza de tracción en la rueda la obtenemos despejando la fuerza de la ecuación 3.18, así:

$F_t = \frac{T_s}{r}$; siendo r el radio de las ruedas propulsoras, que es igual a 0.065 m.

$$F_t = \frac{0.168}{0.065} = 2.585 \text{ N.}$$

La resistencia al ascenso se calcula mediante la expresión:

$$F_{st} = PBV \sin \alpha \quad (3.23)$$

O, aproximadamente:

$$F_{st} = 0.01PBV \cdot p \quad (3.24)$$

Donde:

F_{st} = resistencia al ascenso [N]

PBV = peso bruto del vehículo [N]

α = ángulo de ascenso [grados]

p = pendiente [%]

La pendiente puede calcularse mediante las siguientes relaciones:

$$p = \left(\frac{h}{l} \right) 100\% \quad (3.25)$$

Y la ecuación 3.23

Donde:

h = altura ascendida [unidades de longitud]

l = longitud en la cual se asciende h [unidades de longitud]

$$F_{st} = F_t = 2.585 \text{ N.}$$

$$2.585 = 122.5 \text{sen} \alpha \Rightarrow \alpha = \text{sen}^{-1} \left(\frac{2.585}{122.5} \right)$$

$$\alpha = 1.21^\circ;$$

Con lo que la pendiente será:

$$p = \tan(1.21^\circ) = 2.11\% \leq 20 .$$

Y debido a que es un valor bajo se utilizará la ecuación (3.24) con el fin de comprobar el resultado.

$$2.585 = 0.01 \cdot 122.5p \Rightarrow p = 2.11\%$$

Podemos decir entonces que el vehículo tendrá una capacidad de ascender una pendiente máxima del 2%.

Debido el menor porcentaje de ascenso a una pendiente es del 2%, se toma este valor ya que el vehículo ya no tiene mayor propulsión para realizar un ascenso más alto.

– **Calculo del radio mínimo de curvatura y resistencia a la curvatura.**

a) Calculo del radio mínimo de curvatura:

El estudio de esta radica en hallar el radio mínimo de curvatura para el cual no existirá deslizamiento.

El esquema a continuación indica el esquema de fuerzas actuantes sobre un vehículo en una curva con peralte.

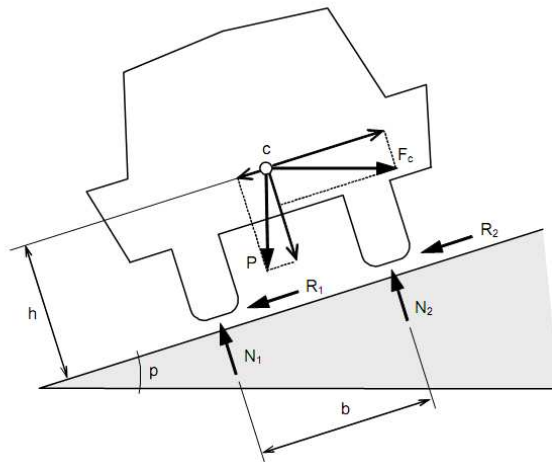


Figura 3.13 Diagrama de fuerzas actuantes sobre el vehículo en una curva.

En este caso se estudia el movimiento del vehículo en el plano de rodadura, que coincide con la superficie del pavimento en contacto con el neumático. Planteando la ecuación de equilibrio de fuerzas en dicho plano, según el esquema expuesto en la figura 3.13, se obtiene la siguiente igualdad:

$$F_c = R_1 + R_2 + P \text{sen} p \quad (3.26)$$

Sustituyendo por las correspondientes expresiones equivalentes, anteriormente citadas:

$$m \frac{v^2}{r} = f_t * (N_1 + N_2) + mg \cdot \text{sen} p \quad (3.27)$$

Teniendo en cuenta que para ángulos pequeños, puede hacerse la aproximación $\text{sen} p = \text{tan} p = p$, por tratarse de infinitésimos equivalentes, y que $\text{cos} p \approx 1$, la anterior expresión queda simplificada:

$$m \frac{v^2}{r} = mg f_t + m g p \quad (3.28)$$

Cancelando la masa a ambos lados de la ecuación y trasladando el radio al otro miembro, quedará:

$$v^2 = rg(f_t + p) \quad (3.29)$$

Siendo ésta la condición de equilibrio de fuerzas horizontales en una curva circular.

Sin embargo, la condición de deslizamiento dependerá de los valores adoptados por el peralte y la velocidad de circulación del vehículo, pudiéndose dar un desplazamiento del vehículo hacia el exterior de la curva, provocado por una velocidad excesiva, por insuficiencia de peralte o por una baja adherencia neumático-pavimento, o por el contrario, un deslizamiento hacia el interior de la curva, ocasionado normalmente por un peralte excesivamente pronunciado.

De acuerdo a la norma⁹⁴, se establece una tabla de valores de los coeficientes de resistencia al deslizamiento transversal con respecto a la velocidad de circulación, con estos datos generamos un línea de tendencia (grafica 3.13) con el fin de obtener el valor del coeficiente a una velocidad de 10 Km. /h. La tabla obtenida es la siguiente:

Tabla 3.24 *Valores de los coeficientes de resistencia al deslizamiento transversal.*

V [Km/h]	Ft
40	0,180
50	0,166
60	0,151
70	0,137
80	0,122
90	0,113
100	0,104
110	0,096
120	0,087
130	0,078
140	0,069
150	0,060

⁹⁴ Norma 3.1 – IC (2000) del Ministerio de Fomento de España.

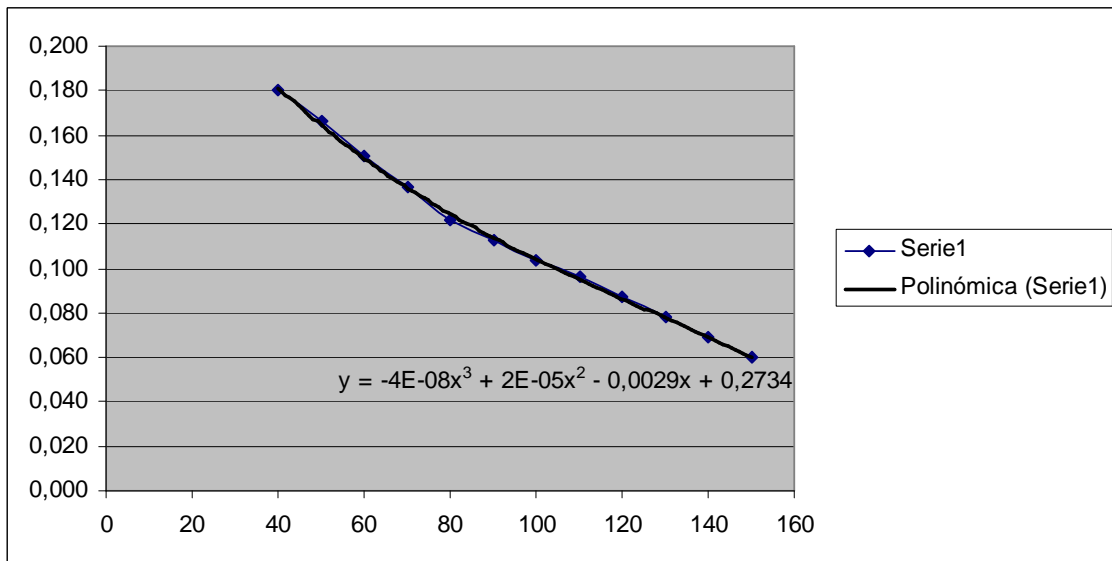


Figura 3.14 Gráfica Tabla 3.24 y línea de tendencia.

De la función generada a partir de la línea de tendencia, tomando el valor de X (velocidad de avance) se obtuvo un valor para el coeficiente de deslizamiento transversal de 0.2464.

Remplazando este valor en la ecuación 3.29 y tomando en cuenta que no existe peralte, se puede encontrar que el valor del radio de curvatura mínimo para el cual no existirá deslizamiento a una velocidad de 10 Km. /h, así:

$$r = \frac{v^2}{gf_t} = \frac{10^2}{12.96 \cdot 9.8 \cdot 0.2464} = 3.196 \text{ m}$$

Se divide para 12.96 debido a que la velocidad debe estar en m/s.

b) Calculo de la resistencia a la curvatura:

Utilizando el valor del radio mínimo calculado y aplicando la segunda ley de Newton tenemos:

$$ma_x = F_x \tag{3.30}$$

$$a_x = -\ddot{x}$$

$$a_x = \frac{F_x}{m} = -\frac{dv}{dt} \text{ (a)}$$

$$\int_{v_0}^{v_1} dv = -\frac{F_x}{m} \int_0^t dt \Rightarrow v_0 - v_1 = \frac{F_x}{m} t$$

$$v = \frac{dx}{dt} \Rightarrow dt = \frac{dx}{v} \text{ (b)}$$

Reemplazando (b) en (a):

$$\frac{F_x}{m} = -\frac{dv}{dt} \Rightarrow \frac{F_x}{m} dt = -dv$$

$$\frac{F_x}{m} \cdot \frac{dx}{v} = -dv \Rightarrow -v \cdot dv = \frac{F_x}{m} dx$$

$$-\int_{v_0}^{v_1} v \cdot dv = \int_{x_0}^{x_1} \frac{F_x}{m} dx \Rightarrow \frac{F_x}{m} (x_1 - x_0) = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2}$$

Considerando que: $x = x_1 - x_0$, y que la velocidad final v_1 es igual a 0, tenemos que:

$$x = \frac{mv_0^2}{2F_x} \tag{3.31}$$

Donde:

m = masa total del vehículo [Kg]

v_0 = velocidad inicial del vehículo [m/s]

F_x = fuerza de tracción máxima del vehículo [N]

Por tanto:

$$x = \frac{12.5 \left(\frac{10}{3.6} \right)^2}{2 \cdot 2.584} = 18.663 \text{ m.}$$

Tenemos entonces que esta distancia en la cual se detendrá el vehículo representa a la longitud de cuerda en un arco de 3.196 m. de radio (el radio mínimo de curvatura para el cual no existirá deslizamiento transversal). Por tanto es posible obtener el ángulo en el cual se detendrá el vehículo producto de la resistencia ejercida por la curvatura del mismo mediante la siguiente expresión:

$$x = r\theta \quad (3.32)$$

$$\theta = \frac{x}{r}$$

Donde:

x = longitud de cuerda [m]

r = radio de curvatura [m]

θ = ángulo en el cual se detendrá el vehículo [rad]

$$\theta = \frac{18.663}{3.196} = 5.839 \text{ rad}$$

$$\theta = 334.57^\circ .$$

Con lo anterior el auto antes de detenerse girara 334.57° lo que es equivalente a 0.92 de vuelta con un impulso de 2.584 N.

Entonces para obtener el radio de curvatura y el ángulo al cual se detendrá el vehículo a cualquier velocidad se utiliza las ecuaciones 3.29, 3.31, 3.32.

3.3.4 Eje Delantero.

El eje delantero se compone de dos partes: el eje delantero derecho e izquierdo, los cuales son diseñados exactamente iguales, lo que varía es la disposición en cada uno de los lados del bastidor donde se asientan dichos ejes. Lo que se quiere obtener de cada eje individual es un mecanismo el cual nos permita fijar una flecha, la cual va unida a la rueda por tornillo. El medio de fijación son dos mordazas las cuales fijan al eje permitiendo su rotación en la unión de estas dos por medio de dos rodela que dan una holgura para dicho movimiento. Las mordazas van fijadas a una base que va montada al bastidor por pernos. Estas mordazas dan la posibilidad también de un movimiento rotario limitado en su eje transversal, el cual nos permite la alineación de las ruedas por medio de un orificio “ojo chino” en uno de los pernos de sujeción.

Todas las dimensiones y posiciones de dichos elementos se encuentran en el Anexo B, en los planos del 12 al 20.

El análisis estático de la estructura para comprobar su diseño se lo realizo en el software de análisis CosmosWorks y se utilizan los mismos criterios explicados en el numeral 3.2.1 correspondiente al diseño de la estructura (bastidor). Los resultados obtenidos y sus gráficas correspondientes son las siguientes:

– **Propiedades del estudio.**

Tabla 3.25 *Propiedades del estudio.*

Nombre de estudio	Mordaza
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Tipo de solver	Solver tipo FFEPlus
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin

– **Unidades.**

Tabla 3.26 *Unidades.*

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	m
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

– **Propiedades físicas de los elementos.**

Tabla 3.27 *Propiedades físicas de los elementos.*

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Alza(5)-1	AISI 1020	0.0023464 kg	2.97013e-007 m ³
2	Alza(8)-1	AISI 1020	0.00186244 kg	2.35752e-007 m ³
3	Base ruedas delanteras-1	[SW]AISI 1020	0.0603426 kg	7.6383e-006 m ³
4	Eje rueda-1	AISI 1020 Steel, Cold Rolled	0.0235365 kg	2.99066e-006 m ³
5	Mordaza rueda delantera-1	[SW]AISI 1020	0.0784006 kg	9.92412e-006 m ³
6	Mordaza rueda delantera-2	[SW]AISI 1020	0.0784006 kg	9.92412e-006 m ³

– **Propiedades de los materiales.**

Tabla 3.28 *Acero AISI 1020.*

Nombre de material:		AISI 1020	
Tipo de modelo del material:		Isotrópico elástico lineal	
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coeficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.251e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coeficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

Tabla 3.29 *Acero AISI 1020 laminado en frío.*

Nombre de material:		AISI 1020 Steel, Cold Rolled	
Tipo de modelo del material:		Isotrópico elástico lineal	
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2.05e+011	N/m ²	Constante
Coeficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	8e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7870	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5e+008	N/m ²	Constante
Coeficiente de dilatación térmica	1.17e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	51.9	W/(m.K)	Constante
Calor específico	486	J/(kg.K)	Constante

– Restricciones y Cargas aplicadas.

Tabla 3.30 *Restricción en el eje.*

Nombre de restricción	Lugar de restricción	Descripción
Restricción-1	Base ruedas delanteras	Unión rígida

Tabla 3.31 *Carga en el eje.*

Nombre de carga	Lugar de Carga	Tipo de carga	Descripción
Gravedad	Gravedad normal con respecto al plano horizontal	Carga secuencial	con una aceleración de la gravedad de 9.81 m/s ²
Cargas Puntual	Eje rueda	Carga secuencial	Fuerza de 2.05 Kgf. Alo largo de la dirección Y

– Información de malla.

Tabla 3.32 *Información de malla.*

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Estándar
Verificación jacobiana:	En los nodos
Tamaño de elementos:	1.5714 mm.
Tolerancia:	0.07857 mm.
Calidad:	Alta
Número de elementos:	57095
Número de nodos:	86799

– **Fuerzas de reacción.**

Tabla 3.33 *Fuerzas de reacción*

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	3.63146e-005	-17.7012	3.53126e-005	17.7012

– **Fuerzas de cuerpo libre.**

Tabla 3.34 *Fuerzas de cuerpo libre.*

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-0.00152446	0.00447199	-1.25061e-006	0.00472469

– **Momentos de cuerpo libre.**

Tabla 3.35 *Momentos de cuerpo libre.*

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

Resultados del estudio

– Resultados predeterminados.

Tabla 3.36 Resultados predeterminados.

Nombre						Ti po	Mí n.	Ubica ción	Má x.	Ubica ción
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	512.47 7 N/m^2 Nodo: 60425	(- 47.7 104 mm, 82.4 23 mm, 40.7 324 mm)	2.23296e +007 N/m^2 Nodo: 17479	(- 50.9 604 mm, 59.4 23 mm, 78.7 324 mm)					
Desplazami entos1	URES: Desplaza miento resultante	0 m Nodo: 2595	(- 77.7 104 mm, 62.4 23 mm, 100. 732 mm)	6.95087e -005 m Nodo: 32306	(- 7.82 073 mm, 74.5 735 mm, 70.8 732 mm)					
Deformacio nes unitarias1	ESTRN: Deformaci ón unitaria equivalent e	3.9955 5e- 009 Eleme nto: 17961	(- 52.1 678 mm, 80.7 63 mm, 70.6 212	6.14958e -005 Elemento : 12820	(- 50.8 198 mm, 59.7 98 mm, 79.0 401					

			mm)		mm)
--	--	--	-----	--	-----

– Factores de seguridad del diseño.

Tabla 3.37 Factores de seguridad del diseño.

Criterio	Máximo esfuerzo obtenido	Factor de seguridad
Von Mises	22.53 Mpa.	15.75
Cortante Máxima	11.47 Mpa.	15.33

En la grafica 3.15 a y b se observa un diagrama de la distribución del factor de seguridad para cada uno de los criterios utilizados.

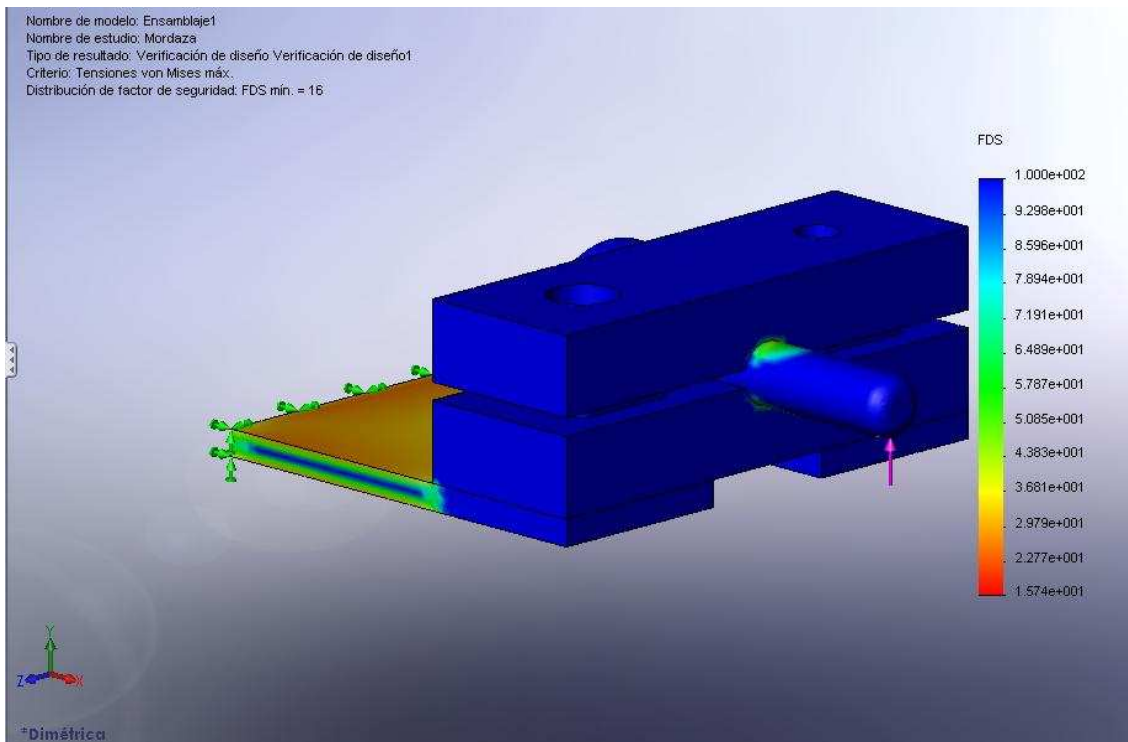


Figura 3.15 a) Distribución de factor de seguridad según criterio de Von Mises en el eje delantero.

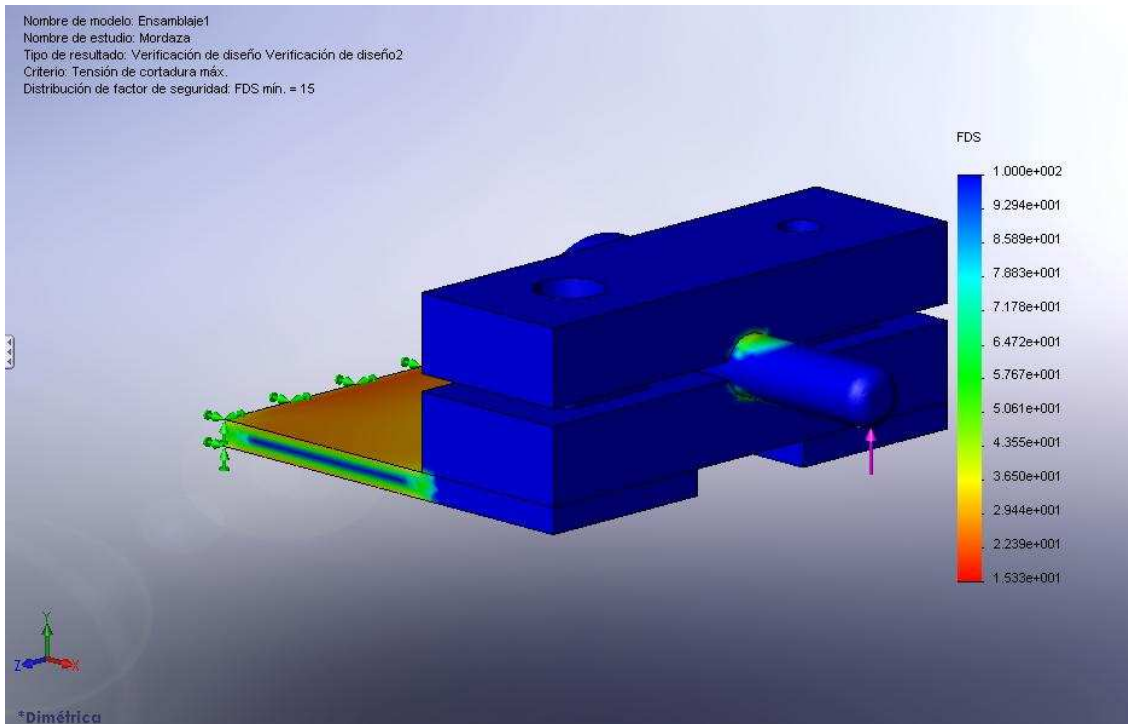


Figura 3.15 b) Distribución de factor de seguridad según criterio del esfuerzo cortante máximo en el eje delantero.

– **Gráficas de tensiones, desplazamientos y deformaciones.**

I. Tensiones estáticas.

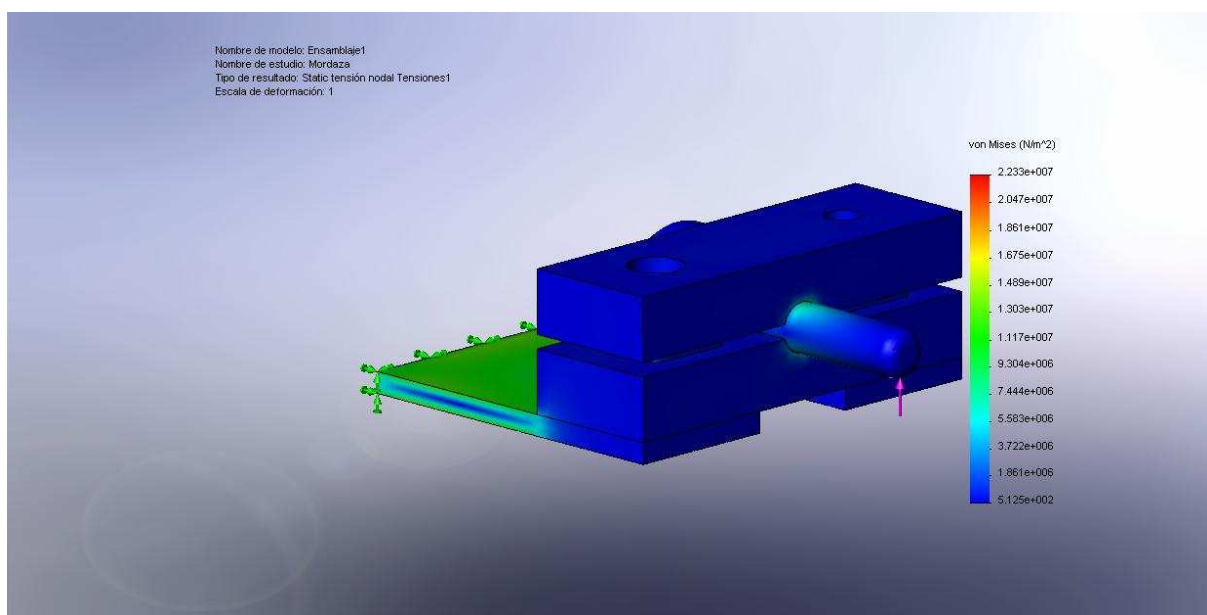


Figura 3.16 Tensiones estáticas en el eje delantero.

II. Desplazamientos.

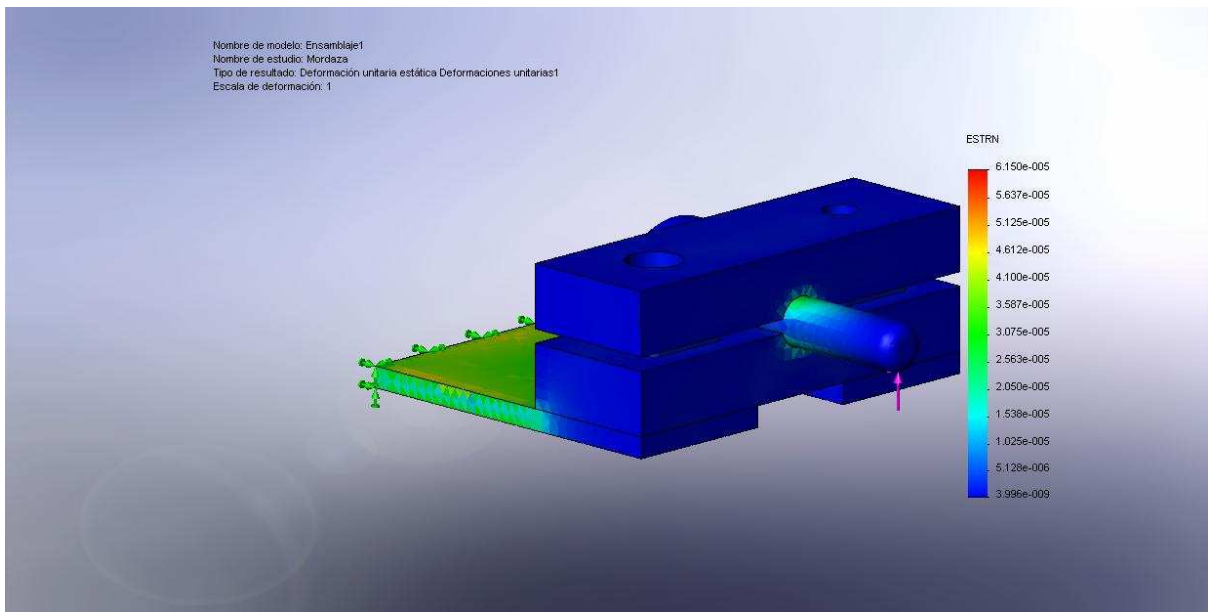


Figura 3.17 Desplazamientos del eje delantero.

III. Deformación unitaria.

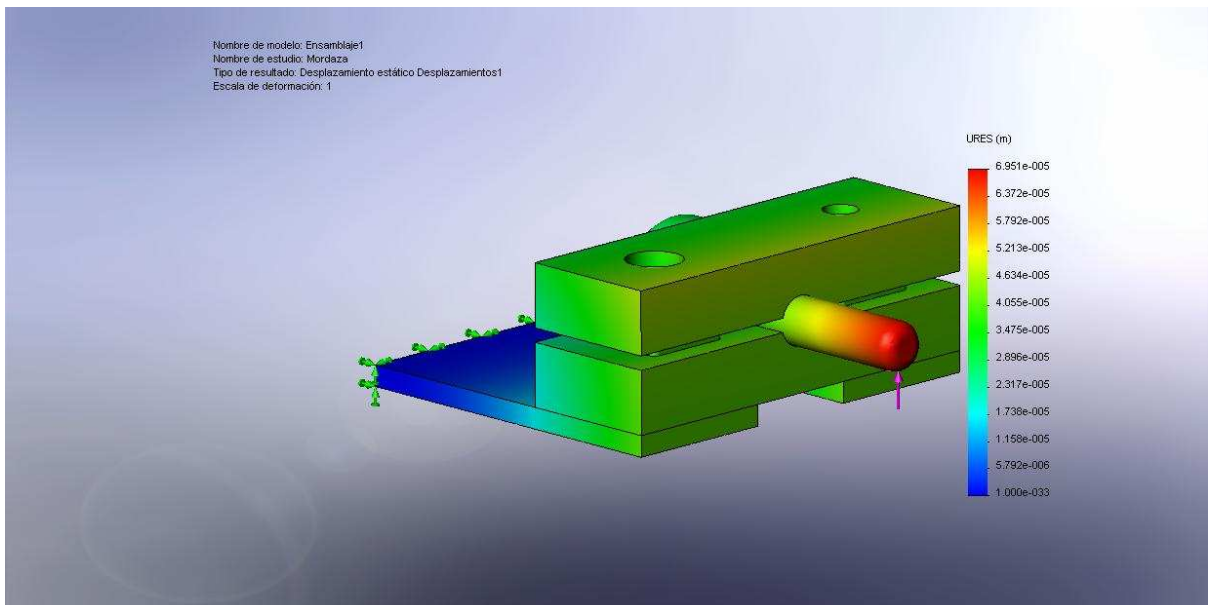


Figura 3.18 Deformaciones unitarias en el eje delantero.

3.4 Diseño fotovoltaico.

3.4.1 Cálculo de las eficiencias del panel fotovoltaico.

3.4.1.1 Eficiencia teórica:

$$\eta_{\text{CNP}} = \frac{\text{Pot.max. (Wp)}}{\text{Área_módulo} \cdot \text{Radiación}} \quad (3.33)$$

- Potencia máxima del panel: 43Wp.
- Condiciones normales de prueba:
- Radiación: 1000 W/m².
- Temperatura: 28°C.

– Área efectiva del módulo:

Con esta área nos referimos a aquella que comprende únicamente la parte ocupada por las celdas solares, sin tomar en cuenta los bordes y el marco del panel solar.

$$A_{\text{efectiva}} = \text{longitud de celdas} \times \text{ancho de celdas} \quad (3.34)$$

$$A_{\text{efectiva}} = 1,04\text{m} \times 0,31\text{m}$$

$$A_{\text{efectiva}} = 0,3224\text{m}^2.$$

Con esto:

$$\eta_{\text{CNP}} = \frac{43\text{Wp}}{0,322\text{m}^2 \cdot 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \quad (3.35)$$

$$\eta_{\text{CNP}} = 0.1335$$

$$\eta_{\text{CNP}} = 13.35\%$$

3.4.1.2 Eficiencia de operación:

$$\eta_{\text{Top}} = \eta_{\text{CNP}}(1 - 0.003(T_{\text{op}} - T_{\text{CNP}})) \quad (3.36)$$

$T_{\text{op}} = 47^{\circ}\text{C}$, según la información propia del panel

$T_{\text{CNP}} = 28^{\circ}\text{C}$,

Con esto:

$$\eta_{\text{Top}} = 0.1335(1 - 0.003(47 - 28))$$

$$\eta_{\text{Top}} = 0.1259$$

$$\eta_{\text{Top}} = 12.59\%$$

3.4.2 Análisis de la demanda energética del sistema.

Para realizar este análisis debemos primero tomar en cuenta a todos los dispositivos que formarán parte de la demanda energética, que en este caso es únicamente el motor de propulsión.

Cabe mencionar que por tratarse de un motor de altas revoluciones y bajo torque, en el instante del arranque demanda una gran cantidad de energía con respecto a la demanda que tiene en condiciones normales de operación, y es por esta razón que para el cálculo de la demanda energética se ha considerado a la carga del arranque como una carga independiente.

Dicho lo anterior y después de realizar las mediciones pertinentes tenemos que el consumo energético en el arranque tiene un valor de 30W, y se ha considerado que puede llegar a producirse sesenta veces por día, en las cuales tendrá una duración promedio de un segundo cada vez. Por otra parte el

funcionamiento del motor se ha estimado en cuatro horas diarias únicamente durante el día, de las cuales una será en horas de la tarde-noche, debido a que se ha considerado que trabajará como instrumento de prácticas de laboratorio en cuatro ocasiones por día.

A continuación se tabulan los datos de la demanda energética requerida, dividiendo las horas de consumo durante todo el día por una parte y las horas de consumo nocturno por otra.

Tabla 3.38 Tabulación de datos para cálculo energético.

Cargas Aparatos	Voltaje (V)	Tipo de Corriente	N° de cargas	Potencia (Kw)	Horas por día	% de horas en la noche	Kwh por día	Kwh por noche
Motor de propulsión (arranque)	12	DC	1	0.03	0.066	25	0.002	0.0005
Motor de propulsión (funcionamiento)	12	DC	1	0.008	4	25	0.032	0.008

De aquí tenemos que la sumatoria de la demanda en Kwh por día es el valor de la demanda energética total del sistema fotovoltaico, se la denomina carga diaria y está representada por L_{Kw} . Por tanto:

$$L_{Kw} = 0.034 \frac{\text{Kwh}}{\text{día}}$$

Y por otro lado tenemos que la sumatoria de la demanda en Kwh por noche se denomina carga nocturna, que para este caso de diseño adquirirá un valor de 0.0085Kw.

3.4.3 Cálculo de la eficiencia total del sistema.

La eficiencia total del sistema se define como:

$$\eta_{\text{sist}} = \eta_{\text{Top}} \eta_{\text{bat}} \eta_{\text{otros}} \quad (3.37)$$

De donde:

$$\eta_{\text{Top}} = 0.1259.$$

La eficiencia de las baterías se obtiene de la expresión:

$$\eta_{\text{bat}} = 1 + \frac{\text{carga_nocturna}}{L_{\text{Kw}}} (\eta_{\text{es}} - 1) \quad (3.38)$$

Donde:

$$\text{Carga nocturna} = 0.0085 \text{ Kwh.}$$

$$L_{\text{Kw}} = 0.034 \text{ Kwh.}$$

$$\eta_{\text{es}} = 0.75 \rightarrow [0.75-0.8]$$

$$\eta_{\text{bat}} = 1 + \frac{0.0085\text{Kwh}}{0.034\text{Kwh}} (0.75 - 1)$$

$$\eta_{\text{bat}} = 0.9375.$$

La eficiencia de otros se refiere a las pérdidas que se presentan debido a las conexiones de los interruptores, los instrumentos, etc. Tiene un valor de 0.98.

Es decir:

$$\eta_{\text{otros}} = 0.98.$$

Por tanto:

$$\eta_{\text{sist}} = 0.1259 * 0.9375 * 0.98$$

$$\eta_{\text{sist}} = 0.1157$$

3.4.4 Irradiación incidente promedio.

Para el área correspondiente a la ubicación de la ESPE (coordenadas geográficas), durante el último año este valor se encuentra en un rango de entre: 4.2 a 5.11 Kwh/(m²*día) o 175.1 a 213 W/m², según el análisis realizado mediante satélite por la empresa 3Tier.

La empresa 3Tier, con sede en Seattle, USA, se dedica a recopilar la información necesaria acerca de la disponibilidad de recursos en los campos de la energía eólica y solar principalmente, utilizando para este efecto datos proporcionados por un satélite, y de acuerdo con la información publicada en su página web (www.3Tier.com), el valor de irradiación en un lugar especificado tiene un 68% de probabilidad de estar dentro del rango de irradiación promedio anual calculado por 3Tier.

Para efectos de cálculo utilizaremos un valor de irradiación de 4.2 Kwh/(m²*día) o 175.1 W/m², que es el valor más bajo del rango entregado por parte la empresa 3Tier.

3.4.5 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para este efecto se recurrirá al denominado método ROSSA (Rapid Optimum System Sizing Aid), el cual determina que es necesario escoger un valor de porcentaje LOEP (Perdida de potencia del sistema por falta de radiación solar), el cual puede tomar valores de 0.1, 1 y 10%. Siendo 0.1% el más optimista y 10% el más conservador.

A partir de escoger el porcentaje LOEP se debe recurrir a la gráfica de evaluación para el dimensionamiento del sistema (ver anexo D), de donde se obtienen los valores tanto de: promedio de radiación diaria para funcionamiento del sistema “I_D” [Kwh/(m²*día)], así como de la capacidad del banco de baterías necesarias “C_L” [Kwh/(día de carga)].

Para mantener el criterio conservador se ha escogido un valor de porcentaje LOEP de 10%, con lo que, y de acuerdo con la gráfica (anexo D), obtenemos los siguientes valores: $I_D=3.25$ [Kwh/(m².día)] y $C_L=3.25$ [días].

Ya que se pretende realizar los cálculos teóricos siguiendo un criterio pesimista, se utilizará el valor de I_D obtenido de la gráfica, ya que el mismo es inferior al valor publicado por la empresa 3Tier en su página de internet (4.2 Kwh/(m².día)).

Aclarado lo anterior, con los valores especificados podemos calcular la potencia requerida a la temperatura de operación mediante la siguiente expresión:

$$W_{Top} = \frac{L_{Kw} 1000 \eta_{Top}}{I_D \eta_{sist}} \quad (3.39)$$

$$W_{Top} = \frac{0.034 \cdot 1000 \cdot 0.1259}{3.25 \cdot 0.1157}$$

$$W_{Top} = 11.38 \text{ W.}$$

Con este valor podemos encontrar el valor de la potencia teórica, para compararla con la potencia teórica de nuestro panel solar, mediante la siguiente expresión:

$$W_p = \frac{W_{Top}}{1 - 0.003(T_{op} - 28)} \quad (3.39)$$

$$W_p = \frac{11.38}{1 - 0.003(47 - 28)}$$

$$W_p = 12.07 \text{ Wp.}$$

Ahora comparamos este valor con la potencia nominal del panel solar con el fin de determinar si este va a ser capaz de abastecer la demanda del sistema fotovoltaico.

$$\# \text{ paneles} = \frac{W_p}{\text{Potencia_nominal_panel}} \quad (3.40)$$

$$\# \text{ paneles} = \frac{12.07}{43}$$

$$\# \text{ paneles} = 0.28$$

Del resultado anterior encontramos que la demanda energética se satisface e incluso se encuentra sobre dimensionada, aunque cabe recalcar que debido al alto consumo del motor en el arranque, la capacidad del panel no está desperdiciada.

Con la capacidad del banco de baterías (C_L) podemos calcular ahora la carga en la batería requerida para el arreglo a través de la siguiente expresión:

$$C = C_L L_{Kw} \quad (3.41)$$

$$C = 3.25 \cdot 0.034$$

$$C = 0.1105 \text{ Kwh.}$$

Las baterías que se utilizan para sistemas fotovoltaicos son del tipo de descarga profunda, esto quiere decir que llegan a descargarse hasta un máximo de un 80%, de aquí se desprende el valor de profundidad de descarga que para este caso lo hemos asumido como 0.7 (tomando en cuenta también los diagramas de la batería incluidos en el numeral 4.4 información técnica). Por tanto la capacidad real que se necesita en las baterías se obtiene de la expresión:

$$B = \frac{C}{\text{profundidad_de_descarga}} \quad (3.42)$$

$$B = \frac{0.1105}{0.7}$$

$$B = 0.1578 \text{ Kwh.}$$

$$B = 157.8 \text{ Wh}$$

En el presente sistema fotovoltaico se ha considerado utilizar baterías de 12V y 3Ah, actuando en 5 ciclos de carga (debido a que la mayor parte del tiempo se encontrará operando el sistema bajo la luz solar), y a partir de estos datos iniciales realizamos el siguiente análisis con el fin de comprobar si las baterías cumplirán con la función estimada:

$$\text{requerimientos(Ah)} = \frac{B[\text{Wh}]}{\text{voltaje_batería} \cdot \# \text{ciclos_carga_diarios}} \quad (3.43)$$

$$\text{requerimientos(A} \cdot \text{h)} = \frac{157.8}{12 \cdot 5}$$

$$\text{requerimientos(A} \cdot \text{h)} = 2.63 \text{ A.h}$$

Como se puede observar, el requerimiento en amperios hora (A.h) del sistema es inferior a la capacidad de la batería, por lo que se necesitará únicamente de una unidad para satisfacer los requerimientos formulados.

3.5 Diseño eléctrico.

El diseño eléctrico es muy importante en el desarrollo del modelo de vehículo con energía solar fotovoltaica. Todos los sistemas como son principalmente: el sistema de mando y control remoto; el sistema fotovoltaico y el sistema de propulsión se encuentran interconectados por el sistema eléctrico.

Las necesidades que se tienen en este diseño son las siguientes:

- Un sistema que permita unir al sistema fotovoltaico con el sistema de mando y control remoto.
- El sistema de mando debe conectarse al sistema de propulsión y brindar la posibilidad de dar movimientos para adelante y atrás (+ 12 V y – 12V).
- Por la necesidad de realizar pruebas y realizar practicas en este vehículo como es uno de sus objetivos. El sistema eléctrico nos debe brindar datos como son: voltaje de fuente, voltaje de consumo, voltaje de batería, consumo de corriente, y una salida de voltaje.
- Y por último que permita prender y apagar el sistema con una luz indicadora.

3.5.1 Desarrollo diseño eléctrico.

En este sistema la fuente de voltaje es el panel solar. Este dispositivo nos brinda una variabilidad de voltaje por lo que se colocara un voltímetro para obtener el valor de que voltaje nos esta brindando.

Para controlar el voltaje del panel se colocara un controlador de carga y descarga, el cual controla que el voltaje sea de 12 V en corriente continua. Además se instalara una batería recargable la cual nos permita almacenar la carga absorbida por el panel solar en esta también se colocara un voltímetro para saber con que voltaje se encuentra en dicho dispositivo. En esta parte el controlador se encarga del control de la carga en la batería ya que cuando el voltaje del panel es alto carga la batería y envía la carga directo a los sistemas que consumen energía. En cambio cuando el voltaje del panel es bajo el controlador utiliza la carga de la batería para alimentar al circuito de consumo.

El circuito de consumo esta compuesto por dos sistemas que son de control y propulsión cuyos dispositivos son:

- Mando y Receptor del control remoto.
- Motor Eléctrico.

Para encender estos dos sistemas se dispondrá de un switch el cual dará dos posiciones prendido y apagado. En el sistema de mando se colocará una luz indicadora (LED) para dar aviso si el sistema se encuentra en funcionamiento. Este sistema está conformado por dos tarjetas, las cuales fueron adquiridas y adaptadas al vehículo. La primera tarjeta es un circuito electrónico al cual se le llama receptor, el cual se encarga de recibir la señal de un control remoto (transmisor) a una frecuencia de 49 MHz., por medio de antena. La señal recogida por el receptor la convierte en pulsos de voltajes (2 pulsos de 6 voltios), los cuales son enviados a la segunda tarjeta. Este circuito funciona con 6 voltios en corriente continua el cual es alimentado por la segunda tarjeta llamada de mando, la cual es un circuito electrónico compuesto primeramente por un regulador de voltaje, el cual reduce el voltaje desde 12 voltios a 5 voltios en corriente continua, el voltaje de 12 voltios es alimentado por el controlador de carga antes mencionado. También el circuito de mando contiene dos relés los cuales operan con 6 voltios en DC pero se encargan de controlar el paso de 12 voltios o de – 12 voltios a la salida por medio de un circuito eléctrico que se encuentra en la misma tarjeta el cual por medio de dos transistores y los pulsos del receptor se encarga de dar la polarización del voltaje y así obtener los movimientos para adelante y atrás del motor eléctrico.

Para el sistema de propulsión el diseño es el siguiente:

El voltaje obtenido de la tarjeta de mando y control remoto será de 12 o – 12 voltios en corriente continua. En este punto se medirá el voltaje que ingresa al motor por lo cual se colocará un voltímetro y una conexión para la salida de voltaje. Además se dispondrá de una salida para medir la corriente que el motor consume, por lo cual mediante un switch de dos posiciones (0 – 1) abre el circuito de entrada al motor para poder colocar un amperímetro y cuando no se requiera esta medida cerrar el circuito y dar funcionamiento normal al motor.

Todo el circuito eléctrico del modelo de vehículo experimental se encuentra esquematizado en el Anexo D, indicando todos los dispositivos e instrumentos antes señalados.

En todas las conexiones entre instrumentos y dispositivo se utilizará cable trefilado de cobre bipolar N° 14 AWG (cable de parlante), ya que los detalles técnicos del panel solar lo exigen como mínimo y tomando en cuenta que la corriente en el circuito es baja no se utilizará cables de mayor calibre

3.5.2 Memoria de Cálculo.

3.5.2.1 Datos.

- Fuente de Voltaje: 12 Voltios en DC
- Consumo máximo: 4 A
- Consumo nominal: 0.7 A

3.5.2.2 Fórmulas.

El único requerimiento que se exige en el circuito eléctrico es saber cual será la potencia que necesita el sistema.

Para arrancar el motor se utilizara el consumo máximo y las ecuaciones para el cálculo de la potencia máxima son:

$$P_M = VI_M \quad (3.44)$$

$$P_M = 12[V] \cdot 2.4[A]$$

$$P_M = 28.8[V \cdot A]$$

$$P_M = 28.8[\text{Watts}]$$

De ahí la potencia nominal o de operación normal será la siguiente:

$$P_o = VI_o \quad (3.46)$$

$$P_o = 12[V] \cdot 0.7[A]$$

$$P_o = 8.4[V \cdot A]$$

$$P_o = 8.4[\text{Watts}]$$

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 Materiales y Accesorios.

Para la construcción del modelo de vehiculo con energía solar fotovoltaica, se utilizó los siguientes materiales y accesorios:

4.1.1 Materiales

Tabla 4.1 *Materiales.*

Ítem	Características	Aplicación	Cantidad	Observaciones
Remache	Remache de 1/8" de diámetro y 3/16" de largo	Estructura del vehículo	100 und.	
Perno M5 x 35 mm	Perno de 5 mm. de diámetro y 35 mm. de largo	Sujeción mordazas ejes delanteros	4 und	Los pernos poseen 2 rodela planas, una rodela de presión y tuerca
Lámina de Acrílico	Plancha de Acrílico Oscuro de 4 mm. de espesor	Carrocería delantera y posterior. Base panel de instrumentos	0.4 mts ²	

Tabla 4.1 Continuación...

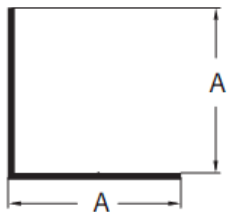
Ítem	Características	Aplicación	Cantidad	Observaciones												
Perfilería de Aluminio	<p>Ángulo en Aluminio 6063 - T52 (Referencia: 1003)</p>  <table border="1" data-bbox="392 707 805 801"> <thead> <tr> <th colspan="2">Lado (A)</th> <th>Espesor</th> <th>Peso</th> </tr> <tr> <th>Milímetros</th> <th>Pulgadas</th> <th>mm</th> <th>kg/m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25.40</td> <td>1</td> <td>1.60</td> <td>0.213</td> </tr> </tbody> </table>	Lado (A)		Espesor	Peso	Milímetros	Pulgadas	mm	kg/m	25.40	1	1.60	0.213	Estructura del vehículo	10 mts.	En la cantidad se tomó en cuenta las perdidas por corte.
Lado (A)		Espesor	Peso													
Milímetros	Pulgadas	mm	kg/m													
25.40	1	1.60	0.213													
Sellador de poliuretano	Pegamento plástico para sujeción	Uniones de carrocería delantera y posterior. Uniones varias	1 tubo de 310 cc.													
Alza de Caucho	Cilindros de Cucho vulcanizado de 200 mm. de diámetro, 200 mm de alto y orificio de 5 mm de diámetro	Alzas para la sujeción del panel de instrumentos	4 und.	Utilizados para dar espacio entre la estructura y la base del panel para conexiones eléctricas												
Silicón	Pegamento de silicón	Uniones varias	1 barra	Barra de 1 cm de diámetro para pistola eléctrica												
Perno M4 x 35 mm.	Perno de 4 mm. de diámetro y 35 mm. de largo	Sujeción panel de instrumentos	4 und.	Cada perno esta provisto de 2 rodela planas y tuerca												
Tocho de Acero	Tocho de acero SAE 1018 de diámetro 10 mm. y 150 mm. de largo para la fabricación de los ejes delanteros	Ejes Delanteros	1	Se obtendrán dos ejes												

Tabla 4.1 *Continuación...*

Ítem	Características	Aplicación	Cantidad	Observaciones
Placa de Acero	Placa de acero ASTM 1020	Mordazas de ejes delanteros	1 Placa de 60 mm. de largo 40 mm. De ancho y .20 mm. de espesor	De esta placa se obtienen 4 piezas.
Platina de Acero	Platina de 3mm. de espesor en acero ASTM 1020	Base rueda delantera	1 platina de 120 mm. x 60 mm.	De la platina se obtienen dos piezas.
Rodela Cuadrada de Acero	Rodelas fabricadas de platina de 3 mm. de espesor	Mordazas ejes delanteros	4 und.	Platina de 30 mm. x 40 mm
Lamina de Plástico	Base plástica obtenida de un vehiculo de juguete	Para soporte de tracción, movimiento y control en el vehículo	1 und	
Cables	Cables calibre 18 positivo y negativo.	Conexiones varias	5 mts.	
Tornillos	Tornillos pequeños de varios diámetros para sujeción de elementos y accesorios	Sujeciones varias	30 und	
Terminales	Terminales para conexiones eléctricas	Sistema eléctrico	16 und	
Balsa	Laminas de balsa de 600 mm. de largo x 80 mm. de ancho y 6 mm. de espesor	Carrocería lateral	2	Las láminas van recubiertas de adhesivos con el nombre del vehículo

4.1.2 Accesorios.

Tabla 4.2 *Accesorios.*

Ítem	Características	Aplicación	Cantidad	Observaciones
Panel Solar Fotovoltaico	Panel de 43 Wp	Alimentación de Energía del vehículo	Und.	
Controlador de carga y descarga	Control a 12 Voltios DC en el sistema	Control de Energía del vehículo	Und.	
Batería	Batería de 12 voltios recargable	Almacenamiento de Energía del vehículo	Und.	
Motor eléctrico	Motor de 8 Watts y 12 voltios DC	Sistema de propulsión del vehículo	Und.	
Transmisión	Reductor de velocidad de engranes rectos	Sistema de propulsión del vehículos	Und.	
Rueda	Ruedas para el vehículo	Sistema de propulsión del vehículos	4 und.	
Sistema de Mando y Control Remoto	Sistema electrónico incluye transmisor, receptor y tarjeta de control	Sistema de control de movimiento del vehículo	Und.	
Switch	Switch on/off para encendido de tarjeta de mando y control remoto	Sistema de control de movimiento del vehículo	Und.	
Voltímetro	Voltímetro para mediciones de voltaje en varios elementos	Sistema eléctrico y panel de instrumentos	3 und.	
Terminal tipo banana	Terminales para mediciones eléctricas varias	Sistema eléctrico y panel de instrumentos	4 und.	
Acoples plástico	Acoples para unión de los ejes y las ruedas	Ejes delanteros y posteriores	4	

Tabla 4.2 *Continuación...*

Ítem	Características	Aplicación	Cantidad	Observaciones
Switch	Switch on/off para accionamiento del motor	Sistema eléctrico y panel de instrumentos	Und.	El switch es utilizado para permitir medir corriente en el motor haciendo una apertura de circuito
Batería de 9 voltios	Batería común no recargable	Alimentación transmisor de control remoto	Und.	
Bornera	Bornera para 12 conexiones. Capacidad de 5 Amperios	Sistema eléctrico	Und.	

4.2 Recursos humanos.

En la elaboración de este proyecto se aplico al recurso humano dependiendo en que proceso de la construcción del vehículo participo. A continuación observaremos los principales procesos de construcción:

4.2.1 Bastidor del vehículo.

Tabla 4.3. *Diseño y construcción del bastidor del vehículo.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Diseño, corte y ensamble	40 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Diseño, corte y ensamble	40 horas
Total Horas			80 horas

4.2.2 Eje Delantero.

Tabla 4.4. *Diseño, construcción y montaje del eje delantero.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Diseño, ensamble y alineación	2 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Taladrado, diseño y montaje	3 horas
Sr. Manuel Guamán	Mecánica Industrial Maguu	Fresado y Torneado de mordazas. Corte de platinas	4 horas
Total Horas			9 horas

4.2.3 Soporte plástico y ensamble eje posterior (tracción).

Tabla 4.5 *Diseño, construcción y montaje de soporte plástico y ensamble eje posterior (tracción).*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Diseño y corte	3 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Diseño, ensamble y montaje	2 horas
Total Horas			5 horas

4.2.4 Carrocería delantera, posterior y lateral.

Tabla 4.6 *Diseño, construcción y montaje carrocería delantera, posterior y laterales.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Montaje	1.5 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Montaje	1.5 horas
Empleado – Termo formaciones	Terno formaciones	Diseño, corte y construcción	3 horas
Total Horas			6 horas

4.2.5 Sistema de mando y control remoto.

Tabla 4.7 *Adaptación y montaje sistema de mando y control remoto.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Adaptación y montaje	1 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Adaptación y montaje	1 horas
Sr. Humberto Bernis	Laboratorio de Mantenimiento Electrónico – ESPE	Adaptación	5 horas
Total Horas			7 horas

4.2.6 Sistema Fotovoltaico.

Tabla 4.8 *Diseño, ensamblaje y montaje del sistema fotovoltaico.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Diseño, ensamblaje y montaje	8 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Diseño, ensamblaje y montaje	8 horas
Total Horas			16 horas

4.2.7 Sistema eléctrico y panel de instrumentos.

Tabla 4.9 *Diseño, ensamblaje y montaje del sistema eléctrico y panel de instrumentos.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Diseño, ensamblaje y montaje	3 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Diseño, ensamblaje y montaje	3 horas
Total Horas			6 horas

4.2.8 Ensamble general del vehiculo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.

Tabla 4.10 *Ensamble general del vehiculo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Ensamblaje	1.5 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Ensamblaje	1.5 horas
Total Horas			3 horas

4.2.9 Pruebas de sistemas, pruebas del vehiculo, comprobaciones y medidas

Tabla 4.11 *Pruebas de sistemas, pruebas del vehiculo, comprobaciones y medidas.*

Recurso humano	Institución	Proceso	Nº de horas
Sr. Diego Benavides	Estudiante - ESPE	Pruebas, comprobación y medición	50 horas
Sr. Jaime Guillén	Estudiante -. ESPE	Pruebas, comprobación y medición	50 horas
Total Horas			100 horas

En total en todos los procesos de diseño, construcción y montaje del vehiculo experimental se utilizó un total de 232 horas hombre.

4.3 Conformado de materiales y ensamblaje de piezas.

En la elaboración de este proyecto se siguieron varios procesos de manufactura para facilitar los procesos de conformado y ensamblaje de todas




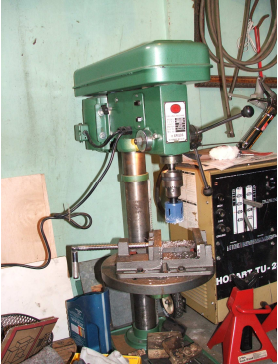

las piezas que constituyen el vehículo. A continuación se indicara las maquinas, herramientas y equipos utilizados en todo el proceso de conformado, construcción y montaje y todos lo procesos realizados para cada una de las partes del vehículo.

4.3.1 Maquinas, herramientas y equipos.

4.3.1.1 Máquinas.

Las máquinas utilizadas en el conformado de materiales y ensamble son las siguientes:

Tabla 4.12 *Máquinas.*

<p style="text-align: center;">Fresadora</p> 	<p style="text-align: center;">Torno</p> 
<p style="text-align: center;">Taladro de mano</p> 	<p style="text-align: center;">Taladro de banco</p> 
<p style="text-align: center;">Esmeril</p> 	

4.3.1.2 Herramientas.

Las herramientas utilizadas en el conformado de materiales y ensamble son las siguientes:

Tabla 4.13. *Herramientas.*

<p style="text-align: center;">Alicate</p> 	<p style="text-align: center;">Brocas y broca de sierra</p> 
<p style="text-align: center;">Cautín</p>  <p style="text-align: center;">Intercambiando la punta del cautín se lo utilizo para soldadura de circuitos eléctricos y para cortar lamina de plástico</p>	<p style="text-align: center;">Cortadora y peladora de cables</p> 
<p style="text-align: center;">Destornilladores</p> 	<p style="text-align: center;">Entenalla</p> 
<p style="text-align: center;">Escuadra</p> 	<p style="text-align: center;">Flexómetro</p> 

Tabla 4.13. Continuación...

Herramientas	
<p>Gafas de protección</p> 	<p>Granete</p> 
<p>Guantes de Cuero</p> 	<p>Limas</p> 
<p>Martillo</p> 	<p>Pie de Rey</p> 
<p>Playo de Presión</p> 	<p>Prensas</p> 
<p>Rayador</p> 	<p>Regla de Ingeniero</p> 
<p>Remachadora</p> 	<p>Sierra Manual</p> 

4.3.1.3 Equipos.

En el desarrollo de la construcción del vehículo como equipos se utilizaron los siguientes equipos:

Tabla 4.14. Equipos.

<p>Multímetro</p> 	<p>Osciloscopio</p> 
<p>Fuente de voltaje variable</p> 	

4.3.2 Conformado y ensamblaje del bastidor del vehículo.

El conformado y ensamblaje del bastidor se lo realizo en tres secciones del mismo, las cuales son las siguientes:

4.3.2.1 Sección N° 1.

– Conformado de material:

El ángulo de aluminio se lo recortó de acuerdo a las dimensiones establecidas en el Anexo B, Plano código: VFT – enbast – 1 - 01. Los procesos realizados se indican en la siguiente tabla:

Tabla 4.15. *Procesos de conformado de la sección superior del bastidor.*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Preparación de los perfiles	Lima, esmeril y escuadra	Se prepara el extremo donde se va a cortar, dejándolo recto
Dimensionado y marcado de los perfiles a cortarse	Flexómetro, Escuadra y Rayador	En el perfil se dimensiona de acuerdo al plano, luego se marca donde se realizara el corta, tomando en cuenta principios de perpendicularidad y paralelismo
Corte de los perfiles	Sierra y Entenalla	Los perfiles se cortan en el lugar indicado, teniendo cuidado de mantener fijo y recto el corte
Terminado de los perfiles	Lima, esmeril y escuadra	Se da un terminado al extremo donde se realizo el corte, eliminado aristas vivas y dejándolo recto

– Ensamblaje de piezas:

La sección superior del bastidor ensamblada se lo puede observar en la figura 4.1a y 4.1b.

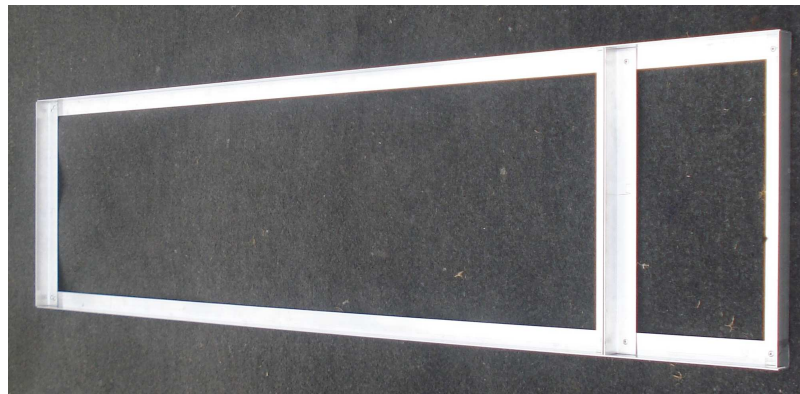
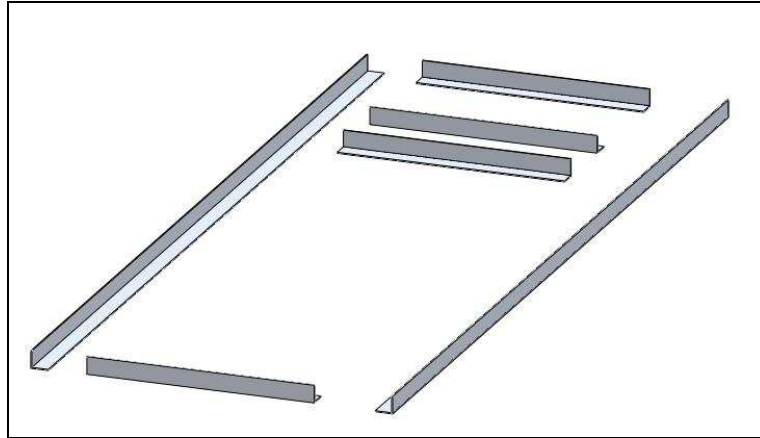


Figura 4.1 a) Vista explosionada de la sección superior del bastidor, b) Foto sección superior bastidor terminada.

Los procesos realizados en el proceso de ensamble de la sección superior del bastidor son los siguientes:

Tabla 4.16. *Procesos de ensamble sección superior del bastidor.*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Fijación de los perfiles	Prensa, escuadra, Flexómetro,	Se fija la geometría de acuerdo a los planos: Anexo B plano código: VFT – enbast – 1 – 01, plano código VFT – enbast – 1 – 02 y en la figura 4.1a
Taladrado de orificios para remaches	Taladro de mano, playo de presión, granete	Se realizan las perforaciones para los remaches.

Tabla 4.16. *Continuación...*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Remachado de la sección	Remachadora	Se colocan los remaches, dos en cada unión entre perfiles. Con un total de 16 remaches en toda la sección

4.3.2.2 Sección N° 2.

– **Conformado de material:**

Para el conformado de la sección dos las dimensiones se indican en el plano código VFT – enbast – 2 – 01. En el conformado de esta sección, se utiliza los procesos de conformado que se realizaron en el literal 4.3.2.1 Tabla 4.15, de la sección uno aumentando los siguientes:

Tabla 4.17. *Procesos de conformado de la sección inferior del bastidor (Más tabla 4.15).*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Medición y corte de lámina de plástico	Escuadra, flexómetro, regla, cautín con punta para corte	Se indica las medidas en la placa plástica para luego cortarla con calor
Esmerilado y terminado en la placa de plástico	Flexómetro, esmeril, lima	Se quita todos los restos del corte y se verifican las medidas en la placa

– **Ensamblaje de piezas:**

La sección inferior del bastidor ensamblada se lo puede observar en la figura 4.2a y 4.2b.

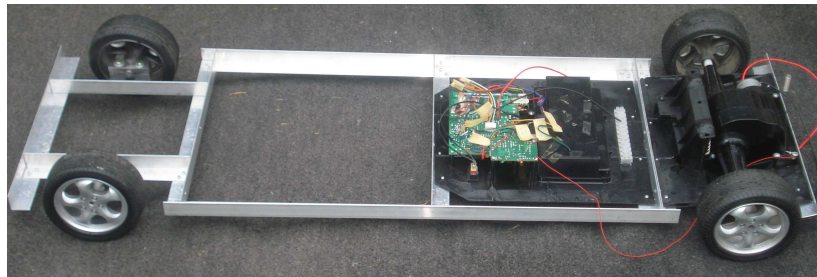
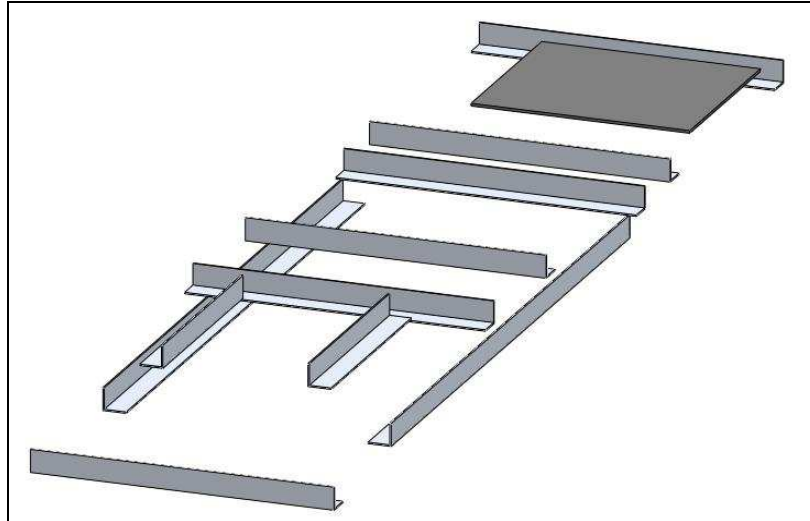


Figura 4.2 a) Vista explosionada de la sección inferior del bastidor, b) Foto sección inferior bastidor terminada

Los procesos realizados en el proceso de ensamble de la sección inferior del bastidor son los siguientes:

Tabla 4.18 *Procesos de ensamble sección inferior del bastidor.*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Fijación de los perfiles y lamina de plástico	Prensa, escuadra, Flexómetro,	Se fija la geometría de acuerdo a los planos: Anexo B plano código: VFT – enbast – 2 – 01, plano código VFT – enbast – 2 – 02 y como se observa en la figura 4.2a
Taladrado de orificios para remaches	Taladro de mano, playo de presión, granete	Se realizan las perforaciones para los remaches.

Tabla 4.18 Continuación...

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Remachado de la sección	Remachadora	Se colocan los remaches, dos en cada unión entre perfiles y en la unión con la placa de plástico 4 remaches en cada lado como se ve en la figura 4.3. Con un total de 32 remaches en la sección

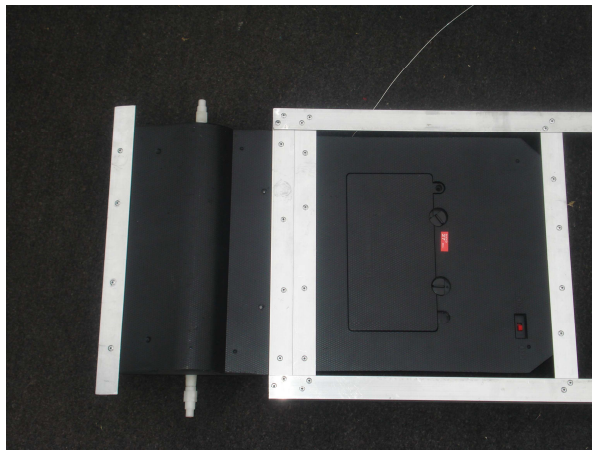


Figura 4.3 Colocación de remaches entre perfil y placa plástica.

4.3.2.3 Sección N° 3.

Esta sección se utiliza para unir las secciones uno y dos.

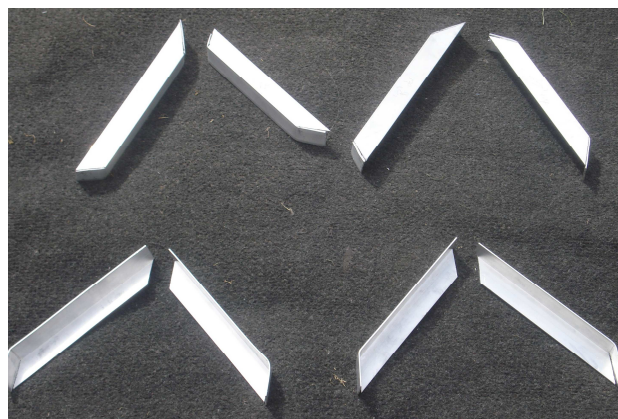


Figura 4.4 Piezas para unir de la sección 3.

– **Conformado de material:**

Para el conformado de la sección dos las dimensiones se indican en los planos código VFT – enbast – 3 – 01, VFT – enbast – 3 – 02, VFT – enbast – 3 – 03, VFT – enbast – 3 – 04, VFT – enbast – 3 – 05, VFT – enbast – 3 – 06. En el conformado de esta sección, se utiliza los procesos de conformado que se realizaron en el literal 4.3.2.1 Tabla 4.15, de la sección uno aumentando los siguientes:

Tabla 4.19. *Procesos de conformado de la sección de unión del bastidor (Más tabla 4.15).*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Medición y corte de destaje	Escuadra, flexómetro, regla, rayador, sierra	Se realizan las marcas para los destajes y para el doblado de los perfiles En la figura 4.4 se puede observar las piezas de la sección
Doblado y terminado	Flexómetro, Entenalla, alicate, lima, esmeril	Se quita todos los restos del corte y se realiza el doblado en los destajes

– **Ensamblaje de piezas:**

La sección de unión del bastidor ensamblada se lo puede observar en la figura 4.5a y 4.5b.

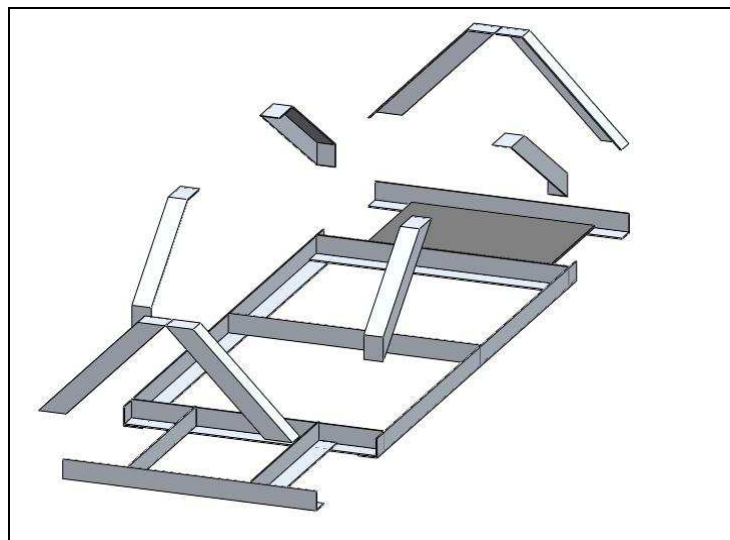


Figura 4.5 a) Vista explosionada de la sección de unión del bastidor con la sección.

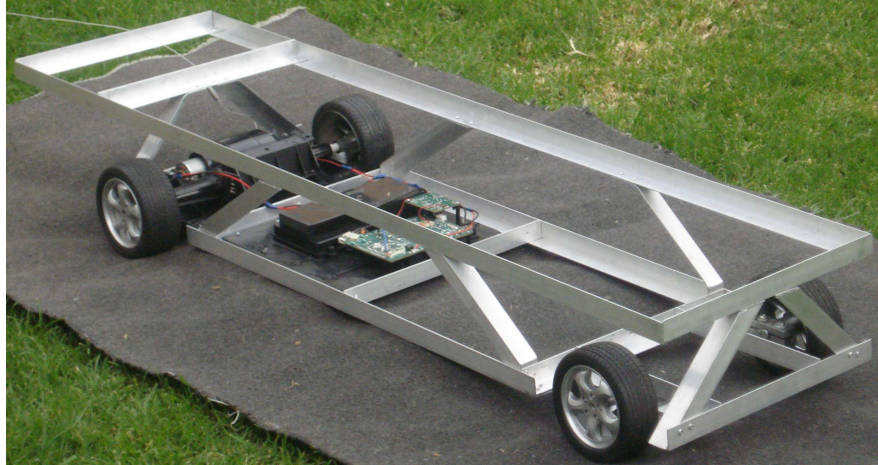


Figura 4.5 b) Foto sección de unión bastidor ensamblada con la sección superior e inferior.

Los procesos realizados en el proceso de ensamble de la sección inferior del bastidor son los siguientes:

Tabla 4.20. *Procesos de ensamble sección de unión del bastidor.*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Fijación de los perfiles con la sección superior e inferior	Prensa, escuadra, Flexómetro,	Se fija la geometría de acuerdo al plano: Anexo B plano código: VFT – enbast – 3 – 07 y a la vista explosionada de la figura 4.5a
Taladrado de orificios para remaches	Taladro de mano, playo de presión, granete	Se realizan las perforaciones para los remaches.
Remachado de la sección	Remachadora	Se colocan los remaches, dos en cada unión entre perfiles de acuerdo a la geometría indicada. Con un total de 32 remaches en toda la sección de unión

4.3.3 Conformado y ensamblaje del eje delantero.

Todo el eje delantero se conforma de dos ejes individuales, el derecho y el izquierdo como se puede observar en la figura 4.6.

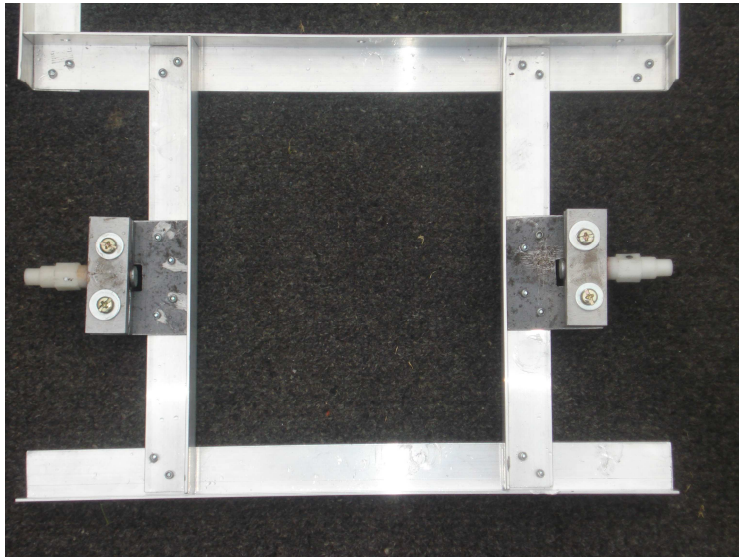


Figura 4.6 Eje delantero.

Cada eje individual esta conformado por ocho piezas que son las siguientes (figura 4.7):

- 1 eje con unión a la rueda por tornillo
- 2 Mordazas (superior e inferior)
- 2 Rodelas cuadradas
- 1 Platina de Soporte.
- 2 Pernos de sujeción (con dos rodela planas, rodela de presión y tuerca)

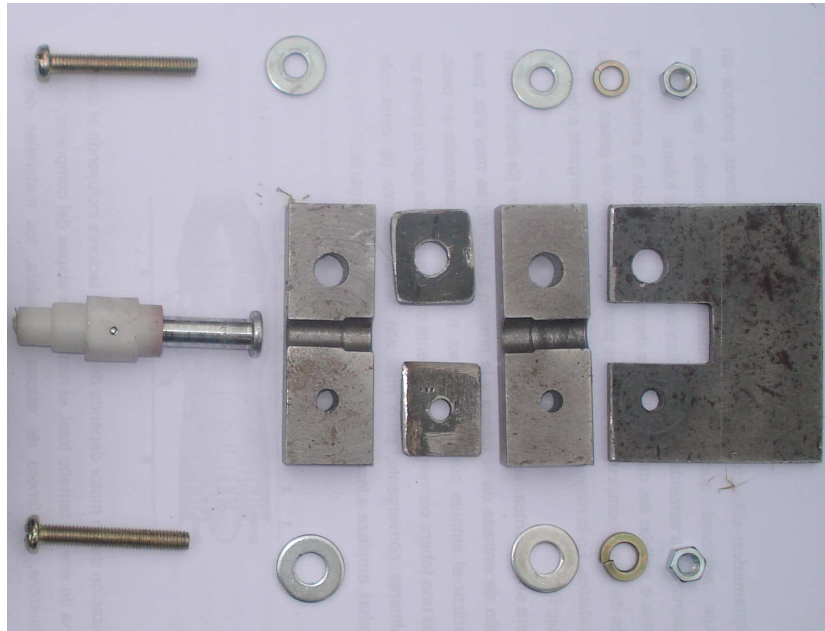


Figura 4.7 Piezas que compone el eje.

Los ejes individuales son idénticos el uno del otro, por lo que las dimensiones y procesos que se realizan son los mismos para cada uno, lo que se diferencia es en el montaje en la sección inferior del bastidor. Hay que tener cuidado en las dimensiones de los orificios como se indican en los planos, ya que en el ensamble se realiza la perforación de los elementos un orificio mas grande para crear un “ojo chino” y dar la posibilidad de alineación.

4.3.3.1 Conformado del eje delantero.

Para el conformado de las piezas que conforma cada uno de los ejes individuales se realizaron los siguientes procesos:

Tabla 4.21. *Procesos de conformado del eje delantero (individual).*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Fabricación de eje	Flexómetro, pie de rey	En el torno se mecaniza el tocho de acero hasta obtener la geometría y medidas que se indica en el Anexo B plano código VFT – eje – 1 – 01, 02

Tabla 4.21. *Continuación...*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Fabricación de mordazas de acero	Escuadra, flexómetro, pie de rey, rayador, sierra, fresadora, lima	Se coloca las medidas en la placa de acero, se procede a cortar y luego al maquinado en la fresadora para obtener la mordaza de acuerdo al Anexo B plano código VFT .- eje - 2 - 01, 02
Fabricación de rodela cuadrada	Flexómetro, Entenalla, sierra, rayador, esmeril y lima	De la platina de acero se corta las rodela de acuerdo a las dimensiones que se dan en el Anexo B plano código VFT - eje - 3 - 01, 02 Y luego se le da un acabado eliminando las aristas vivas
Fabricación de la base de ruedas delanteras	Flexómetro, Entenalla, sierra, rayador, esmeril y lima	De la platina de acero se corta las rodela de acuerdo a las dimensiones que se dan en el Anexo B plano código VFT - eje - 4 - 01, 02. Y luego se le da un acabado eliminando las aristas vivas
Taladrado en mordazas, rodela cuadrada y platina de soporte	Flexómetro, rayador, taladro de banco	Se realizan las perforaciones de acuerdo a los planos de cada una de las piezas mencionadas tomando en cuenta el diámetro de perforación en cada plano

4.3.3.2 Ensamble del eje delantero.

En la figura 4.8a y, 4.8b y 4.8c se puede observar como queda ensamblado los ejes individuales. En los ejes se colocan los acoples plásticos para las uniones con la rueda, este acople va sostenido por un pasador.

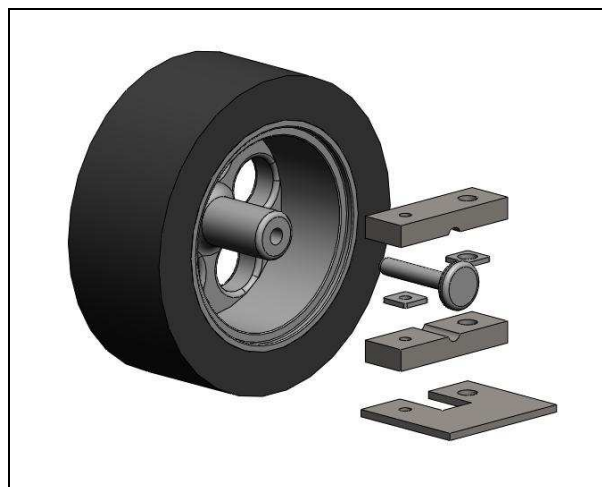
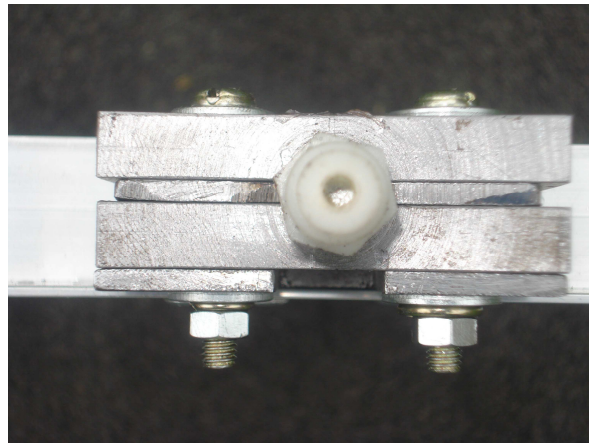


Figura 4.8 a) y b) Vista de los ejes individuales ensamblados, c) vista explosionada del ensamblaje de los ejes individuales.

En el Anexo B plano código VFT – eje – 5 – 01, se observa el montaje en la sección inferior del bastidor y sus respectivas medidas.

4.3.4 Conformado y ensamblaje del soporte plástico y el eje posterior.

El reductor de velocidad (transmisión) fue adquirido ya fabricado, solo se deben unir los acoples plásticos con pasador para la unión con la rueda.

4.3.4.1 Conformado del soporte plástico.

Para el conformado del soporte plástico se realiza el siguiente proceso:

- En la lámina de plástico se establecen las medidas y geometrías que se van a cortar de acuerdo al Anexo B plano código VFT – ensprt – 1 – 01.
- Las herramientas utilizadas para medir y cortar son: Escuadra, flexómetro, regla, cautín con punta para corte, esmeril y lima
- Se corta la placa y se le da un acabado eliminando rebabas por el corte

4.3.4.2 Ensamblaje del soporte plástico y el eje posterior

El ensamblado se puede observar en la figura 4.9, para ensamblar se realiza lo siguiente:

- Se coloca en la placa del soporte inferior del bastidor, pequeños soportes con rosca interna para sujetar la transmisión con tornillos.
- El soporte plástico se fija al soporte inferior del bastidor utilizando remaches, colocados como se ve en la figura 4.9, cuatro en cada apoyo con el perfil.

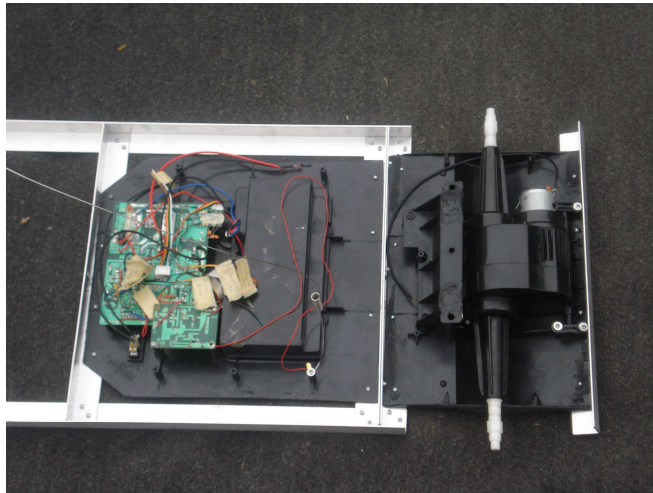


Figura 4.9 Ensamblaje de la placa de soporte y transmisión.

4.3.5 Conformado y ensamblaje de la carrocería delantera, posterior y laterales.

4.3.5.1 Conformado de la carrocería del vehículo.

El conformado de la carrocería delantera y posterior se lo realizó por termoformado para dar forma a la plancha de acrílico. Los procesos que se realizaron son los siguientes:

Tabla 4.22. *Procesos de conformado de la carrocería del vehículo.*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Corte de la plancha de acrílico	Flexómetro, regla, rayador, sierra	Se marca las dimensiones y se corta la plancha de acrílico para obtener las piezas delantera y posterior del vehículo
Termoformado de las piezas	Proceso realizado en un taller especializado	Se dobla las planchas dando una curvatura y forma de acuerdo al Anexo B plano código VFT – encar – 1 – 01, 02 y VFT – encar – 2 – 01, 02

Tabla 4.22. *Continuación...*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Corte de láminas para carrocería lateral	Flexómetro, regla, rayador, sierra	Se corta la lámina de madera balsa de acuerdo a las dimensiones del Anexo B plano código VFT-encar-3-01, 02. de estas se obtienen dos una para cada lateral, luego se pinta en color aluminio

4.3.5.2 Ensamble de la carrocería del vehículo.

En el montaje y ensamble de la carrocería se realizó lo siguiente:

- Se unen las placas obtenidas tanto de la carrocería delantera y trasera con pegamento silicón. Ver figura 4.10.



Figura 4.10 Carrocería delantera y posterior.

- Se montan esas dos en el vehículo las cuales se adhieren al bastidor con remaches y pegamento de poliuretano para una buena fijación. Ver figura 4.11.



Figura 4.11 Ensamble de carrocerías delantera y posterior.

- Se pegan las láminas de balsa con pegamento de silicón a la sección de unión del bastidor de vehículo.
- Se procede a colocar los adhesivos con los logos y nombres del vehículo (Como se observa en la figura 4.12)



Figura 4.12 Montaje de adhesivos en laterales del vehículo – vehículo terminado.

4.3.6 Ensamble del sistema de mando y control remoto.

Todos los elementos que constituyen este sistema se encuentran ya fabricados y solo se procede a su montaje en el vehículo. Lo que se realizó es lo siguiente:

- Se coloca la tarjeta electrónica de mando y la tarjeta de recepción de señal en la placa de soporte que se encuentra en la sección inferior del bastidor. Estas van sujetadas por soportes con rosca interna soldados a la placa plástica. (Ver figura 4.13.). El sistema de transmisión es un control que se encuentra en el mercado. Todos estos elementos electrónicos se adaptaron y se montaron sin una mayor modificación.

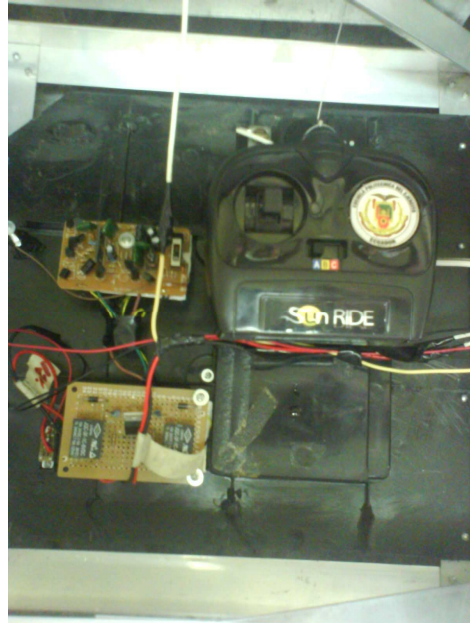


Figura 4.13 Sistema de mando y control de mando del vehículo.

4.3.7 Ensamblaje del sistema fotovoltaico

En este sistema todos los elementos que se utilizan son adquiridos y no se fabrica ninguno. La manera como esta conformado este sistema se lo vio en el capítulo 3 numeral 3.4. Diseño Fotovoltaico. Este sistema se lo monta en el vehículo de la siguiente manera:

- El panel solar se lo coloca en la sección superior del bastidor en cuyo interior cabe el panel exactamente. Como se ve en la figura 4.14.



Figura 4.14 Posición del panel fotovoltaico

- El controlador de carga y descarga se lo coloca en el panel de instrumentos que se encuentra en la parte posterior de la sección superior del bastidor. (Ver figura 4.15 – El controlador es el instrumento de color verde)



Figura 4.15 Posición del controlador de carga y descarga.

- Y por ultimo se coloca la batería para almacenamiento en el compartimento que se encuentra en el soporte plástico de la sección inferior del bastidor. Este compartimento permite la remoción de la batería por la parte superior e inferior de dicho soporte. Ver figura 4.16a y b

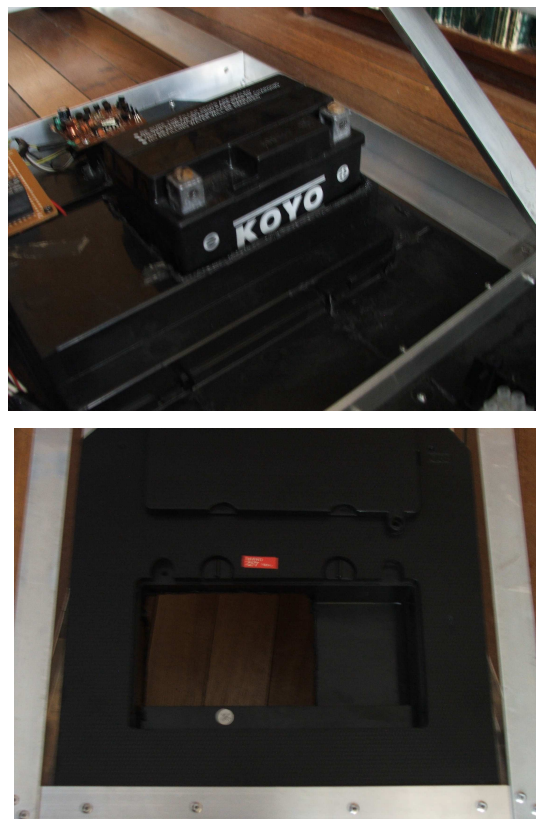


Figura 4.16 a) Compartimento de batería, vista superior, b) Compartimento de batería, vista inferior.

4.3.8 Conformado y ensamble del panel de instrumentos y sistema eléctrico.

4.3.8.1 Conformado del panel de instrumentos.

Para el conformado del panel de instrumento se realizo lo siguiente:

Tabla 4.23. *Procesos de conformado del panel de instrumentos.*

Proceso	Maquina, herramienta o equipo utilizado	Descripción del proceso
Corte de la plancha de acrílico	Flexómetro, regla, rayador, sierra, lima	Se marca las dimensiones y se corta la plancha de acrílico para obtener la placa que servirá como base de acuerdo a las dimensiones del Anexo B plano código VFT – enpins – 1 – 01, 02. Se liman las rebabas para dar un acabado a los filos
Perforado de los orificios para los instrumentos en la placa	Regla, flexómetro, rayador, granete, taladro de mano, taladro de banco, brocas y broca de sierra, lima	En la placa se marca donde se realizaran las perforaciones de acuerdo al Anexo B plano código VFT – enpins – 1 – 01, 02 y a la figura 4.17. Se taladra usando el equipo más adecuado y con precisión. Se eliminan las rebabas de la perforación



Figura 4.17 Perforación de la placa de acrílico para el panel de instrumentos.

4.3.8.2 Ensamble del panel de instrumentos y sistema eléctrico.

En el ensamble del panel de instrumentos se realizó lo siguiente:

- Se colocan y se fijan con tuercas a cada uno de los instrumentos como se observa en la fotografía 4.18.

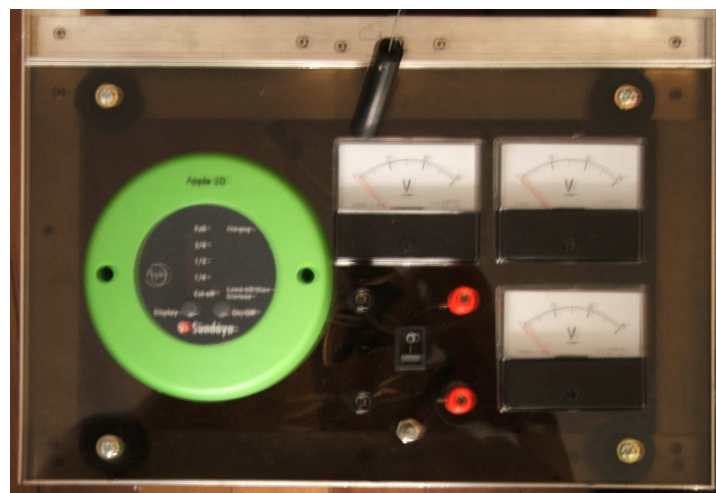


Figura 4.18 Panel de Instrumentos.

- Se fija la placa en la parte posterior de la sección superior del bastidor por medio de pernos M4 x 35 mm. de largo, utilizando también las cuatro alzas de caucho (Figura 4,18 y 4,19) para que la placa quede en el borde superior del perfil de aluminio y se pueda realizar las conexiones eléctricas

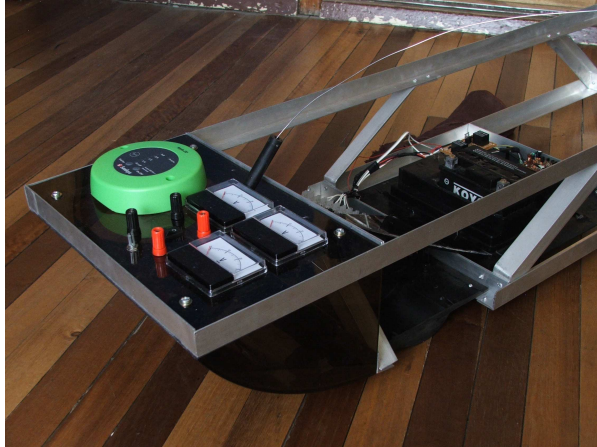


Figura 4.19 Posición del panel de Instrumentos.

- Se realizan todas las conexiones eléctricas indicadas en el numeral 3.5 - Diseño Eléctrico. Se colocan terminales y se sueldan los cables a los elementos utilizando peladora de cables, cautín eléctrico y alicata.

4.3.9 Ensamblaje general del vehículo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.

Para dar como concluido el ensamble y construcción del vehículo como se lo observa en la figura 4.12. Se unen todos los sistemas además de la colocación de todos los accesorios. Los últimos procesos realizados son los siguientes:

- Se realizan las conexiones del sistema eléctrico, el panel de instrumentos y el sistema de propulsión con el sistema fotovoltaico por medio de la bornera en la cual se concentran todas las conexiones. (Ver figura 4.19)

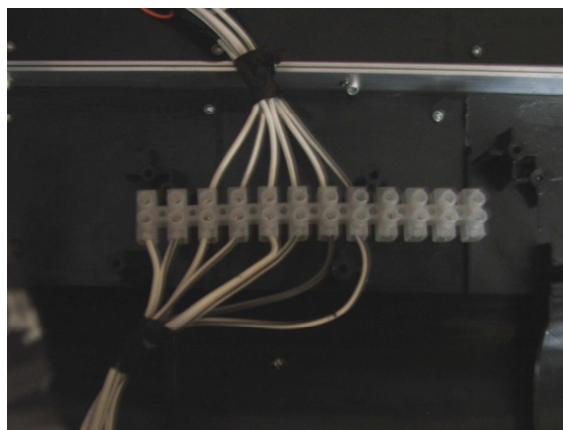


Figura 4.20 Bornera de conexiones

- Se colocan las ruedas en cada uno de los ejes.
- Se instalan en la placa de soporte del sistema de mando, las luces indicadoras y el switch de la tarjeta de mando.
- Se revisan todos los instrumentos de medición y se los encera.
- Se reajusta toda unión con pernos y tornillos y se alista el vehículo para las correspondientes pruebas.
- Se fija el panel con binchas a la sección superior del bastidor.
- Se verifican las instalaciones con un multímetro y se prueba el correcto funcionamiento de todos los sistemas.

4.4 Documentación técnica.

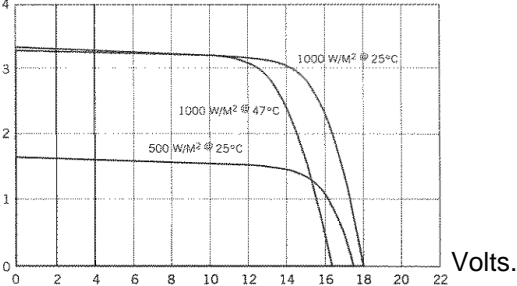
4.4.1 Panel solar fotovoltaico.

Las características de los paneles solares fotovoltaicos son estándares de acuerdo al modelo y se fabrican bajo algunas normas como la ASTM E 892, la cual es la norma que se aplica al panel que se posee. De este se obtiene la fuente de energía para el vehículo

Tabla 4.24. *Especificaciones panel solar fotovoltaico.*

Item	Característica	Observación
Marca	ARCO Solar Inc.	
Modelo	M65	
Procedencia	Estados Unidos	
Nº de Celdas	30	En serie
Tamaño de Celda	102,99 mm.	
Peso	4.8 Kg.	
Orificios de montaje de celda a través de la distancia del panel	1054 mm.	

Tabla 4.24. *Continuación...*

Ítem	Característica	Observación
Provisión de cable	Dos salidas de cable calibre 8 a 14 AWG	
Máxima Potencia	43 Wp. 41.7 W	En las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 Watts/m² ▪ 25°C En las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 Watts/m² ▪ 47°C
Voltaje en circuito abierto (Vca)	20 V (DC)	En las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 Watts/m² ▪ 0°C
Corriente de corto circuito (Icc)	3,68 A	En las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 Watts/m² ▪ 47°C
Voltaje de operación	12.8 V (DC)	En las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 Watts/m² ▪ 47°C
Corriente de operación	3.26 A	En las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 Watts/m² ▪ 47°C
Sistema de máxima tensión en circuito abierto	600 V	
Sistema de By pass de diodos	Si	
Curvas Intensidad – Voltaje (operación)	Amp.  Volts. <p style="text-align: center;">Figura 4.21 Curva intensidad voltaje del panel.</p>	

4.4.2 Controlador de carga y descarga.

El instrumento nos permite el control de la carga del panel solar fotovoltaico. Siempre enviara un voltaje de 12 voltios ya sea de la batería o del panel, depende de cual dispositivo avance a dar ese voltaje. Si el voltaje del panel es alto este controlador carga la batería y alimenta a la salida en este caso el sistema de propulsión.

Tabla 4.25. Especificaciones técnicas de controlador de carga y descarga.

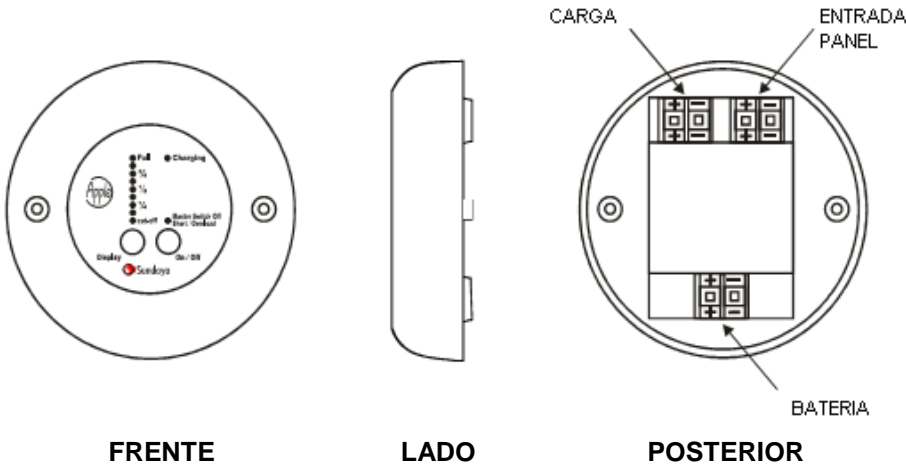
Ítem	Característica	Observación
Marca	Sundaya	
Modelo	Apple 20	
Procedencia	India	
Especificaciones Mecánicas		
Material de envoltura	Plástico ABS	
Color	Verde	
Forma	Redonda	
Tamaño	120mm x 40mm	
Terminales	8 mm.	
 <p style="text-align: center;">FRENTE LADO POSTERIOR</p>		
Figura 4.22 Esquema del controlador de carga y descarga.		
Especificaciones Eléctricas		
Voltaje nominal de operación	12V (DC)	
Auto consumo	4 mA	
Corriente de operación	20 Amp -0% +25%	

Tabla 4.25. *Continuación...*

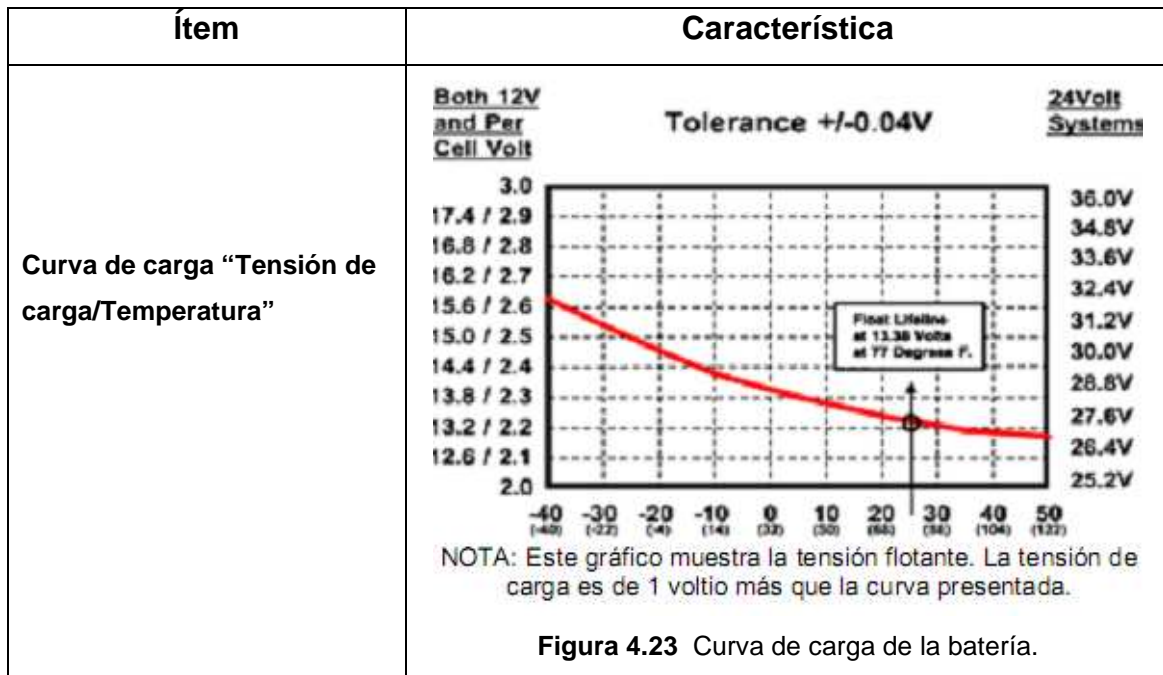
Ítem	Característica	Observación
Pitido de advertencia de bajo nivel de voltaje	11.70 V (DC)	Se enciende en ese voltaje
Baja Tensión de desconexión	11.50V (DC) \pm 0.10V (con la compensación de corriente de descarga -0,0)	
Reconexión al nivel de carga	12.6 V (DC)	
Aumentar el nivel de carga @ 25/C	14.5V (DC) (con compensación de temperatura -0.02V//C)	
PWM de nivel de carga de fluctuación:	14.10V (DC) (con compensación de temperatura-0.02V//C)	

4.4.3 Batería recargable.

El dispositivo nos permite almacenar la carga producida por el panel solar fotovoltaico.

Tabla 4.26. *Especificaciones técnicas de la batería recargable.*

Ítem	Característica	Observación
Marca	Koyo	
Modelo	YT4L - BS	
Tipo	Carga seca de libre mantenimiento	
Procedencia	Taiwán	
Capacidad Voltaje	12 V (DC)	
Capacidad Corriente	3 A	
Largo	114 mm.	
Ancho	71 mm.	
Altitud	106 mm.	
Forma de ensamblaje		
Tipo de Borne	A	
Peso de la batería sin electrolito	1.1 Kg.	
Peso del electrolito	0.3 Kg.	
Capacidad de descarga	3Ah	



4.4.4 Sistema de mando y control remoto.

Este sistema nos controla la señal para el movimiento de vehículos. Este por medio de un control remoto nos da la posibilidad de dar un movimiento para adelante y atrás del vehículo. Las características técnicas son las siguientes:

Tabla 4.27. Especificaciones técnicas del sistema del control remoto.

Ítem	Característica	Observación
Marca	Nikko	
Modelo	G-CD-12	
Tipo	Sistema de doble mando (adelante, atrás)	
Procedencia	China	
Frecuencia de Señal (Banda)	49 Mhz.	
Voltaje Control (Emisor)	9 V (DC) - batería	
Voltaje Tarjeta de Control (Receptor)*	5 - 6 V (DC)	
Voltaje pulsos que emite*	5 - 6 V (DC)	

Tabla 4.28. Especificaciones técnicas del sistema de mando.

Ítem	Característica	Observación
Marca	N**	Fabricado por nosotros
Modelo	N	
Tipo	Sistema de doble relé de funcionamiento por pulsos	
Procedencia	Ecuador	
Voltaje de operación	5 - 6 V (DC)*	
Voltaje que controla	12 V (DC) adelante y - 12 V (DC) atrás*	

* Fuente de voltaje sistema fotovoltaico

** N: No posee este ítem

Los dos sistemas anteriores están interconectados y poseen un switch de encendido on/off y luz indicadora tipo LED.

4.4.5 Motor eléctrico.

Este es el encargado de brindar la propulsión al vehículo, sus características técnicas son las siguientes:

Tabla 4.29. Especificaciones técnicas del motor.

Ítem	Característica	Observación
Marca	Genérico	
Modelo	MT - 8500	
Procedencia	China	
Voltaje de operación	12 a 56 V	
Potencia de arranque	30 W	
Potencia nominal	8 W	
Corriente de arranque	3 A	
Corriente nominal	0.7 A	
Rpm	8500	

4.4.6 Planos.

Todos los planos sobre el montaje y la construcción del modelo del vehículo con energía solar se encuentran en el Anexo B. La codificación de cada uno de los planos es la siguiente:

Tabla 4.30. Planos del conformado y ensamblaje del vehículo.

Nº Plano	Código	Contiene	Aplicación
1	VFT – enbast – 1 - 01	Vistas sección uno	Sección uno del bastidor
2	VFT – enbast – 1 - 02	Isometría sección uno	Sección uno del bastidor
3	VFT – enbast – 2 - 01	Vistas sección dos	Sección dos del bastidor
4	VFT – enbast – 2 - 02	Isometría sección dos	Sección dos del bastidor
5	VFT – enbast – 3 - 01	Vistas de brazo A izquierdo	Sección unión del bastidor
6	VFT – enbast – 3 - 02	Vistas de brazo A derecho	Sección unión del bastidor
7	VFT – enbast – 3 - 03	Vistas de brazo B izquierdo	Sección unión del bastidor
8	VFT – enbast – 3 - 04	Vistas de brazo B derecho	Sección unión del bastidor
9	VFT – enbast – 3 - 05	Vistas de brazo C tipo 1	Sección unión del bastidor
10	VFT – enbast – 3 - 06	Vistas de brazo C tipo 2	Sección unión del bastidor
11	VFT – enbast – 3 - 07	Vistas de estructura	Sección unión del bastidor
12	VFT – eje – 1 - 01	Vistas de eje delantero	Eje delantero
13	VFT – eje – 1 - 02	Isometría eje delantero	Eje delantero
14	VFT – eje – 2 - 01	Vistas de mordaza rueda	Eje delantero
15	VFT – eje – 2 - 02	Isometría de mordaza rueda	Eje delantero

Tabla 4.30. *Continuación...*

Nº Plano	Código	Contiene	Aplicación
16	VFT – eje – 3 – 01	Vistas e isometría de alza tipo 1	Eje delantero
17	VFT – eje – 3 – 02	Vistas e isometría de alza tipo 2	Eje delantero
18	VFT – eje – 4 – 01	Vistas de base de ruedas delanteras	Eje delantero
19	VFT – eje – 4 – 02	Isometría de base de ruedas delanteras	Eje delantero
20	VFT – eje – 5 – 01	Ubicación de base de ruedas delanteras	Eje delantero
21	VFT – ensprt – 1 - 01	Vistas de soporte de batería	Soporte plástico
22	VFT – encar – 1 – 01	Vistas de carrocería delantera	Carrocería
23	VFT – encar – 1 – 02	Isometría de carrocería delantera	Carrocería
24	VFT – encar – 2 – 01	Vistas de carrocería posterior	Carrocería
25	VFT – encar – 2 – 02	Isometría de carrocería posterior	Carrocería
26	VFT – encar – 3 – 01	Vistas de carrocería lateral	Carrocería
27	VFT – encar – 3 – 02	Isometría de carrocería lateral	Carrocería
28	VFT – enpins – 1 – 01	Vistas de panel de instrumentos	Panel de Instrumentos
29	VFT – enpins – 1 – 02	Isometría de panel de instrumentos	Panel de Instrumentos

4.5 Organigrama de procesos.

El Organigrama de procesos se lo observa en el Anexo E. Aquí se indica los procesos de conformado, ensamblaje y evaluación de dichos procesos.

4.6 Criterios de seguridad Industrial.

En este capítulo referente a la construcción y el montaje del modelo de un vehículo con energía fotovoltaica se deben tener mucho en cuenta diferentes criterios de seguridad industrial. Ya que en procesos como el conformado y ensamble de las diferentes piezas que conforman el vehículo se utilizan máquinas, herramientas y procedimientos en los cuales se tiene un riesgo de sufrir laceraciones o accidentes industriales, los cuales pueden ser leves o graves. Se entiende por accidente de trabajo, a toda lesión corporal que sufre el trabajador con ocasión o consecuencia del trabajo que ejecuta. Comprende tanto las lesiones que se producen en el centro de trabajo como las producidas en el trayecto habitual entre este y el domicilio del trabajador.

4.6.1 Seguridad de trabajo.

Es el conjunto de técnicas y procedimientos que tienen por objeto eliminar o disminuir el riesgo de que se produzcan accidentes de trabajo. El término de seguridad en el trabajo se utiliza como sinónimo de prevención. Una seguridad absoluta sería la ausencia de riesgo.

4.6.2 Técnicas de seguridad.

Las series de métodos sistemas y módulos utilizados para la lucha contra los accidentes de trabajo constituyen la base de las técnicas de seguridad. Considerando el grado de aplicación, se pueden clasificar en:

– Técnicas generales.

Se caracterizan por ser aplicables a cualquier tipo de actividad. En nuestro proyecto serían básicamente las más aplicables debido a que los procesos no exigen mucho riesgo. Entre estas técnicas está el uso de ropa de trabajo adecuada, el uso de implementos de seguridad como gafas de protección y guantes (ver figura 4.20). El uso de casco no es muy indispensable en este caso debido a que no existe el riesgo de caída de materiales o cualquier objeto.



Figura 4.24 Implementos de seguridad.

– **Técnicas especiales.**

Limitan su validez a riesgos concretos (eléctricos, incendios, químicos, etc.).

Según sobre que momento actuemos se clasifican:

– **Técnicas prevencionistas.**

Son aquellas que van dirigidas a eliminar los factores de riesgos o controlar su evolución. Por ejemplo acomodar un lugar adecuado de trabajo, conseguir todos los implementos de seguridad adecuados, tener un orden adecuado.

– **Proteccionistas.**

Van dirigidas a conseguir disminuir o controlar las consecuencias de un accidente de trabajo. Por ejemplo el uso de implementos de seguridad adecuados en la operación (Guantes, casco, gafas, overol, etc.)

Atendiendo según sus objetivos se pueden agrupar:

– **Analíticos.**

Su objetivo es la detención de riesgos y la investigación de las causas que permitiría su actuación en accidente.

– **Operativos.**

Una vez identificados y valorados los factores de riesgo deben ser eliminados para poder prevenir los accidentes.

4.6.3 Etapas de la actuación preventiva.

Toda la actuación de seguridad dentro de un taller deberá cubrir las siguientes etapas:

- Detención de riesgo.
- Evaluación de riesgo.
- Control de riesgo.

Mediante esta técnica se consigue la identificación de las condiciones de trabajo que puedan derivar en un accidente de trabajo. La efectividad de la detección de riesgo está en condicionada por:

- Formación técnica y experiencia preventiva de quien la realiza.
- Conocimiento del proceso productivo a analizar.
- Proyecto, normas y reglamentos existentes del progreso y puesto a realizar.

4.6.4 Evaluación de los riesgos.

Al ser los recursos de un taller de manufactura limitados, se hace imprescindible detectar los riesgos más urgentes de corregir. Esto se consigue en función del mayor grado de peligrosidad, permitiéndonos establecer un plan de actuación.

Se define como el proceso de valoración de los daños que podría valorarse como consecuencia del riesgo que entraña para la salud y seguridad de los trabajadores la posibilidad de que se verifique un determinado peligro en el lugar de trabajo.

La finalidad de llevar a cabo la evaluación de riesgo es permitir a los operadores tomar las medidas adecuadas para garantizar la seguridad y la protección de la salud.

4.6.5 Procesos de seguridad industrial aplicados al proyecto

Los principales procesos y criterios utilizados en este proyecto son los siguientes:

- Primeramente se busco el lugar mas adecuado para la fabricación y que pose todas las facilidades.
- Luego se determino que herramientas y maquinas se van a utilizar para determinar el equipo de seguridad mas ademado.
- Los implementos que se utilizaron para la seguridad fueron: guantes de cuero, gafas de protección, uso de overol, zapatos para uso industrial y orejeras.
- Se mantuvo un proceso adecuado de construcción ya indicado en el numeral 4.3 de este capítulo además de orden y limpieza en el área.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS DE OPERACIÓN

5.1. Consideraciones para las pruebas.

Desde el principio del proyecto se ha considerado el comparar el rendimiento del vehículo solar con el de un vehículo impulsado por métodos convencionales, por lo que se debían obtener datos de la aceleración y la velocidad a la cual puede circular el vehículo en plano, bajo condiciones de carga o al ascender una pendiente. Por otra parte, es necesario también relacionar esta información con las variables propias de la energía solar, como son: irradiación y temperaturas (tanto de ambiente como de la superficie del panel), lo que a su vez permite determinar las características de funcionamiento real del sistema.

La solución planteada para obtener los datos de velocidad y aceleración es la de medir tiempos en intervalos de recorrido conocidos partiendo desde la inmovilidad. Para esto se utilizó una pista de concreto con señalización cada 5 metros de recorrido, en la cual además consta el punto de partida, se cronometran los intervalos de tiempo cada 5 metros de recorrido.

Debido a que un motor eléctrico entrega su máximo torque desde el primer instante en que comienza su funcionamiento y a que los intervalos de tiempo después de los 5 primeros metros hasta el final del recorrido no presentan grandes diferencias se estableció que la aceleración del vehículo se produce durante este primer intervalo de 5 metros, y por esta razón para las pruebas tanto de carga como de ascenso de pendientes, se realizan mediciones de tiempo en los intervalos de recorrido de 0 a 5 metros y de 5 a 15 metros, lo que es suficiente para determinar la aceleración y la velocidad media del vehículo.

El valor de la velocidad media del vehículo además nos servirá para calcular la potencia mecánica transmitida al suelo por parte de las ruedas, como se verá en la sección 5.5.

5.2 Hojas de prueba.

Las hojas de prueba deben ser realizadas de forma tal que contengan la información suficiente como para obtener los resultados pretendidos. En este caso esa información tiene que ver con las variables que afectan el comportamiento del panel, y por ende el desempeño del vehículo.

Existen 5 parámetros relacionados con la energía solar que son imprescindibles dentro de la hoja de pruebas, estos son: la irradiación [W/m^2], la temperatura superficial del panel [$^{\circ}\text{C}$], la temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$], el voltaje producido por el panel [V] y la hora a la cual se realiza la medición. Adicionalmente a estos parámetros, como ya se indicó anteriormente, se debe medir los tiempos del intervalo de 0 a 5 metros y del intervalo de 5 a 15 metros con el fin de obtener la velocidad, la aceleración y la potencia mecánica. Estos datos serán comunes en todas las hojas de datos sin importar la condición de prueba, ya que como veremos a continuación, para pendiente y carga se consideran parámetros adicionales pero no se excluyen los antes mencionados.

5.2.1 Hoja de pruebas para recorrido en plano y sin peso.

5.2.1.1 Hoja 1.

Esta hoja de pruebas fue utilizada para encontrar la distancia en la cual se produce la aceleración del vehículo, así como también para determinar su velocidad máxima. Consta de medición de intervalos de tiempo cada 5 metros desde el arranque en 0 metros hasta 25 metros.

Tabla 5.1 Hoja de pruebas para determinar velocidades máximas – mínimas y aceleraciones.

Ord	Hora	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Vp [V]	Tiempos [s] en intervalos de:				
						0 - 5 [m]	0 - 10 [m]	0 - 15 [m]	0 - 20 [m]	0 - 25 [m]
1										
2										
3										
:										
:										
n										

5.2.1.2 Hoja 2.

Para esta hoja de datos se emplearán únicamente los datos característicos de la energía solar y los intervalos de tiempo, de la siguiente manera:

Tabla 5.2 Hoja de pruebas para determinar la velocidad media y la aceleración en el arranque sobre superficies planas y sin carga.

Ord	Hora	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Vp [V]	Tiempos [s] en intervalos de:	
						0 - 5 [m]	0 - 15 [m]
1							
2							
3							
:							
:							
:							
n							

5.2.2 Hoja de pruebas para recorrido en plano y con peso.

Debido a que con el incremento de peso existía la sospecha de que el periodo de aceleración podía superar los primeros 5 metros se utilizó una hoja de datos similar a la hoja 5.2.1.1 con la diferencia que se incluyó la información del peso adicional colocado al vehículo.

Tabla 5.3 Hoja de pruebas para recorrido plano y con peso.

Ord.	Hora	Radiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Vp [V]	Masa [Kg]	Tiempos [s] en intervalos de:				
							0 - 5 [m]	0 - 10 [m]	0 - 15 [m]	0 - 20 [m]	0 - 25 [m]
1											
2											
3											
:											
:											
:											
10											

5.2.3 Hoja de pruebas para ascenso de pendientes.

Puesto que se demostró que el aún con incrementos de peso (que es un efecto similar al que produce el ascenso por una pendiente) la aceleración se produce de igual forma en los primeros 5 metros de recorrido, se utilizó la misma hoja de datos para recorrido sobre superficie plana y sin peso 5.1.1.2, añadiendo el valor de la pendiente analizada.

Tabla 5.4 Hoja de pruebas para ascenso de pendientes.

Ord	Hora	Pendiente [°]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Vp [V]	Tiempos [s] en intervalos de:	
							0 - 5 [m]	0 - 15 [m]
1								
2								
3								
:								
:								
:								
n								

5.3 Parámetros de operación.

Tabla 5.5 *Parámetros de operación.*

Parámetros	Descripción	Observaciones
Carga de batería	Revisar el voltaje de la batería procurando que siempre se mantenga en valores superiores a 12V, ya que si desciende de este valor el vehículo no operará adecuadamente.	Si el valor de carga es muy bajo se debe cargar la batería por lo menos 1 hora con buena Irradiación. Para toda condición de prueba y especialmente cuando existe poca Irradiación.
Regulador de corriente	Verificar que este se encuentre en posición de funcionamiento (LED On/Off apagado cuando se acciona el botón Display del regulador).	Si el LED del regulador no se apaga es posible que la carga de la batería sea demasiado baja. En este caso se debe cargar la batería antes de poder operar el vehículo.
Interruptor de medición de corriente:	Para que el vehículo pueda operar este interruptor debe situarse en la posición "0". El vehículo operará con el interruptor en la posición "1" siempre y cuando tenga un amperímetro conectado en las terminales de medición.	La medición de corriente se recomienda realizarla con el vehículo suspendido.
Interruptor de sistema de mando (parte inferior)	Colocar el interruptor ubicado en la parte inferior del vehículo en la posición ON para operarlo (el LED de color rojo se enciende para constatar la alimentación de energía al sistema de mando).	El LED de color rojo que se encuentra en la parte inferior del vehículo se enciende cuando para mostrar que el sistema de mando está alimentado.
Irradiación solar	Para que el vehículo opere sin problemas y que además se mantenga el estado óptimo de la batería se recomienda utilizarlo con una irradiación mínima de 600 W/m ² .	Para ascenso de pendientes máximas (2 – 3°) y carga de pesos altos (3 – 4 Kg) será posible operar con valores de irradiación superiores a 1200 W/m ²
Sistema de radio control	El alcance promedio del control remoto es de 5 metros por lo que se recomienda mantener distancias menores a este valor entre el operador y el vehículo.	Tener en cuenta el estado de la batería del control remoto, ya que esto influye de sobre manera en el comportamiento del mismo.

Tabla 5.5 Continuación...

Parámetros	Descripción	Observaciones
Apagado del sistema	Desconectar la alimentación del sistema de mando colocando el interruptor de la parte inferior del vehículo en la posición OFF (LED de color rojo apagado), y si no se va a utilizar el vehículo por un periodo largo de tiempo se debe apagar el regulador de corriente pulsando el botón On/Off ubicado sobre él hasta que al pulsar simultáneamente dicho botón con el botón Display, el indicador LED ubicado sobre este mismo botón se encienda.	Si el periodo de inutilización del vehículo va a ser superior a una semana se recomienda desconectar uno de los bornes de la batería para prevenir que esta se descargue en exceso.

5.4 Obtención de datos.

5.4.1 Datos de aceleración y velocidad máxima.

Pruebas realizadas el día viernes 3 de Abril de 2009, cuyo propósito era el de identificar el intervalo de recorrido en el cual se produce aceleración y determinar su valor. Además se encontraron las velocidades para cada intervalo del recorrido con el fin de establecer los picos máximos y mínimos con respecto a las condiciones de irradiación y temperaturas.

Con esta información, debido a que se cuenta con 17 valores de medición durante todo el día lo que genera un rango amplio de valores de irradiación y temperaturas, fue posible determinar la velocidad y aceleración máxima que es capaz de alcanzar el vehículo solar.

Tabla 5.6 Datos para cálculo de aceleración y velocidad máxima-mínima.

Ord.	Hora	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Vp [V]	Tiempos [s] en intervalos de:				
						0 - 5 [m]	0 - 10 [m]	0 - 15 [m]	0 - 20 [m]	0 - 25 [m]
1	8:00	700	43,1	20,5	15,5	2,44	4,08	5,81	7,34	8,97
2	8:30	715	41,8	21,2	15,5	2,55	4,28	6,01	7,54	9,28
3	9:00	787	53,0	21,9	15,3	2,44	4,18	5,81	7,34	8,97
4	9:30	935	49,5	24,9	15,5	2,75	4,48	6,12	7,75	9,28
5	10:00	890	25,5	24,0	15,6	2,55	4,28	6,01	7,44	9,07
6	10:30	960	30,5	24,8	15,7	2,55	4,18	5,91	7,54	9,07
7	11:00	950	27,5	26,3	15,5	2,44	4,18	5,81	7,34	8,97
8	11:30	880	26,5	25,6	15,8	2,44	4,08	5,81	7,44	8,87
9	12:00	1095	56,0	26,6	15,4	1,93	3,77	5,50	7,03	8,77
10	12:30	650	25,0	26,5	16,0	2,60	4,28	6,05	7,85	9,30
11	13:00	390	39,7	28,7	15,6	2,95	4,69	6,42	8,05	9,69
12	13:30	980	35,5	29,1	16,1	2,44	4,08	5,71	7,34	8,87
13	14:00	268	29,2	27,2	16,1	3,06	4,08	5,71	7,34	8,87
14	14:30	222	23,6	25,4	15,8	3,06	4,79	6,52	8,26	9,79
15	15:00	370	32,5	26,2	16,4	2,75	4,79	6,52	8,16	9,69
16	15:30	129	27,5	23,6	15,4	3,36	4,48	6,32	7,95	9,58
17	16:00	68	21,0	21,8	14,5	3,16	5,20	6,93	8,46	10,09
Promedio		646	34,5	25,0	15,6					

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

5.4.2 Datos para cálculo de potencia (Radiaciones altas).

Con estos datos medidos el día martes 14 de abril de 2009, se obtuvo los valores de la potencia mecánica transmitida por las ruedas al suelo. Se midieron en superficie de concreto plana y sin carga externa, se tomaron tiempos en un intervalo de 10 metros, recorrido entre 5 y 15 metros, para calcular la velocidad, los 5 primeros metros no fueron considerados ya que no se requiere valores de aceleración para esta prueba.

Se procuró realizar la prueba únicamente con valores altos de irradiación, que se encuentren por encima de los 1000 W/m^2 , para así poder obtener la máxima potencia y torque posibles

A continuación se presentan los valores obtenidos durante la mencionada prueba:

Tabla 5.7 Datos para cálculo de la potencia.

Ord.	Hora	Vp [V]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Tiempo [s]
1	12:00	15	950	27,5	26,3	3,16
2	12:10	16	960	30,5	24,8	3,16
3	12:20	16	1145	60,3	27,0	3,85
4	12:30	16	1140	61,0	28,1	3,74
5	12:40	16	1139	51,0	28,6	3,96
6	12:50	15	1122	45,6	29,0	3,63
7	13:00	15	1110	42,0	28,8	3,74
8	13:10	15	1119	44,3	29,3	3,85
9	13:20	16	1095	56,0	26,6	3,27
10	13:30	16	980	35,5	29,1	3,16
	Promedio	15,6	1076	45,4	27,8	3,55

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

5.4.3 Datos para cálculo de velocidad y aceleración llevando carga.

Estos datos medidos el día miércoles 15 de abril de 2009, sirvieron para calcular las variaciones de la velocidad media y de la aceleración producidas por el incremento en el peso de lastre sobre el vehículo, rodando sobre una superficie de concreto carente de pendiente.

Tabla 5.8 Datos para el cálculo de la aceleración y la velocidad llevando carga.

Ord.	Masa [Kg]	Hora	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Vp [V]	Tiempos [s] en intervalos de:				
							0 - 5 [m]	0 - 10 [m]	0 - 15 [m]	0 - 20 [m]	0 - 25 [m]
1	0,20	11:30	1175	54,7	26,4	16	2,44	4,18	5,91	7,54	9,07
2	0,40	11:40	1140	61,0	28,1	16	2,55	4,18	5,91	7,65	9,38
3	0,60	11:50	1560	56,1	28,1	16	2,44	4,08	5,71	7,34	8,97
4	0,80	12:00	1130	56,0	29,1	16	2,75	4,59	6,32	8,05	9,79
5	1,00	12:10	1105	43,5	28,7	15	2,85	4,69	6,52	8,16	9,99
6	1,20	12:20	1107	41,6	29,2	15	2,95	4,79	6,52	8,26	9,99
7	1,40	12:30	850	43,0	24,8	17	2,85	4,59	6,22	7,85	9,28
8	1,60	12:40	925	38,2	24,8	16	2,14	3,77	5,40	6,63	8,87
9	1,80	12:50	847	41,0	24,6	16	2,75	4,38	6,12	7,54	9,28
10	2,00	13:00	860	37,2	24,4	16	2,44	4,18	5,81	7,44	8,97
11	2,20	13:10	713	41,0	24,2	16	2,95	4,69	6,42	7,95	9,38
12	2,40	13:20	792	39,7	24,2	16	3,16	6,73	8,26	9,89	11,52
13	2,60	13:30	785	43,7	24,3	16	3,46	5,30	6,93	8,56	9,99
14	2,80	13:40	695	44,0	24,1	16	2,95	4,69	6,52	8,26	9,79
15	3,00	13:50	673	44,6	24,5	16	3,97	6,01	7,85	9,69	11,22
16	3,20	14:00	740	49,1	24,7	16	3,46	5,30	6,93	8,67	10,60
17	3,40	14:10	800	49,1	25,8	16	3,36	5,20	7,03	8,77	10,40
18	3,60	14:20	660	45,0	26,0	16	3,77	5,71	7,54	9,18	11,11
19	3,80	14:30	885	49,3	26,1	16	3,46	5,30	7,24	8,87	10,81
20	4,00	14:40	890	49,1	26,6	16	3,36	5,30	7,34	8,87	10,91
21	4,20	14:50	885	51,0	26,9	16	3,97	6,22	8,05	9,89	12,44
22	4,40	15:00	1089	57,0	26,9	16	3,46	5,30	7,14	8,77	10,50
23	4,60	15:10	1093	55,0	27,0	16	3,87	6,01	7,84	9,58	11,31
Promedio			930	47,4	26,1	15,96					

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

5.4.4 Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie plana de asfalto y sin llevar carga.

Estos datos medidos el día jueves 16 de abril de 2009, se utilizaron para determinar si existe alguna variación en los valores de la velocidad media y de la aceleración debida al valor distinto del coeficiente de rozamiento a la rodadura entre asfalto y goma. Además que como ya se ha mencionado era importante utilizar este tipo de superficie por tratarse de la más común entre los vehículos convencionales.

Dicho lo anterior cabe decir, y ya se demostrará más adelante en el ítem 5.5, que los resultados obtenidos no presentan mayor variación con respecto a los obtenidos sobre superficie de concreto.

Tabla 5.9 Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie plana de asfalto y sin llevar carga.

Ord.	Hora	Vp [V]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Tiempo de 0 a 5m [s]	Tiempo de 5 a 15m [s]
1	12:00	15	338	55,6	25,8	3,87	3,87
2	12:20	15	430	34,3	25,9	3,89	3,89
3	12:40	16	900	41,7	27,1	2,75	3,67
4	13:00	16	850	41,3	27,2	2,44	3,98
5	13:20	16	650	25,0	26,5	2,60	3,45
Promedio		16	634	39,6	26,5	3,11	3,77

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

5.4.5 Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie de asfalto con pendiente de 5.24% (3°) y sin llevar carga.

Estos datos medidos el día viernes 17 de abril de 2009, se utilizaron para determinar los valores de la velocidad media y de la aceleración, afectadas por la pendiente de la pista.

Tabla 5.10 Datos para cálculo de velocidad y aceleración en superficie de asfalto con pendiente de 5.24% (3°) y sin llevar carga.

Ord.	Hora	Vp [V]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Tiempo de 0 a 5m [s]	Tiempo de 5 a 15m [s]
1	12:00	16	1206	50,0	24,1	3,16	3,87
2	12:20	16	1220	56,0	24,2	3,46	4,90
3	12:40	16	1250	58,3	24,3	3,36	3,67
4	13:00	16	1215	57,5	24,5	3,30	4,05
5	13:20	16	1230	55,0	24,7	3,24	3,98
Promedio		16	1224	55,4	24,4	3,30	4,09

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

5.5 Análisis de resultados.

Para el cálculo de las aceleraciones y las velocidades se recurrió a las ecuaciones de la física, específicamente a las ecuaciones que rigen el movimiento rectilíneo uniforme y uniformemente variado, estas son:

$$v = \frac{x}{t} \quad (5.1)$$

$$x = V_o \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (5.2)$$

Donde:

v = velocidad constante [m/s].

x = espacio recorrido [m].

V_o = velocidad inicial [m/s], 0 por partir del reposo.

t = tiempo en recorrer el espacio x [s].

a = aceleración [m/s²]

Despejando la aceleración y teniendo en cuenta las condiciones anteriores la expresión que da de la siguiente manera:

$$a = \frac{2 \cdot x}{t^2} \quad (5.3)$$

A partir de los valores obtenidos de la aceleración y la velocidad se elaboraron gráficas comparando estos valores con los valores de la irradiación y la temperatura existentes en el momento de la prueba.

Así también se determinaron los valores de la potencia mecánica transmitida por las ruedas al suelo, mediante la siguiente ecuación:

$$P_{ruedas} = F_t \cdot v \quad (5.4)$$

Donde:

P_{ruedas} = potencia en las ruedas [W].

F_t = fuerza de tracción de la rueda calculada en el capítulo 3 [N].

v = velocidad media de avance del vehículo [m/s].

Y con este valor de la potencia mecánica se puede calcular las pérdidas de potencia existentes del motor a las ruedas de la siguiente manera:

$$\%_{per} = \left(1 - \left(\frac{P_{ruedas}}{P_{noml}} \right) \right) \cdot 100 \quad (5.5)$$

Donde:

$\%_{per}$ = porcentaje de pérdida de potencia [%].

P_{ruedas} = potencia en las ruedas [W].

P_{nom} = potencia nominal del motor eléctrico [W].

5.5.1 Aceleración y velocidad máxima.

Tabla 5.11 Valores de las velocidades máximas obtenidas a lo largo de 25 m. de recorrido.

Ord.	V. máxima [m/s]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
1	3,27	68	21,0
2	3,27	129	27,5
3	3,27	222	23,6
4	3,27	268	29,2
5	3,39	390	39,7
6	3,64	370	32,5
7	3,64	935	49,5
8	3,85	650	25,0
9	3,92	715	41,8
10	3,92	890	25,5
11	3,92	960	30,5
12	4,10	700	43,1
13	4,10	787	53,0
14	4,10	880	26,5
15	4,10	950	27,5
16	4,10	980	35,5
17	5,18	1095	56,0
Promedio	3,83	646	34,5

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

Estos datos fueron obtenidos tomando el mayor valor de la velocidad calculada en cada uno de los intervalos de 5 metros de recorrido de la tabla 5.6, es decir son las mayores velocidades registradas en cada corrida a lo largo de los 25 metros.

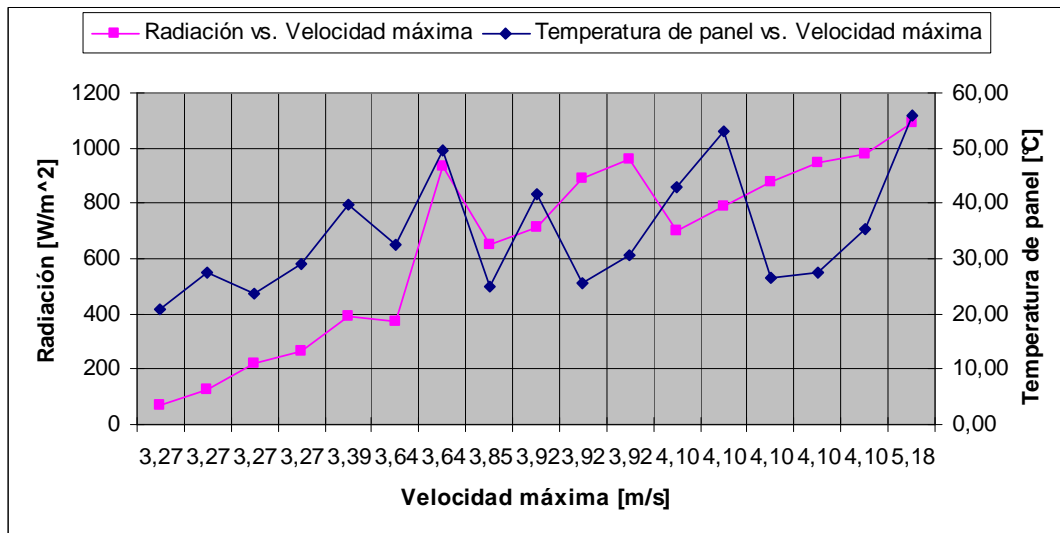


Figura 5.1. Irradiación y temperatura de panel vs. Velocidad máxima.

Como podemos observar, la tendencia de la gráfica indica una directa relación entre la irradiación y la temperatura superficial del panel a la velocidad del vehículo.

A continuación observaremos que en el caso de la aceleración esta relación se cumple de manera similar.

Tabla 5.12 Aceleraciones obtenidas en cada recorrido de 25 m.

Ord.	Aceleración [m/s ²]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
1	0,89	129	27,5
2	1,00	68	21,0
3	1,07	222	23,6
4	1,07	268	29,2
5	1,15	390	39,7
6	1,32	370	32,5
7	1,32	935	49,5
8	1,48	650	25,0
9	1,54	715	41,8
10	1,54	890	25,5
11	1,54	960	30,5
12	1,68	700	43,1
13	1,68	787	53,0
14	1,68	880	26,5
15	1,68	950	27,5
16	1,68	980	35,5
17	2,68	1095	56,0
Promedio	1,47	646	34,5

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

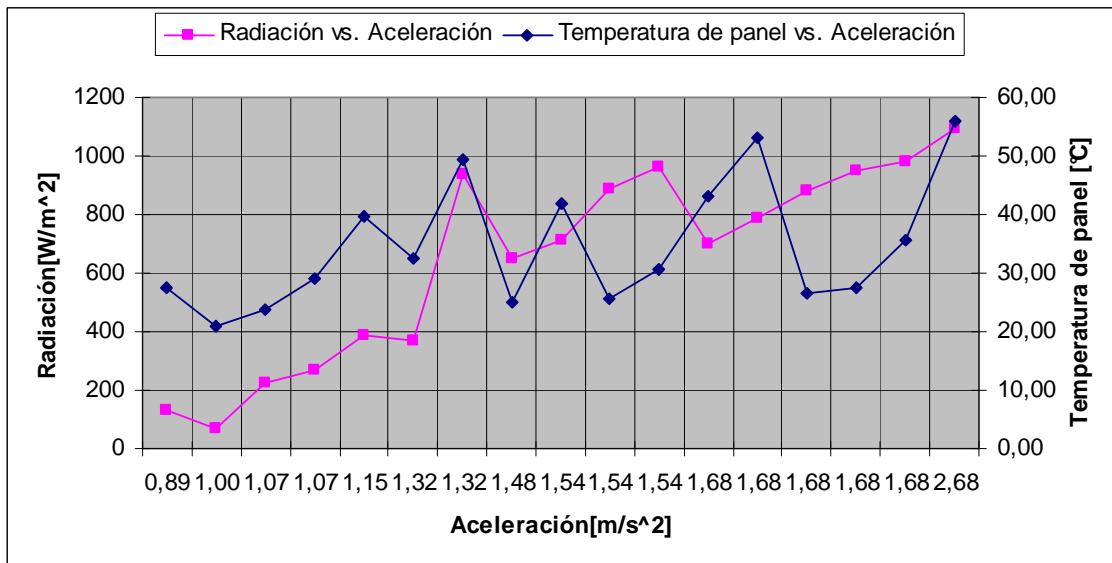


Figura 5.2 Irradiación y temperatura de panel vs. Aceleración.

5.5.2 Cálculo de potencia.

A continuación se presentan las tablas y las gráficas correspondientes a la potencia mecánica y el torque resultante en las ruedas con respecto a la Irradiación y la temperatura del panel, obtenido de la tabla 5.7, donde podemos observar una tendencia directamente proporcional de la potencia e inversamente proporcional del torque frente a la irradiación y la temperatura superficial del panel.

Tabla 5.13 Torque y potencia mecánica obtenida respecto a la irradiación.

Ord.	Irradiación [W/m ²]	Torque [N m]	Potencia mecánica [W]
1	950	0,16	8,18
2	960	0,16	8,18
3	980	0,16	6,71
4	1095	0,17	6,91
5	1110	0,19	6,53
6	1119	0,20	7,12
7	1122	0,19	6,91
8	1139	0,21	6,71
9	1140	0,19	7,90
10	1145	0,20	8,18
Promedio:	1076	0,18	7,33

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

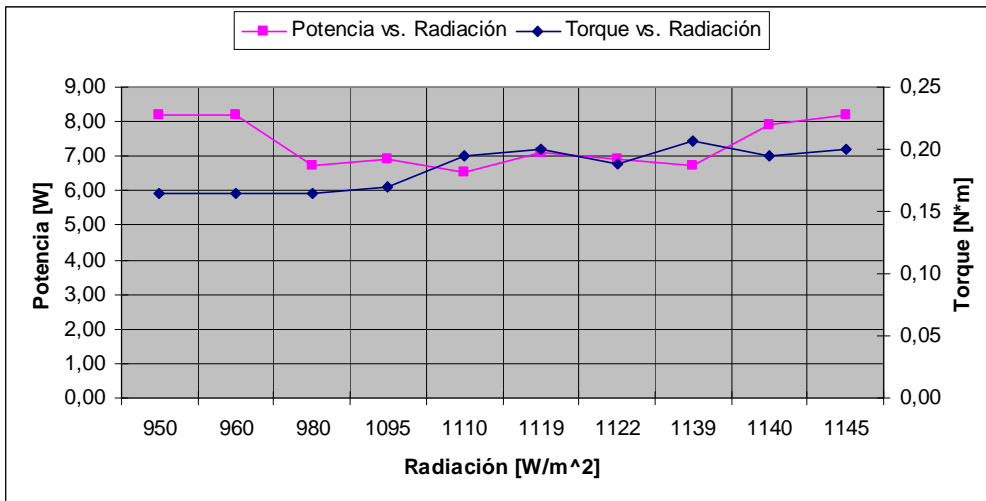


Figura 5.3 Potencia y torque vs. Irradiación.

Tabla 5.14 Torque y potencia respecto a la temperatura superficial del panel.

Ord.	Tp [°C]	Torque [N m]	Potencia mecánica [W]
1	27,5	0,16	8,18
2	30,5	0,16	8,18
3	35,5	0,16	6,71
4	42,0	0,19	6,91
5	44,3	0,20	6,53
6	45,6	0,19	7,12
7	51,0	0,21	6,91
8	56,0	0,17	6,71
9	60,3	0,20	7,90
10	61,0	0,19	8,18
Promedio:	45,4	0,18	7,33

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

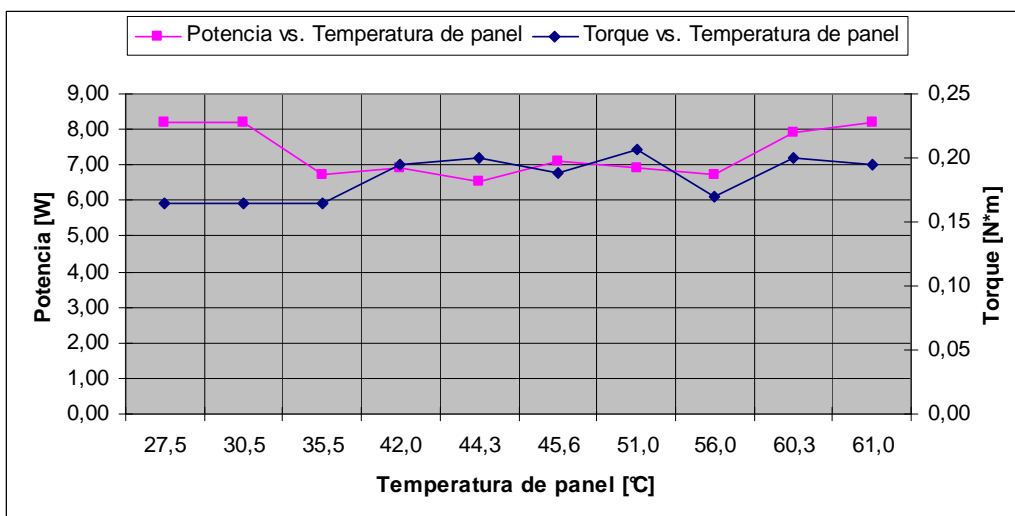


Figura 5.4 Potencia y torque vs. Temperatura de panel.

5.5.3 Velocidad y aceleración bajo condiciones de carga.

La siguiente información fue generada a partir de la tabla 5.8, donde como podremos observar a continuación, la velocidad y la aceleración disminuirán a medida que la carga aumenta, aunque cuando existen condiciones favorables de irradiación y/o temperatura en el panel estos valores no tienen mayor variación.

Tabla 5.15 Valores de velocidad respecto a la masa y bajo las condiciones de irradiación solar y temperatura de superficie del panel mencionadas.

Velocidad [m/s]	Masa [Kg]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
2,41	4,20	885	51,0
2,69	4,00	890	49,1
2,70	2,40	792	39,7
2,71	4,60	1093	55,0
2,73	3,80	885	49,3
2,74	3,60	660	45,0
2,79	3,00	673	44,6
2,81	1,00	1105	43,5
2,81	3,20	740	49,1
2,84	0,80	1130	56,0
2,84	1,20	1107	41,6
2,85	3,40	800	49,1
2,85	4,40	1089	57,0
2,93	0,40	1140	61,0
2,94	2,80	695	44,0
3,02	0,20	1175	54,7
3,06	0,60	1560	56,1
3,07	2,00	860	37,2
3,08	1,80	847	41,0
3,09	2,60	785	43,7
3,11	1,60	925	38,2
3,13	1,40	850	43,0
3,13	2,20	713	41,0
Promedio:		930	47,4

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

De esta tabla se desprenden las gráficas: irradiación y carga respecto a la velocidad y temperatura superficial del panel y carga respecto a la velocidad, donde podemos observar que la capacidad carga aumenta radicalmente al existir valores significativos de irradiación y temperatura, aunque teniendo en

cuenta que los mejores rendimientos se obtienen cuando la irradiación es alta y la temperatura superficial del panel se encuentra en un valor medio-alto.

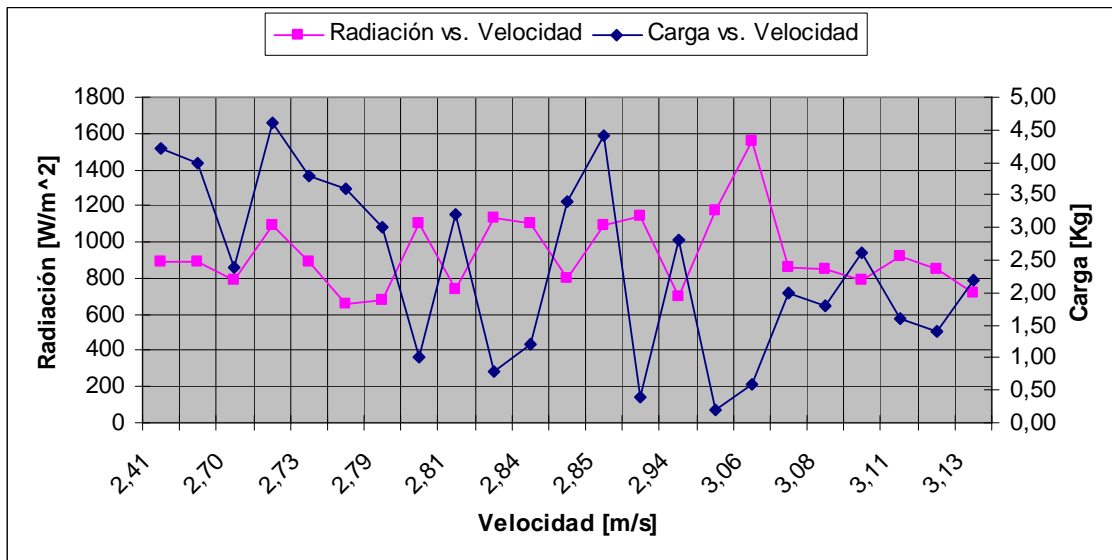


Figura 5.5 Irradiación y carga vs. Velocidad.

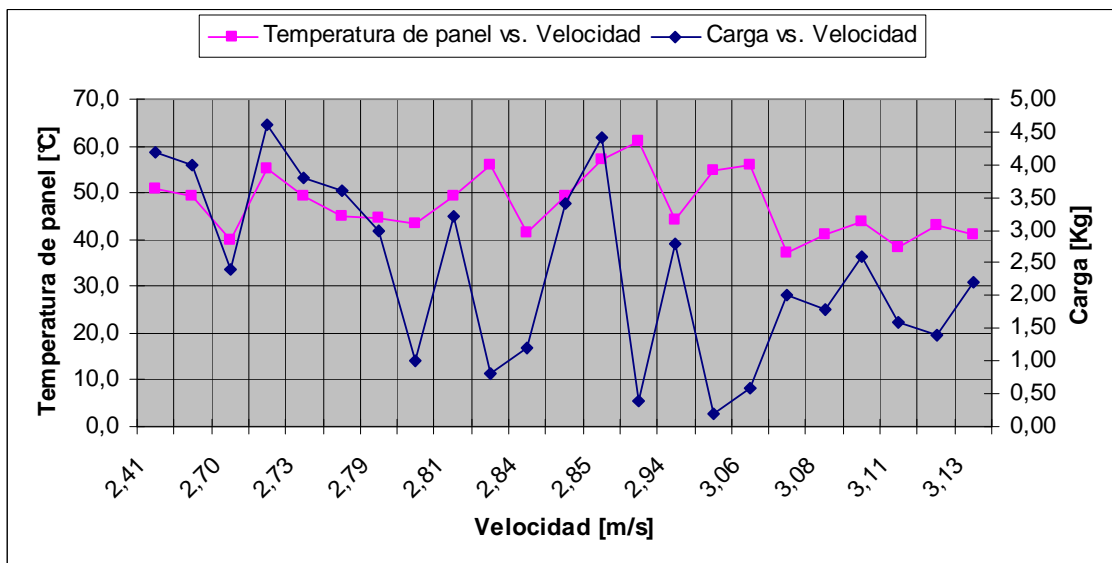


Figura 5.6 Temperatura de panel y carga vs. Velocidad.

A continuación se presentan la tabla y las gráficas correspondientes a la aceleración, aquí podemos observar una tendencia muy similar a la que presentan las gráficas de la velocidad, lo cual resulta lógico ya que las dos variables guardan una estrecha relación entre sí.

Tabla 5.16 Valores de aceleración respecto a la masa y respecto a las condiciones de irradiación solar y temperatura de superficie del panel indicadas.

Aceleración [m/s ²]	Masa [Kg]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
0,63	3,00	673	44,6
0,63	4,20	885	51,0
0,67	4,60	1093	55,0
0,70	3,60	660	45,0
0,84	2,60	785	43,7
0,84	3,20	740	49,1
0,84	3,80	885	49,3
0,84	4,40	1089	57,0
0,89	3,40	800	49,1
0,89	4,00	890	49,1
1,00	2,40	792	39,7
1,15	1,20	1107	41,6
1,15	2,20	713	41,0
1,15	2,80	695	44,0
1,23	1,00	1105	43,5
1,23	1,40	850	43,0
1,32	0,80	1130	56,0
1,32	1,80	847	41,0
1,54	0,40	1140	61,0
1,68	0,20	1175	54,7
1,68	2,00	860	37,2
2,18	1,60	925	38,2
Promedio:		902	47,0

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

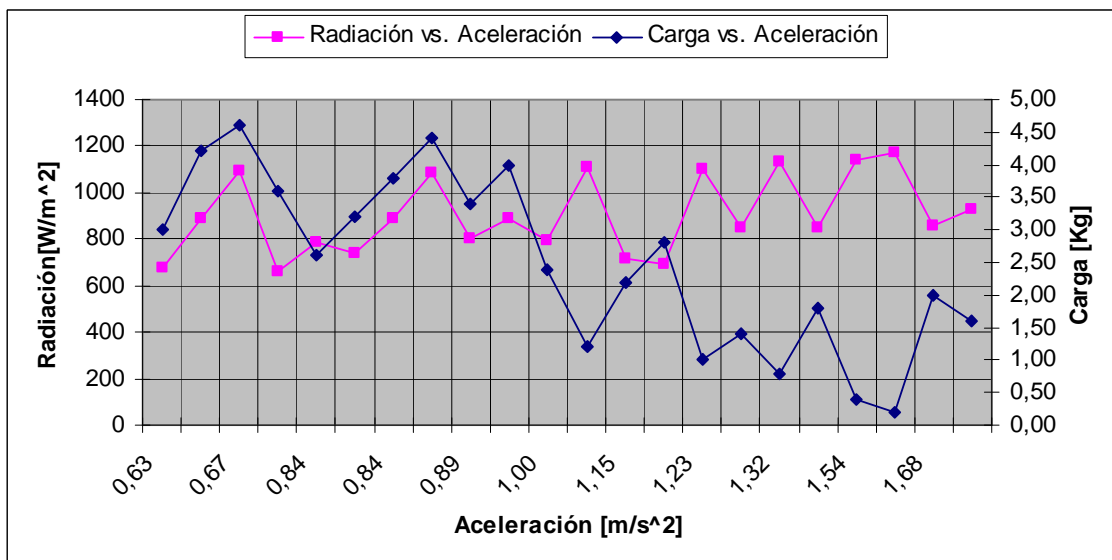


Figura 5.7 Irradiación y carga vs. Aceleración.

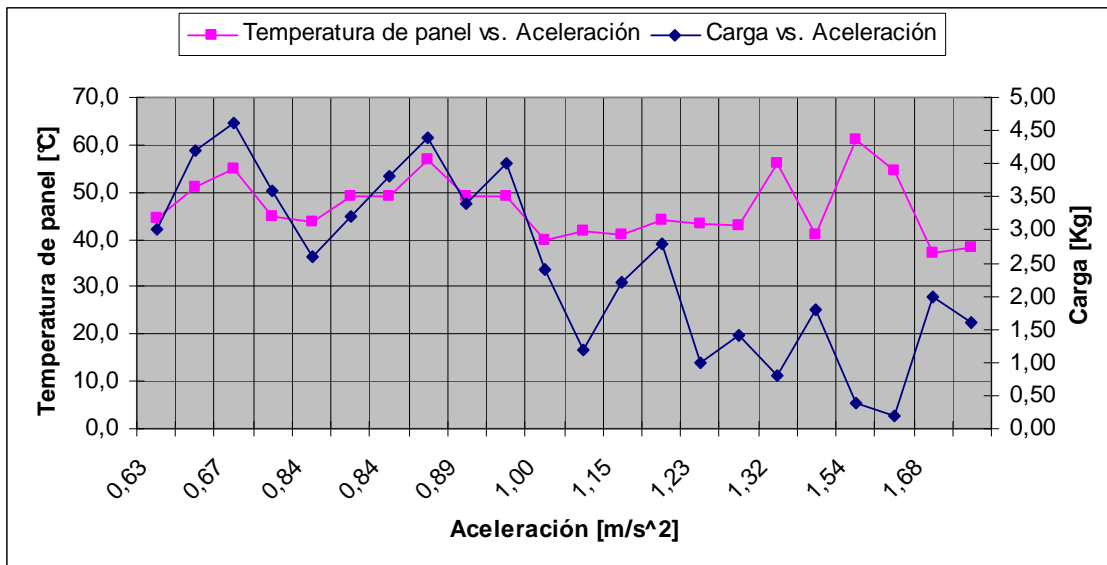


Figura 5.8 Temperatura de panel y carga vs. Aceleración.

5.5.4 Velocidad y aceleración sobre superficie plana de asfalto y sin carga.

Debido a que esta es una prueba prácticamente igual a la realizada en superficie plana de concreto y sin llevar carga, la tendencia de las curvas no interesa en mayor medida ya que son similares, sino que más bien interesa conocer la diferencia entre los valores de velocidad y aceleración principalmente, por ser este el que contiene la capacidad de tracción debida a la superficie. Los datos son generados a partir de la tabla 5.9.

Tabla 5.17 Velocidad promedio sobre superficie de asfalto.

Ord.	Velocidad promedio [m/s]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
1	2,51	850	41,3
2	2,57	430	34,3
3	2,58	338	55,6
4	2,72	900	41,7
5	2,90	650	25,0
Promedio:	2,66	634	39,6

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

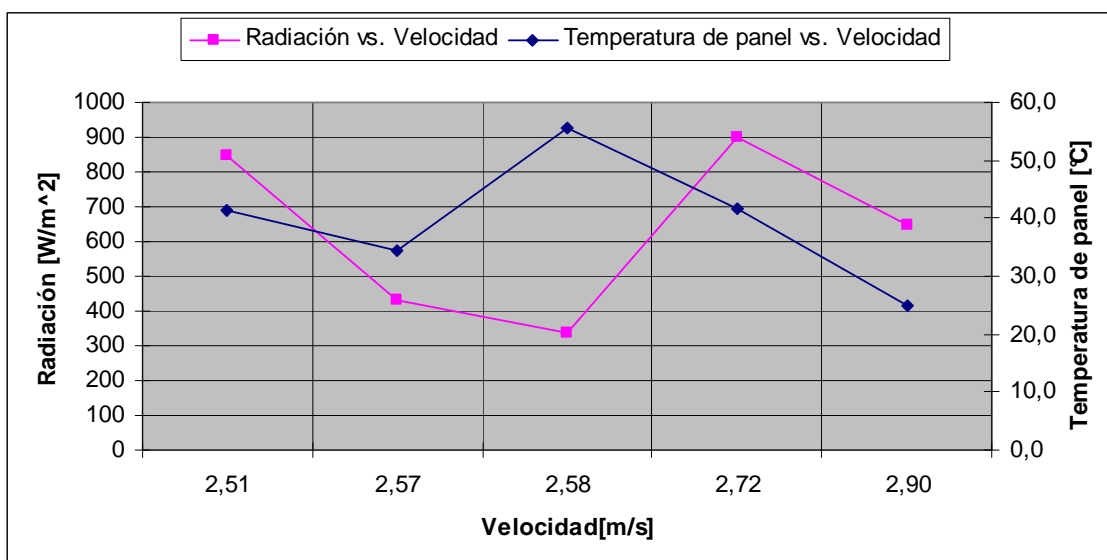


Figura 5.9 Irradiación y temperatura de panel vs. Velocidad. (Asfalto).

Tabla 5.18 Aceleración obtenida sobre superficie de asfalto.

Ord.	Aceleración [m/s ²]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
1	0,66	430	34,3
2	0,67	338	55,6
3	1,32	900	41,7
4	1,48	650	25,0
5	1,68	850	41,3
Promedio:	1,16	634	39,6

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

El promedio de aceleraciones obtenido de esta tabla es de 1.16 m/s², que comparado con la aceleración de 1.24 m/s² obtenido sobre superficie de concreto muestra que en realidad es una diferencia insignificante de tracción entre las 2 superficies, aunque a favor del concreto.

Podemos observar que no existen tendencias marcadas en las curvas, tanto en la de velocidades como en las de aceleración, debido a que las condiciones de pruebas se mantuvieron prácticamente estables.

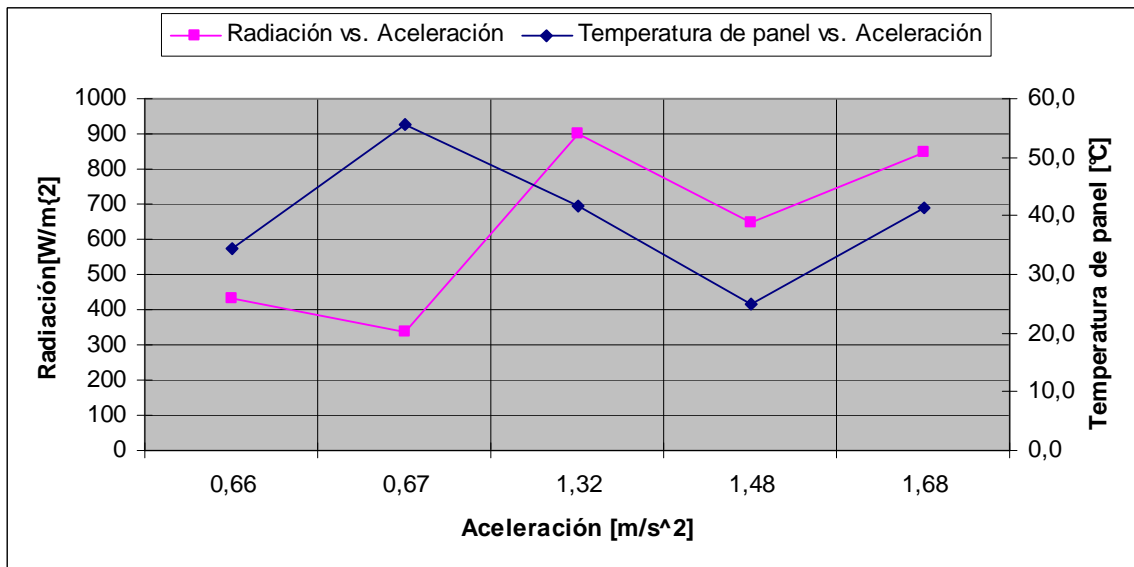


Figura 5.10 Irradiación y temperatura de panel vs. Aceleración. (Asfalto).

5.5.5 Velocidad y aceleración sobre superficie de asfalto con 5.24% (3°) de pendiente y sin carga.

Como era de esperarse la tendencia de las curvas es bastante similar a aquella de las curvas generadas en el desplazamiento con carga, aunque en este caso se tendría que el ascenso de una pendiente hace las veces de una carga constante, las siguientes tablas y gráficas se generan a partir de los datos obtenidos de las tabla 5.10.

Tabla 5.19 Velocidad media durante el ascenso de una pendiente del 5.24%.

Ord.	Velocidad promedio [m/s]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
1	2,04	1220	56,0
2	2,47	1215	57,5
3	2,51	1230	55,0
4	2,58	1206	50,0
5	2,72	1250	58,3
Promedio:	2,47	1224	55,4

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangoquí, 2009.

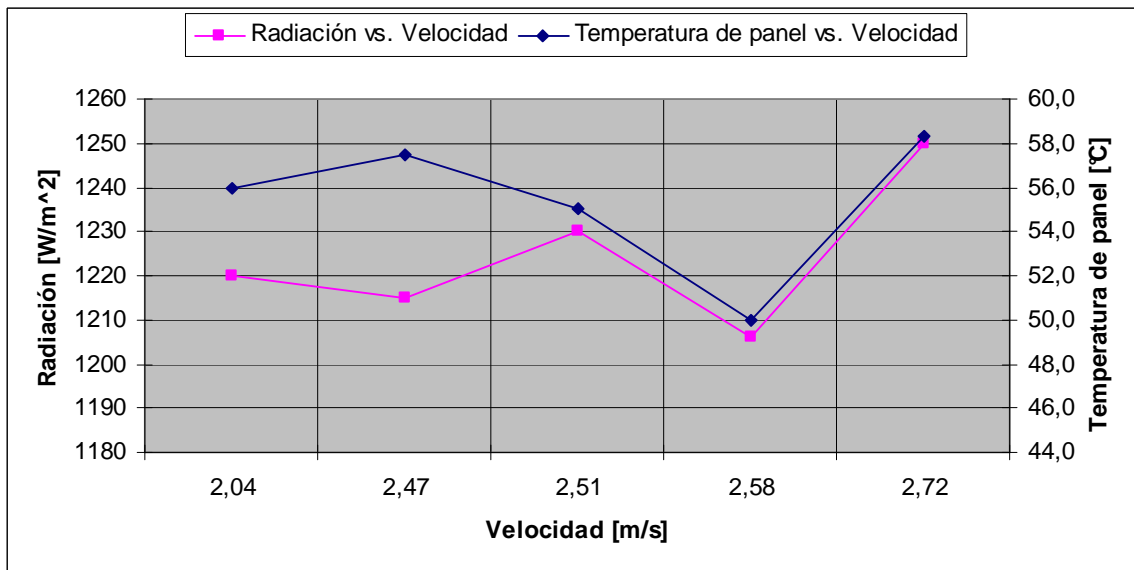


Figura 5.11 Irradiación y temperatura de panel vs. Velocidad. (Pendiente).

De los valores de velocidad también podemos observar que estos son muy inferiores a los obtenidos en plano, ya que el valor máximo obtenido en la pendiente (2.72 m/s) queda muy por debajo del máximo obtenido en superficie plana de 5.18 m/s.

Tabla 5.20 Aceleración durante el ascenso de una pendiente de 5.24%.

Ord.	Aceleración [m/s ²]	Irradiación [W/m ²]	Tp [°C]
1	0,84	1220	56,0
2	0,89	1250	58,3
3	0,92	1215	57,5
4	0,95	1230	55,0
5	1,00	1206	50,0
Promedio:	0,92	1224	55,4

Fuente: Benavides D., Guillén J.; Sangolquí, 2009.

De igual forma que con la velocidad, podemos comparar el valor de aceleración máximo obtenido durante el arranque sobre la pendiente que es de 1 m/s² y observamos que se queda por debajo del valor medio en superficie plana (1.24 m/s²), y ni mencionar el valor máximo en las mismas condiciones, que es de 2.68 m/s².

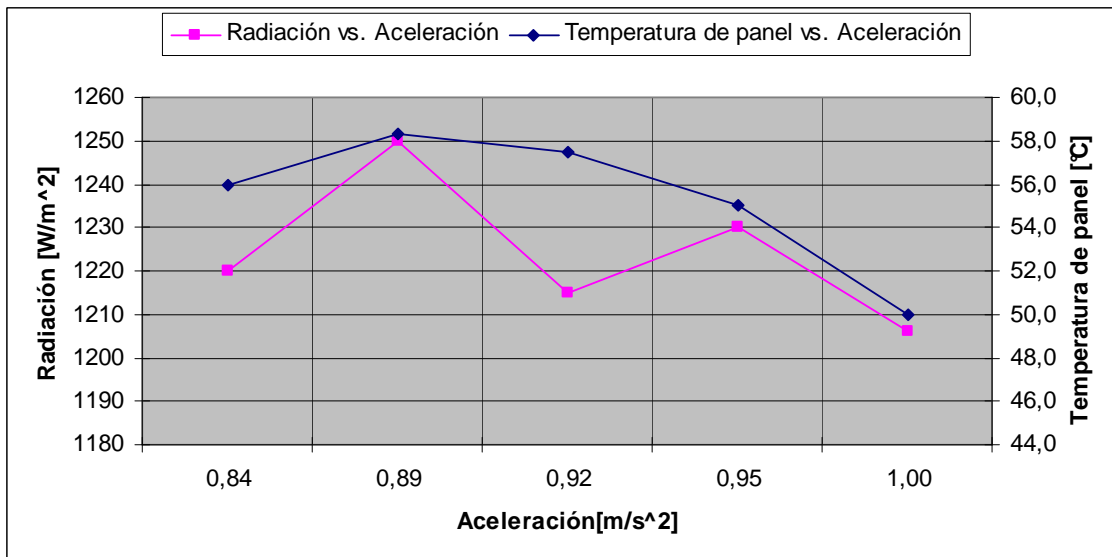


Figura 5.12 Irradiación y temperatura de panel vs. Aceleración. (Pendiente).

De todas las gráficas analizadas se puede concluir que el panel funciona óptimamente cuando su temperatura superficial se encuentra alrededor de los 50°C y los valores de irradiación son mayores a 950 W/m².

5.6 Seguridad operativa.

La seguridad operacional es el estado en que el riesgo de lesiones a las personas o daños a los bienes se reduce y se mantiene en un nivel aceptable, o por debajo del mismo, por medio de un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos.

Podemos observar que para el caso del vehículo solar no existen riesgos evidentes en cuanto a la operación, aunque si se puede recomendar el seguimiento de ciertos procedimientos que garanticen la integridad física del operador y el vehículo, así como su correcto funcionamiento. Por tanto se recomienda:

- Tener cuidado al transportar el vehículo hacia o desde el área de pruebas, procurar no sostenerlo de los extremos fabricados en acrílico ya que pueden desprenderse y provocar lesiones a las personas que lo transportan, además podría verse dañado el panel solar debido a la caída.

- En caso de que sea necesario efectuar conexiones (conectar los bornes de la batería, panel, etc.) se recomienda tener especial cuidado en no dejar que se toquen cables de polo positivo con cables de polo negativo, esto puede producir un choque eléctrico al operador además de que se pueden producir quemaduras por parte de los cables o daños irreversibles en el sistema de mando y radio control.
- Tener en cuenta que si se van a realizar pruebas sobre una calle transitada (perímetro interno de la ESPE por ejemplo), se debe colocar señalización que advierta a los conductores que se están llevando a cabo pruebas con el vehículo y de esta forma preservar la integridad física tanto de las personas involucradas como del vehículo solar.
- Además de esto de deberá limpiar la pista de obstáculos tales como piedras, palos, botellas, etc. que puedan ser golpeados por el vehículo, y de esta manera dañarlo, o que puedan hacer que el operador tropiece y sufra una caída.
- Se debe considerar además de que el vehículo solar no debe ser dejado a la intemperie, ya que el contacto excesivo con el agua puede dañar de manera permanente los circuitos del sistema de mando y radio control.
- No cargar de manera excesiva al vehículo y por ningún motivo subir a una persona en él, ya que la estructura está probada para soportar un peso adicional máximo de 4.6 Kg.
- En el caso de que se opere el vehículo suspendido, tener precaución de no introducir objetos en las ruedas con el objeto de frenarlas, esto puede producir lesiones y/o daños a la transmisión y el motor. Además se debe tener precaución que elementos tales como pulseras, collares, relojes o prendas de vestir holgadas se atrapen en las ruedas en movimiento, ya que producirían los mismos efectos.
- Tener en cuenta que si se requiere realizar tareas de mantenimiento, es preferible en primer lugar desconectar la batería para evitar corto circuitos, luego desconectar el panel y dejarlo en un sitio seguro para evitar que este se golpee.

- Adicionalmente se debe tener especial cuidado en cuanto a la batería, ya que la misma contiene en su interior ácido que si se derrama sobre la piel puede causar quemaduras. Por esta razón se debe mantener siempre a la batería en posición vertical y manipularla con cuidado.
- Y por último se debe tener en cuenta de que las pruebas se las realiza a la intemperie y se debe tener cuidado con las quemaduras por el sol aplicando el uso de bloqueadores solares para evitar dichas quemaduras o posteriores enfermedades

5.7 Práctica recomendada para Laboratorio.

De acuerdo con las pruebas realizadas al vehículo se ha determinado que la prueba que presenta las mayores facilidades de realización es la de carrera sobre superficie plana y sin carga, ya que además se la puede llevar a cabo en el área de la terraza del Laboratorio de Energías Renovables, donde se cuenta con el espacio y las condiciones idóneas (ausencia de sombras y vehículos que molestan las pruebas).

La práctica propuesta se puede observar en el Anexo G.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

6.1 Análisis económico.

Para el análisis económico y financiero debemos tomar en cuenta que presente proyecto es experimental y consta de un único modelo por lo cual no se busca beneficio económico ya que su producción sería muy costosa por falta de tecnología en el país y no estaría orientado a ningún mercado por su naturaleza orientada solamente a la experimentación. Pero no queda descartable que a partir de este proyecto se busque realizar vehículos que puedan comercializarse, sean aptos para cualquier tipo de transporte y se los pueda producir en nuestro país.

Por tales razones se analizara el costo que represento el proyecto y el financiamiento con que se contó.

A continuación se indica el estudio económico del proyecto

6.1.1 Costos indirectos.

6.1.1.1 Personal.

Tabla 6.1. *Costos de personal.*

Posición	Horas / semana	Semanas	Valor/hora (USD)	Valor total (USD)
Director Ing. José Guasumba	1	30	10,00	300,00
Codirector Ing. José Pérez	1	30	10,00	300,00
TOTAL:				600,00

Para la tabla anterior se toma el tiempo desde octubre del 2008 hasta abril del 2009.

6.1.1.2 Misceláneos.

Tabla 6.2 *Misceláneos.*

Descripción	Cantidad / Uso	Costo (USD)	Total proyecto (USD)
Copias e Impresiones	Total de copias e impresiones	26,16	26,16
Útiles de oficina	Total de útiles	5,00	5,00
Transporte	Total de Combustible	40,00	40,00
Electricidad	7 meses	17,00/mes	119,00
Servicio Internet	7 meses	34,61/mes	242,27
TOTAL:			432,43

En los costos indirectos se tiene un subtotal de 1032,43 (USD)

6.1.2 Costos directos.

6.1.2.1 Remuneraciones a mano de obra externa.

Tabla 6.3 Remuneraciones a mano de obra externa.

Recurso humano	Horas	Valor hora (USD)	Valor total (USD)
Mecánico tornero Sr. Manuel Guamán	4	5,00	20,00
Termo formaciones Maestro Artesano	3	7,00	21,00
Laboratorio de Mantenimiento Electrónico – ESPE Sr. Humberto Bernis	5	7,00	35,00
TOTAL:			76,00

6.1.2.2 Remuneraciones a estudiantes.

Tabla 6.4. Remuneraciones a estudiantes.

Recurso humano	Horas / semana	Semanas	Valor/hora (USD)	Valor total
Benavides Diego	20	28	2,00	1120,00
Guillén Jaime	20	28	2,00	1120,00
TOTAL:				2240,00

6.1.2.3 Materiales utilizados.

Tabla 6.5 *Costos materiales.*

Ítem	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)
Remache	100 und.	0,03	3,00
Perno M5 x 35 mm	4 und	0,15	0,60
Perfilería de Aluminio	10 mts.	1,75	17,50
Lámina de Acrílico	0.4 mts ²	27,00	27,00
Sellador de poliuretano	1 tubo de 310 cc.	10,00	10,00
Alza de Caucho	4 und.	0,75	3,00
Silicón	2 barra	0,20	0,40
Perno M4 x 35 mm.	4 und.	0,15	0,60
Tocho de Acero	1 tocho de 10 cm	2,00	2,00
Placa de Acero	1 Placa de 60 mm. de largo 40 mm. De ancho y .20 mm. de espesor	10,00	10,00
Platina de Acero	1 platina	5,00	5,00
Lamina de Plástico	1 und	20,00	20,00
Cables	5 mts.	0,20	1,00
Tornillos	30 und	0,01	0,30
Terminales	16 und	0,02	0,32
Balsa	2 laminas de 600 X 80 X5 mm.	1,28	2,56
TOTAL:			103,28

6.1.2.4 Accesorios.

Tabla 6.6 Costos accesorios.

Ítem	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)
Panel Solar Fotovoltaico	Und.	1000,00	1000,00
Controlador de carga y descarga	Und.	45,00	45,00
Batería	Und.	26,00	26,00
Motor eléctrico	Und.	5,00	5,00
Transmisión	Und.	30,00	30,00
Rueda	4 und.	3,00	12,00
Sistema de Mando y Control Remoto	Und.	127,88	177,88
Switch	2 und.	0,3	0,6
Voltímetro	3 und.	4,00	12,00
Terminal tipo banana	4 und.	0,15	0,6
Batería de 9 voltios	Und.	3,00	3,00
Bornera	Und.	2,70	2,70
Acoples plástico	4	0,10	0,40
TOTAL:			1315,18

6.1.2.5 Insumos.

Tabla 6.7 Costos insumos.

Ítem	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)
Wipes	10	0,10	1,00
Diluyente (Tinner)	½ galón	1,5	1,5
Cinta Aislante (Tape)	1	0,70	0,70
Total:			3,20

6.1.2.6 Otros costos indirectos.

Tabla 6.8 *Otros costos indirectos.*

Descripción	Costo Total
Herramientas adicionales	10,20
Ensayos de laboratorio (Laboratorios de la ESPE)	0,00
Adquisición de software, libros y revistas	100,00
TOTAL:	110,20

El subtotal de gastos directos es de 3847,86 (USD)

6.1.3 Total general.

En este proyecto se obtuvo un gasto general de 4880,29 (USD). Este valor es 18,65% menos de lo presupuestado en el plan de tesis que se estimaba sería de 5926,78 (USD) incluyendo un imprevisto de 526,98 (USD).

6.2 Análisis financiero.

En el análisis financiero hay que tomar en cuenta que el panel solar fotovoltaico fue proporcionado y es de propiedad de CITECNIA Corp.

6.2.1 Financiamiento del proyecto.

Para el proyecto el financiamiento de los recursos que van orientados al pago de horas de trabajo para el director y codirector, se asume que son asumidos por la E.S.P.E.

Tabla 6.9 *Financiamiento del proyecto.*

Rubros	Presupuesto	Recursos Propios (USD)	%	Recursos externos (USD)	%
Costos Indirectos	1032,43	432,43	41,88	600,00	58,11
Costos directos (Sin panel fotovoltaico)	2847,86	2847,86	100		
Panel Fotovoltaico	1000,00			1000,00	100
TOTAL GENERAL:	4880,29	3280,29	67,24	1600	32,79

6.2.2 Entidades de financiamiento.

Tabla 6.10 *Financiamiento del proyecto.*

ENTIDAD	MONTO USD
Escuela Politécnica del Ejército	600,00
CITECNIA Corp.	1000,00
Propios	3280,29
TOTAL	4880,29

6.2.3 Cronograma de desembolsos del proyecto.

En la siguiente página se indica los desembolsos efectuados en cada mes:

Tabla 6.11 *Cronograma de desembolsos del proyecto.*

Rubros	Gastos	Octubre 2008	Noviembre 2008	Diciembre 2008	Enero 2008	Febrero 2008	Marzo 2008	Abril 2008	Subtotal (USD)
Costos Indirectos	1032.43	156,94	143,32	143,32	153,08	143,32	143,32	149,13	1032.43
Costos Directos	3847,86	320	320	420	1503,60	620,98	343,28	320	3847,86
TOTAL GENERAL:	4880,29	476,94	463,32	563,32	1656,68	764,30	486,6	469,13	4880,29
TOTAL ACUMULADO		476,94	940,26	1503,58	3160,26	3924,56	4411,16	4880,29	
PORCENTAJE ACUMULADO (%)		9,77	19,26	30,81	64,75	80,41	90,39	100	

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.

Luego de haber diseñado, construidos y probado el modelo de vehículo solar de 40 Wp. utilizando energía solar fotovoltaica se puede concluir lo siguiente:

- El uso de un motor eléctrico como planta motriz de propulsión es una alternativa válida para asegurar que el funcionamiento del vehículo experimental sea ecológico, en cuanto a la emanación de gases por parte del motor se refiere, ya que se conoce que al no existir combustión alguna dentro de un motor eléctrico, no existe una fuente de producción de gases, y por tanto tampoco existe una emanación de estos.
- Las dimensiones del vehículo fueron obtenidas teniendo en cuenta el peso del panel solar que se disponía, 4,8 Kg., y a sus dimensiones físicas, largo: 1084mm., ancho: 330mm., y altura: 33mm. El peso del panel determinó la utilización de una estructura espacial fabricada en aluminio 6063 T52, la cual pesa 2 Kg., siendo más liviana que las carrocerías semi-monocasco probadas (Fig. 3.1), cuyo menor peso obtenido fue de 6,85 Kg., logrado con fibra de carbono tipo Zoltec Panex 33 de 2mm. de espesor. Ahora, teniendo en cuenta las dimensiones del panel solar y los elementos adicionales

necesarios para el funcionamiento del vehículo, las dimensiones resultantes del vehículo son: largo: 1440 mm., ancho: 413mm. (Medidos en los extremos de las ruedas posteriores), altura: 209mm.

- Para desarrollar un vehículo de cualquier tipo, es necesario seguir un procedimiento de diseño regido por la mecánica automotriz, de esta forma es posible asegurar que los resultados obtenidos son comparables con los obtenidos por cualquier vehículo convencional.
- El diseño de un vehículo solar fotovoltaico debe ser realizado bajo criterios pesimistas, ya que la variación de la irradiancia solar genera grandes cambios en el comportamiento en los sistemas fotovoltaicos, como se pudo observar en las pruebas de ascenso de pendiente y de capacidad de carga, citadas a continuación:

La pendiente máxima calculada tuvo un valor de $1,21^\circ$ y en la práctica el vehículo fue capaz de ascender una pendiente de 3° , aunque cabe mencionar que esto se logró con valores de irradiación superiores a 1200 W/m^2 , y se debe recordar que el regulador de corriente bajo cantidades elevadas de irradiancia este envía una parte de la carga a la batería y el exceso directamente a la carga. Por otra parte, aunque este fue también el caso de la capacidad máxima de carga, calculada en 2,14 Kg., durante las pruebas con valores promedio de irradiación de 930 W/m^2 , el vehículo fue capaz de cargar hasta 4,6 Kg.

- Los instrumentos de medición utilizados en las pruebas, así como los elementos de control son los que se encuentran disponibles normalmente en el mercado, por lo que se pueden producir resultados no esperados en la práctica. Por ejemplo, el torque calculado en operación fue de 0,21 N.m, lo que es aproximadamente el 31% más que el establecido teóricamente, que fue de 0,16 N.m, esto justificaría que los valores calculados, tanto pendiente como carga máxima se superen en la práctica.

- Debido a que no siempre es posible contar con buenas condiciones de temperatura y radiación solar, el dimensionamiento del arreglo de baterías es vital en el diseño de sistemas fotovoltaicos, especialmente en el caso de un vehículo, lo que supone dos grandes desventajas frente a los sistemas de propulsión convencionales: 1. el peso total del vehículo aumenta sensiblemente, en nuestro caso en particular se utilizó una única batería y esta representa más del 10% del peso total, y 2. en caso de que la carga de la batería sea insuficiente y no se cuente con la radiación suficiente, el vehículo no podrá cumplir con su función de desplazarse.
- La distribución peso/potencia de nuestro vehículo solar, llamado “Sun Ride” fue de 0,29 Kg. / W., que comparada con la del vehículo “Nuna4”, poseedor del récord mundial de velocidad de vehículos solares, de 0,044 Kg. / W., parece muy alta, sin embargo hay que tomar en cuenta que el Nuna4 utiliza paneles solares que poseen una eficiencia del 26%, frente a la eficiencia de 13% de los paneles del Sun Ride.

Por otra parte, en cuanto a los valores de velocidad, encontramos que con una potencia de 43 Wp el Sun Ride obtuvo una velocidad máxima de 18,65 Km. /h. (generando una relación de 0,43 Km/(Wh)), mientras el Nuna4 alcanza una velocidad máxima de 142 Km. / h. con una potencia de 4600 Wp (relación de 0,03 Km/(Wh)). Sin embargo, esta diferencia es fruto de que el vehículo Sun Ride no experimenta la resistencia del viento del Nuna4, que por lo general, a velocidades superiores a los 60 Km. /h. es mayor a la resistencia a la rodadura de un vehículo.

- De acuerdo al análisis económico se estableció que el costo de construcción del modelo es de 4880,29 (USD), lo cual es un valor muy alto para el tamaño y prestaciones que ofrece debido a las bajas potencias que brinda y a los materiales de fabricación que tienen precios muy altos. En el mercado mundial ya existen vehículos convencionales con valores cercanos a 2500 (USD) como el Tata Nano, lo cual hace a la tecnología solar fotovoltaica no muy atractiva ya que un vehículo para transportar a personas llegarían a tener un costo muy alto.

- El procedimiento de diseño y construcción que se ha seguido en el presente proyecto puede servir como guía para diseñar vehículos de cualquier tipo y tamaño, ya que el procedimiento sería similar y además todos los materiales y accesorios se pueden hallar en el mercado nacional. También existe la posibilidad de importar otros elementos como paneles fotovoltaicos de mejor tecnología o materiales estructurales como fibra de carbono, dependiendo directamente de la magnitud del proyecto y del presupuesto que se posea.

- En el Ecuador aún no existe una investigación seria sobre este tipo de tecnología para propulsión, ya que apenas se ha empezado a implementar sistemas de energía solar fotovoltaica utilizando tecnología desarrollada en el exterior. Por esta razón, para que en nuestro país sea factible la construcción o la implementación de este tipo de energías en sistemas de transporte, primero se debe mejorar la tecnología de sistemas fotovoltaicos como tal, a través de la investigación y la experimentación, para luego procurar relacionarlos con sistemas de transporte.

7.2 Recomendaciones.

- Para la realización de prácticas y pruebas en el vehículo se debe tener muy en cuenta los parámetros de operación indicados en el numeral 5.3. Además de todos los criterios de seguridad para evitar accidentes en la operación.

- Se debe continuar con el estudio de energías renovables, ya que estas garantizaran una mejoría ambiental y además se crearan fuentes de trabajo al crear medios en los que se aplique dichas energías

- Teniendo como base este proyecto, se debe buscar crear un modelo el cual ya sea pilotado por una persona, utilizando fuentes de energía solar fotovoltaica de mayor capacidad y mejor tecnología. Una buena solución para la utilización de este tipo de energía es aplicarla a sistemas híbridos

como medio de asistencia o para consumo de sistemas secundarios (luces, radio, accesorios, etc.). Un buen sistema hibrido libre de emisiones sería un sistema de pila de hidrógeno en unión a un sistema fotovoltaico o como utiliza el Eve indicado en el capítulo dos que utiliza un sistema fotovoltaico en unión con un sistema que usa la fricción de la ruedas de inflexión para generar electricidad.

- Si se aumenta el uso de este tipo de energías tanto para propulsión, generación eléctrica o en cualquier sistema que se las pueda aplicar se lograra que los materiales y dispositivos vayan minorando su precio y sea más rentable desarrollar una industria con estas energías.
- Y por último en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Escuela Politécnica del Ejercito se debe incursionar más en la investigación en energías alternativas, además de utilizar como base en dichas investigaciones los proyectos de grado realizados por los estudiantes, los cuales están llenos de importante y valida información. Y todo esto sirva para el desarrollo de la investigación de energías en el país.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliografía:

- CASELI Mauricio, La Contaminación Atmosférica, ultima edición, 270 Págs., 1990
- VARIOS AUTORES, Enciclopedia Salvat Automóvil, Tomo 10, 185 Págs., 1975.
- SERWAY A., Raymond, FÍSICA, Tomo I, cuarta edición, 645 Págs., McGraw-Hill, México D.F., 1997.
- Ph. D. BUESCHE, Frederick, FÍSICA GENERAL, Octava edición, 407 Págs., McGraw-Hill, México D.F., 1994.
- CRAIG, Roy R., MECÁNICA DE MATERIALES, Primera edición, 752 Págs., Grupo Patria Cultural, México D.F., 2002.
- NORTON, Robert L., DISEÑO DE MÁQUINAS, Primera edición, 1046 Págs., Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1999.
- SHIGLEY-MISCHKE, Joseph E.-Charles R., DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, Sexta edición, 1258 Págs., McGraw-Hill, México D.F., 2005.
- BOSCH-DIETSCHKE, Robert-Karl Heinz, MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL, Cuarta edición, 1233 Págs., Reverte, 2005.
- FONT MEZQUITA, José, TRATADO SOBRE AUTOMÓVILES, Tomo IV, Primera edición, 404 Págs., Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2004.
- BENT-SORENSEN, RENEWABLE ENERGY, ITS PHYSICS, ENGINEERING USE ENVIRONMENTAL IMPACTS, ECONOMIC AND PLANING ASPECTS, Segunda edición, Academic Press, 2000, London.
- MARKVART, Thomas, SOLAR ELECTRICITY, John Wiley and Sons, England, 2003.
- PARTAIN, Larry, SOLAR CELLS AND THEIR APPLICATIONS, John Wiley and Sons, California, 1995.
- CASTAÑER, Luis, MODELLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS USING PSPICE, John Wiley and Sons, England, 2002.
- ZWEIBWL, Ken, SOLAR ENERGY THE PHOTOVOLTAICS CHALLENGE, USA, 1990.

- RODOT-BENALLOW, Michel-Abdelhainine, ELECTRICITE SOLAIRE AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT RURAL, Rabat, 1993.
- IEPALA, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO, Ediciones Mundi Prensa Madrid.
- ABELLA, Alonso, SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, Primera edición, ediciones Sapt, Madrid, 2001.

Páginas web:

- www.nolazed.com
- www.fujiyachts.net
- www.rpc.com.au
- www.eurol.gr
- www.resourcebattery.com
- www.garaje.ya.com
- www.ucursos.cl
- www.es.wikipedia.org
- www.webecoist.com
- www.dspace.universia.net
- www.consumer.es
- www.cochesecologicos.com
- www.solo-duo.hu
- www.tuexperto.com

ANEXOS

Anexos	Contenido
Anexo A	Balance energético del Ecuador
Anexo B	Planos del modelo de vehículo experimental de 40 Wp. con energía solar fotovoltaica
Anexo C	Memoria de cálculo del diseño del reductor de velocidad del modelo de vehículo experimental de 40 Wp. con energía solar fotovoltaica
Anexo D	Gráfica del método ROSSA para sistemas fotovoltaicos
Anexo E	Circuito eléctrico del modelo de vehículo experimental de 40 Wp. con energía solar fotovoltaica
Anexo F	Organigrama de proceso de la construcción y montaje del modelo de vehículo experimental de 40 Wp. con energía solar fotovoltaica
Anexo G	Practica de laboratorio de energías renovables

ANEXO A

Balance energético del Ecuador

BALANCE ENERGETICO DEL ECUADOR

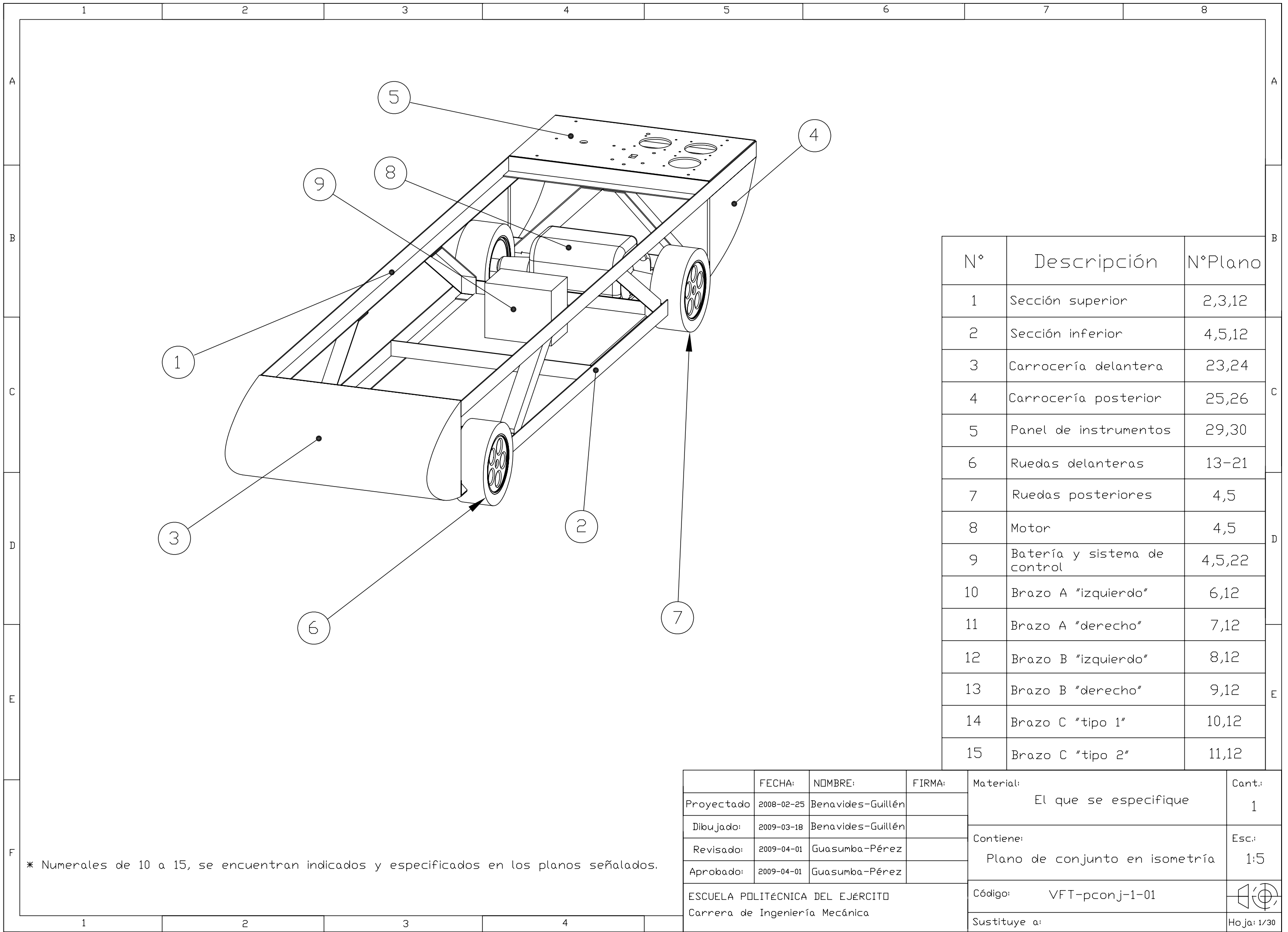
UNIDAD: MILES DE TEP

AÑO: 2005 (preliminar)

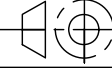
	ENERGIA PRIMARIA					TOTAL PRIMARIA	ENERGIA SECUNDARIA							TOTAL SECUNDARIA	TOTAL GENERAL	
	Leña	Bagazo	Petróleo Crudo	Gas Natural	Hidro-Energía		Gas Licuado	Gasolina y Nafta 90	Diesel 1	Diesel 2 y Premium	Aero-Combustibles	Pesados	No Energ.			Electricidad
Ministerio de Energía y Minas <i>República del Ecuador</i>																
Dirección de Gestión de Planificación PBX (593) 2550-041 Extensión 3223																
1 Producción	424	328	27746	2046	658	31201									0	31201
2 Reinyección Oleoducto															-430	-430
3 Importación							774		1127	0	379		148		2428	2428
4 Exportación			-18818			-18818		-257			-1636		-1		-1894	-20713
5 Ventas a Naves Extranjeras									-12	-5	-207		-687		-911	-911
6 Variación de Inventarios			-361			-361	0	2		-31	-7	-10			-46	-407
7 TOTAL OFERTA BRUTA	424	328	8567	2046	658	12022	774	-256	-12	1091	-213	-2383	0	147	-853	11169
8 No aprovechable						-852									0	-852
9 TOTAL OFERTA NETA	424	328	8567	1194	658	11170	774	-256	-12	1091	-213	-2383	0	147	-853	10317
10 TOTAL TRANSFORMA.	0	0	-7793	-1194	-658	-9645	205	1981	64	1431	326	2772	154	1153	8086	-1558
11 Centrales Hidráulicas					-658	-658								592	592	-66
12 Centrales Térmicas				-333		-333		-74		-312		-764		561	-590	-923
13 Refinerías			-7793			-7793	134	2056	64	1743	326	3537	154		8013	220
14 Plantas de Gas				-861		-861	71							71	-790	
15 Consumo Propio			-769			-769	-15			-13		-15			-172	-940
16 Pérd. de Transp. y Transm/1.			-5			-5									-37	-41
17 Pérd. Téc. de Distrib.															-107	-107
18 Pérd. No Téc. de Distrib.															-146	-146
19 Pérd. Ocasión por terc./Otros															0	0
20 OFERTA TOTAL	424	328	0	0	0	752	964	1725	52	2509	112	374	154	881	6772	7524
21 Ajuste	0	0	0	0	0	0	-22	-23	25	-80	0	1	3	0	-97	-97
22 CONSUMO FINAL TOTAL	424	328	0	0	0	752	986	1748	28	2588	112	374	152	881	6869	7620
22 Consumo no Energético						0							152		152	152
23 Consumo Final Energético	424	328	0	0	0	752	986	1748	28	2588	112	374	0	881	6717	7469
24 TOTAL RESI. Y SERV.	388	0	0	0	0	388	915	19	0	102	0	0	0	549	1585	1973
25 Residencial	388					388	886							318	1205	1593
26 Servicios Privados							29			35				169	232	232
27 Servicios Públicos								19		67				62	148	148
28 TOTAL TRANSPORTE	0	0	0	0	0	0	0	1672	0	2145	112	0	0	0	3929	3929
29 Automotor								1672		2066					3738	3738
30 Marítimo										78					78	78
31 Aéreo										112					112	112
33 TOTAL INDUSTRIA	36	328	0	0	0	363	71	10	28	330	0	374	0	257	1070	1433
34 Manufactura	36	328				363	71	10	28	330		374		257	1070	1433
35 Construcción															0	0
37 Pesca								47		11					59	59
38 Otros														75	75	75
PRODUCCION DE ENERGIA SECUNDARIA							205	2056	64	1743	326	3537	154	1153	9237	9237

CONSUMIDOR

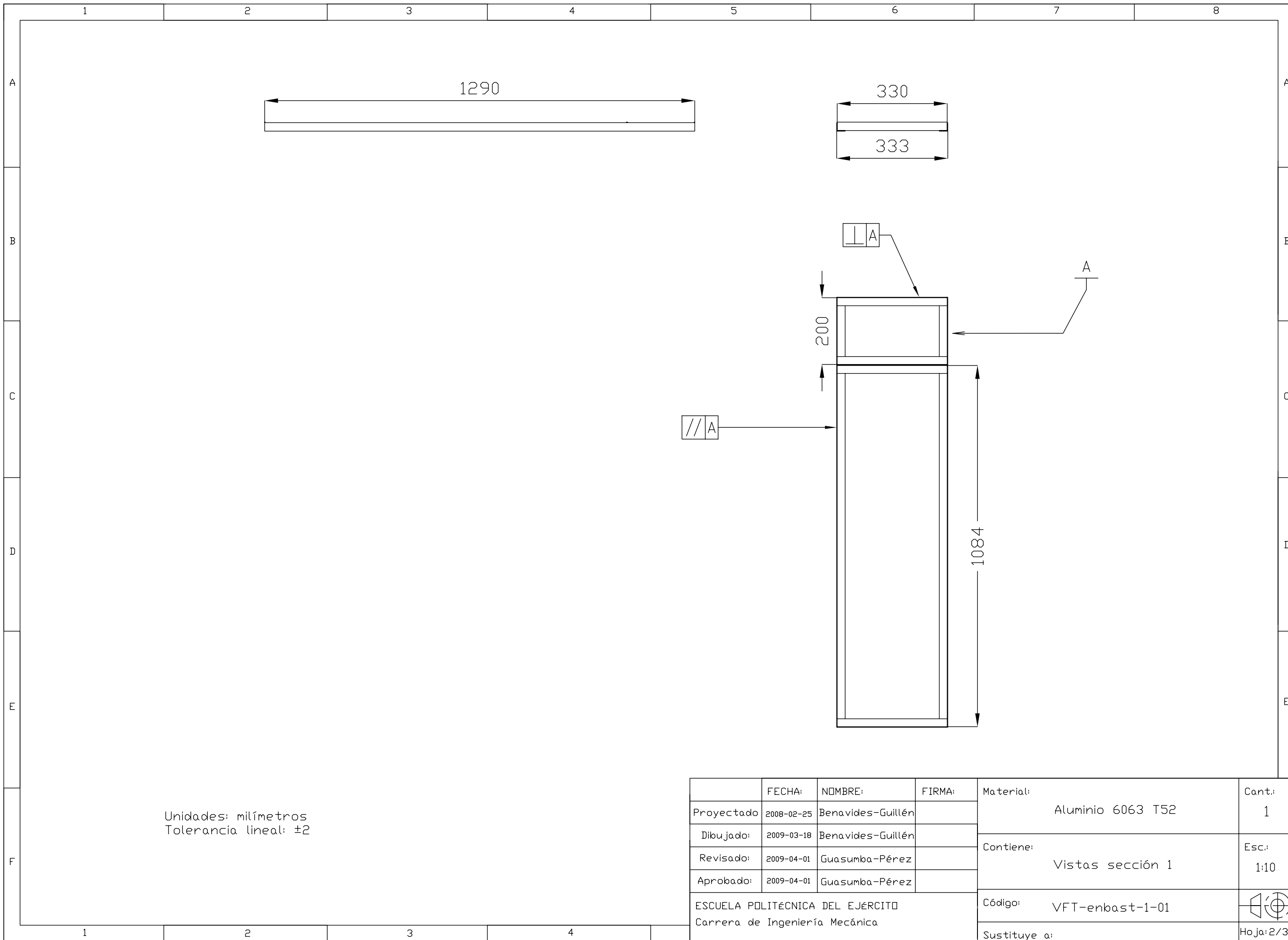
1/ En petróleo Transporte, electricidad Transmisión



N°	Descripción	N°Plano
1	Sección superior	2,3,12
2	Sección inferior	4,5,12
3	Carrocería delantera	23,24
4	Carrocería posterior	25,26
5	Panel de instrumentos	29,30
6	Ruedas delanteras	13-21
7	Ruedas posteriores	4,5
8	Motor	4,5
9	Batería y sistema de control	4,5,22
10	Brazo A "izquierdo"	6,12
11	Brazo A "derecho"	7,12
12	Brazo B "izquierdo"	8,12
13	Brazo B "derecho"	9,12
14	Brazo C "tipo 1"	10,12
15	Brazo C "tipo 2"	11,12

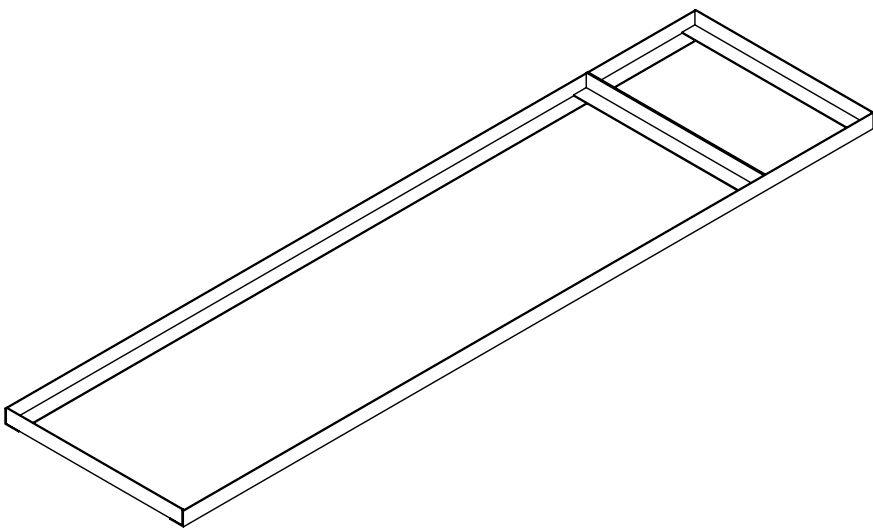
	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:
Proyectado	2008-02-25	Benavides-Guillén		El que se especifique	1
Dibujado:	2009-03-18	Benavides-Guillén			
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez		Contiene:	Esc.:
Aprobado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez		Plano de conjunto en isometría	1:5
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-pconj-1-01	 Hoja: 1/30
				Sustituye a:	

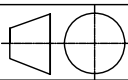
* Numerales de 10 a 15, se encuentran indicados y especificados en los planos señalados.

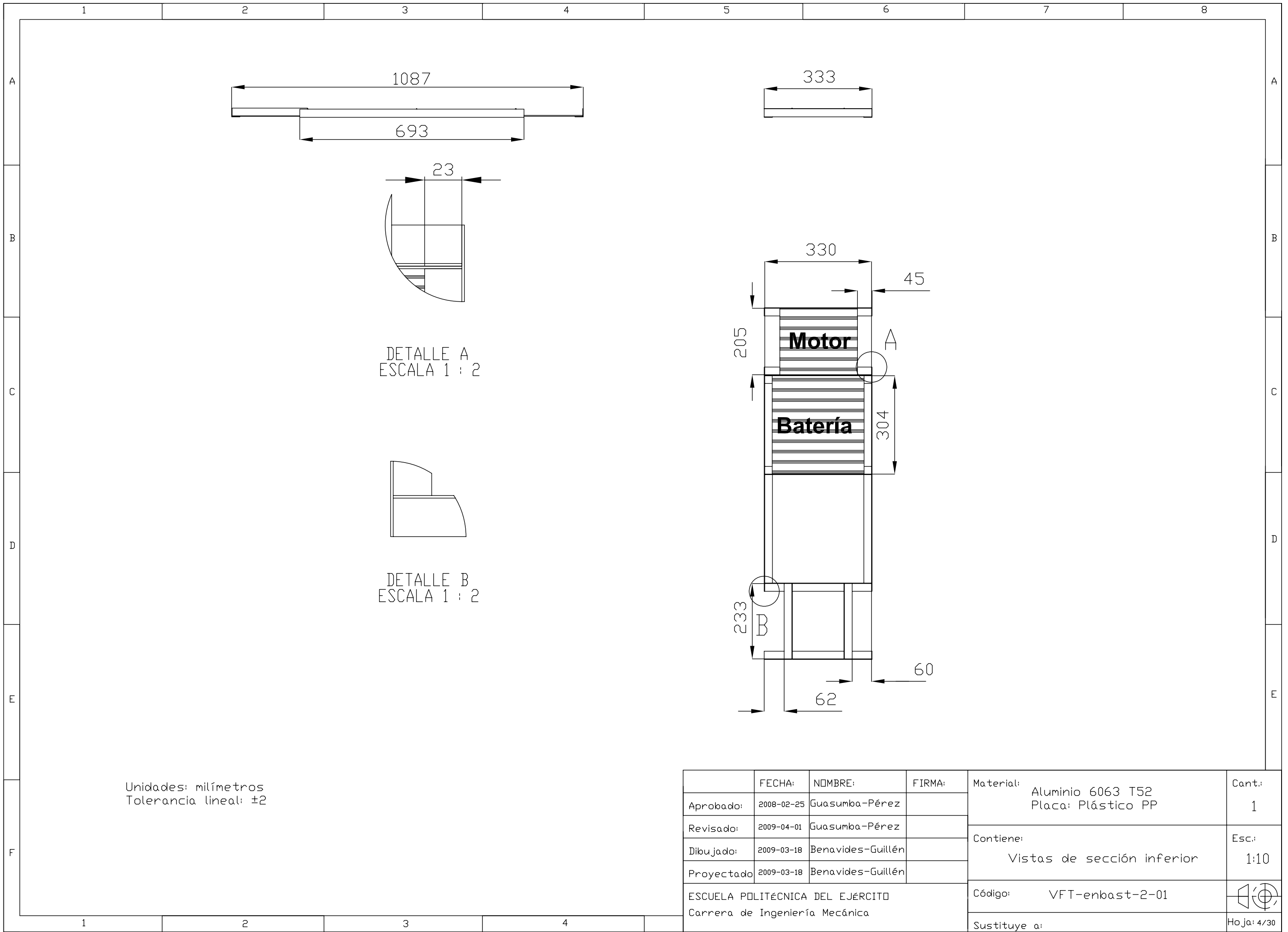


Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ±2

	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:
Proyectado:	2008-02-25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52	1
Dibujado:	2009-03-18	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas sección 1	Esc.: 1:10
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez			
Aprobado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código:	VFT-enbast-1-01
				Sustituye a:	Hoja: 2/30

	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Aluminio 6063 T52	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría sección superior	Escala: 1:10
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-1-02	
				Sustituye a:	

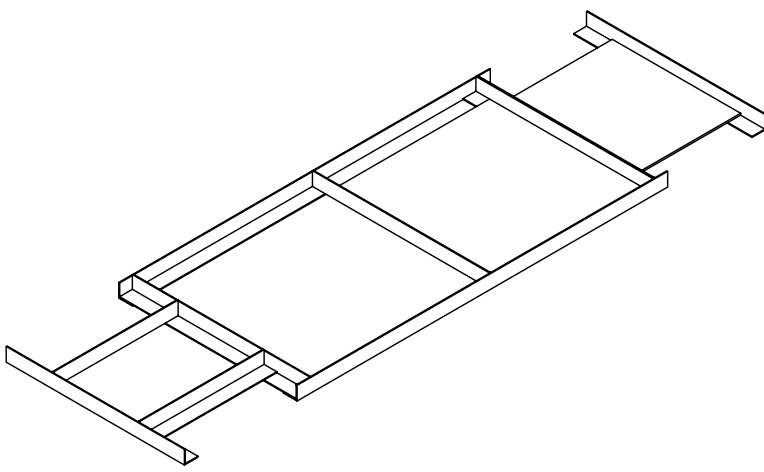


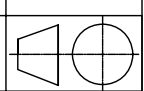
DETALLE A
ESCALA 1 : 2

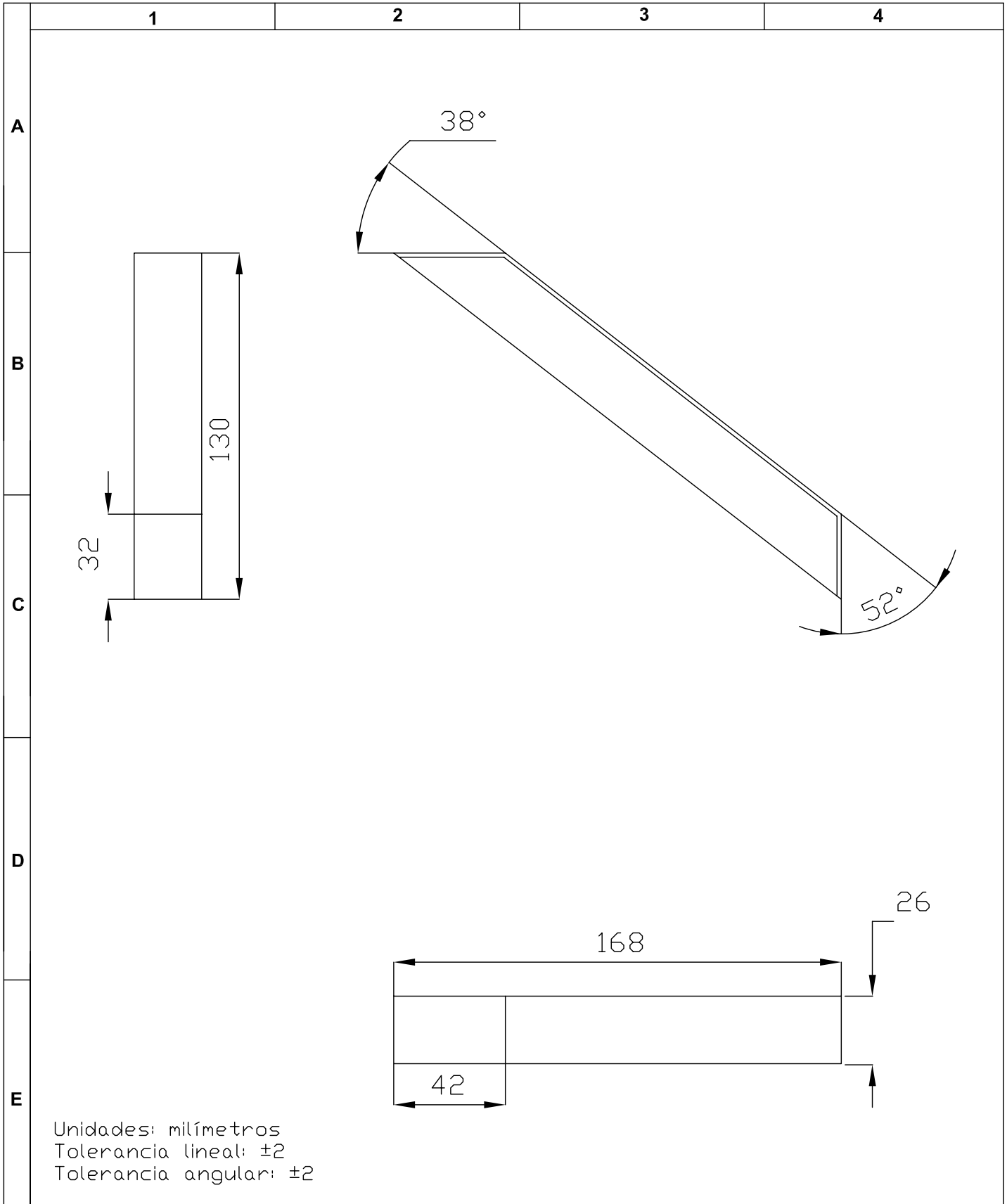
DETALLE B
ESCALA 1 : 2

Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ±2

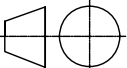
	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:
Aprobado:	2008-02-25	Guasumba-Pérez		Aluminio 6063 T52 Placa: Plástico PP	1
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez		Contiene: Vistas de sección inferior	Esc.: 1:10
Dibujado:	2009-03-18	Benavides-Guillén			
Proyectado:	2009-03-18	Benavides-Guillén			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código:	VFT-enbast-2-01
				Sustituye a:	Hoja: 4/30

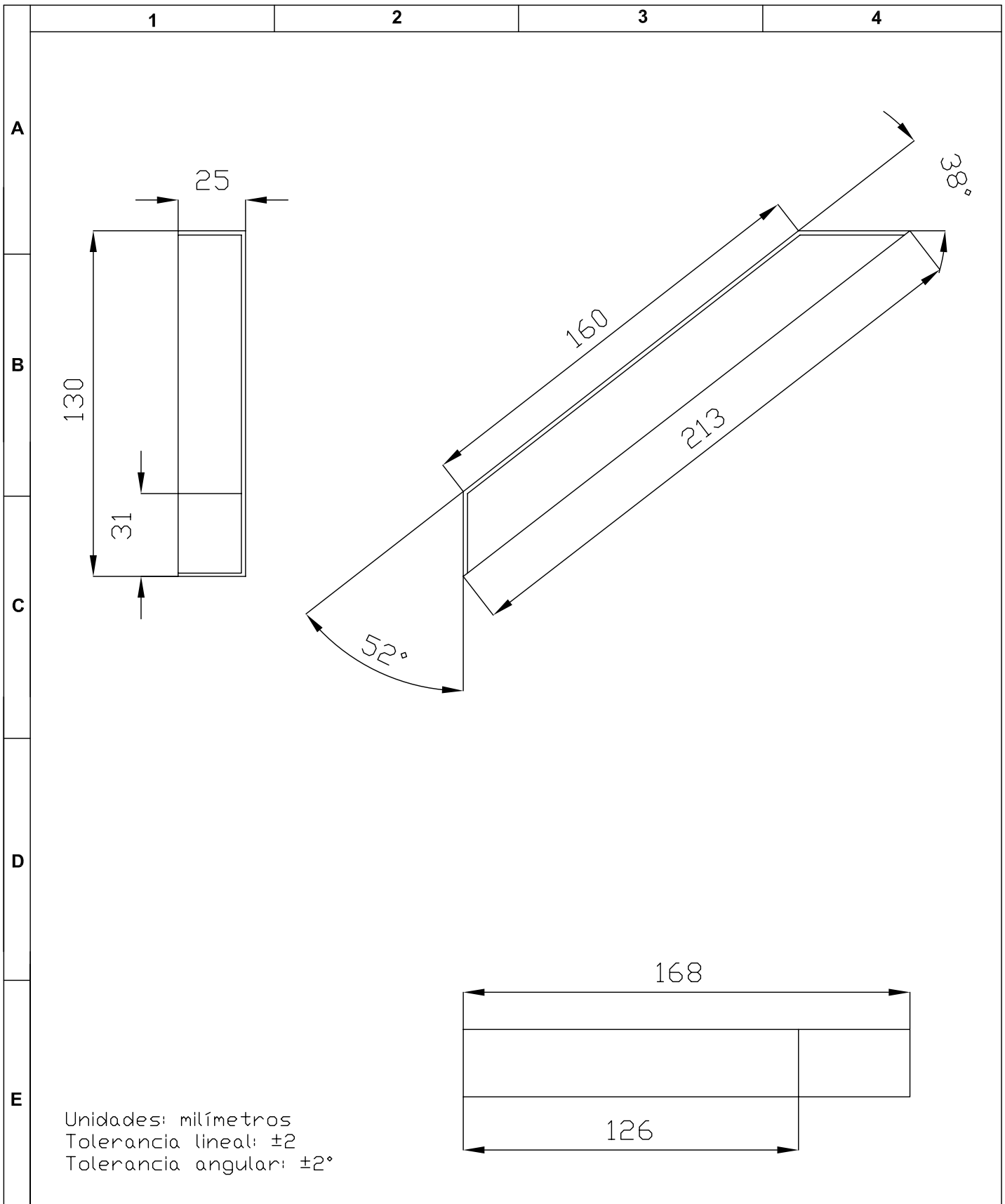
	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Aluminio 6063 T52 Placa: Plástico PP	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén			
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de sección inferior	Escala: 1:10
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-2-02	
				Sustituye a:	



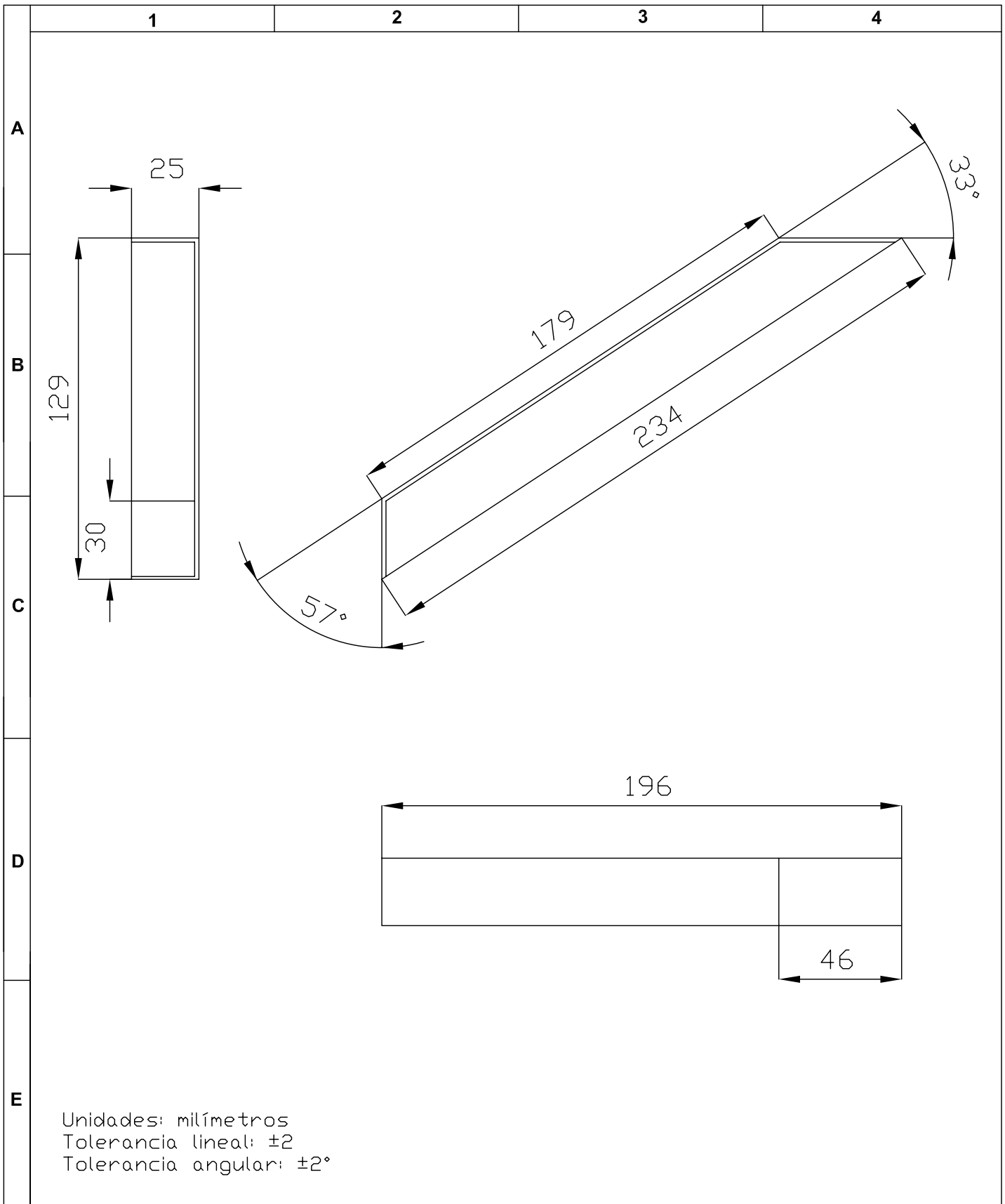
Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ± 2
Tolerancia angular: ± 2

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material:	Cantidad:
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52	1
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de brazo A "izquierdo"	Escala: 1:10
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-3-01	 Hoja: 6/30
				Sustituye a:	

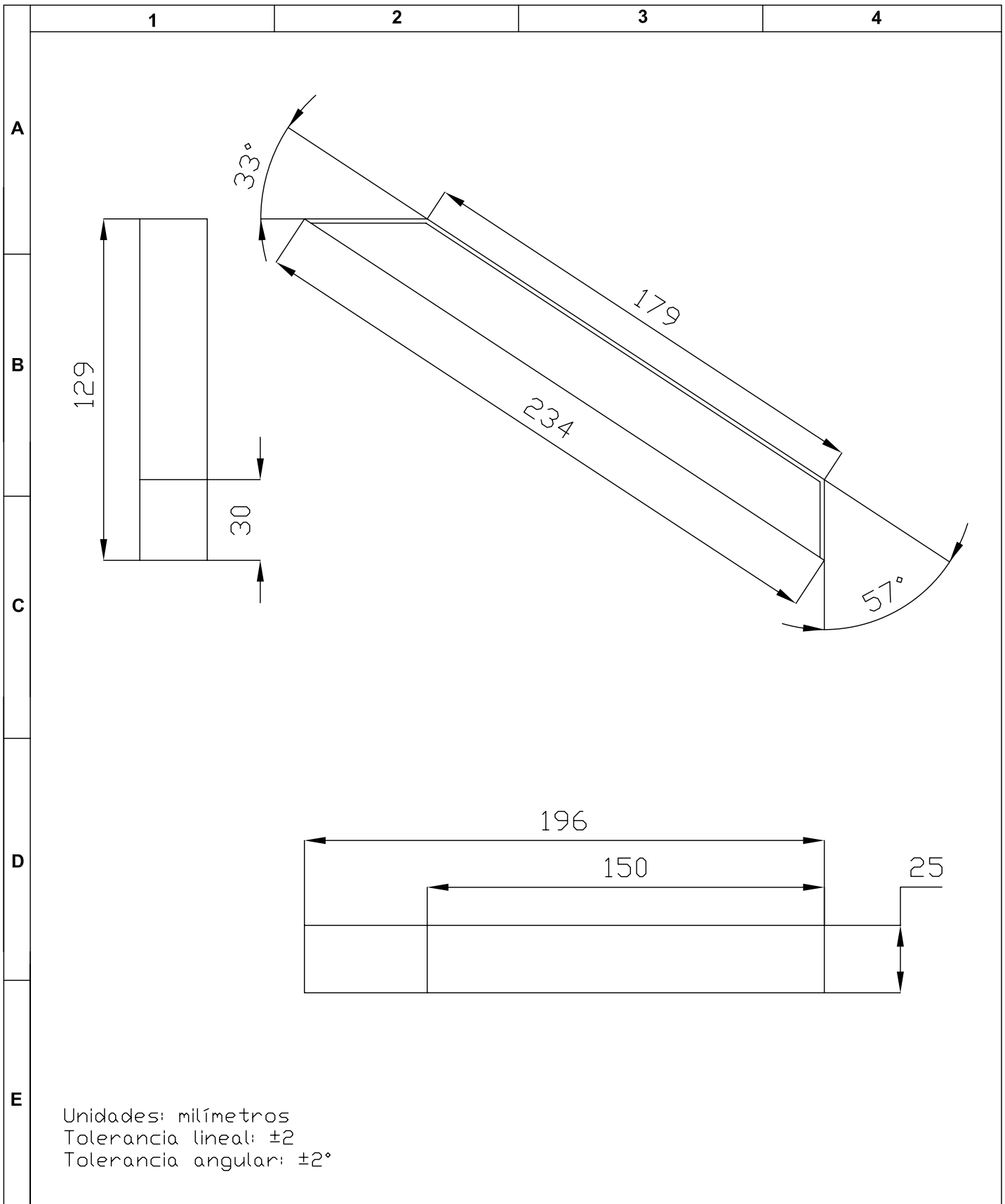


Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ± 2
Tolerancia angular: $\pm 2^\circ$

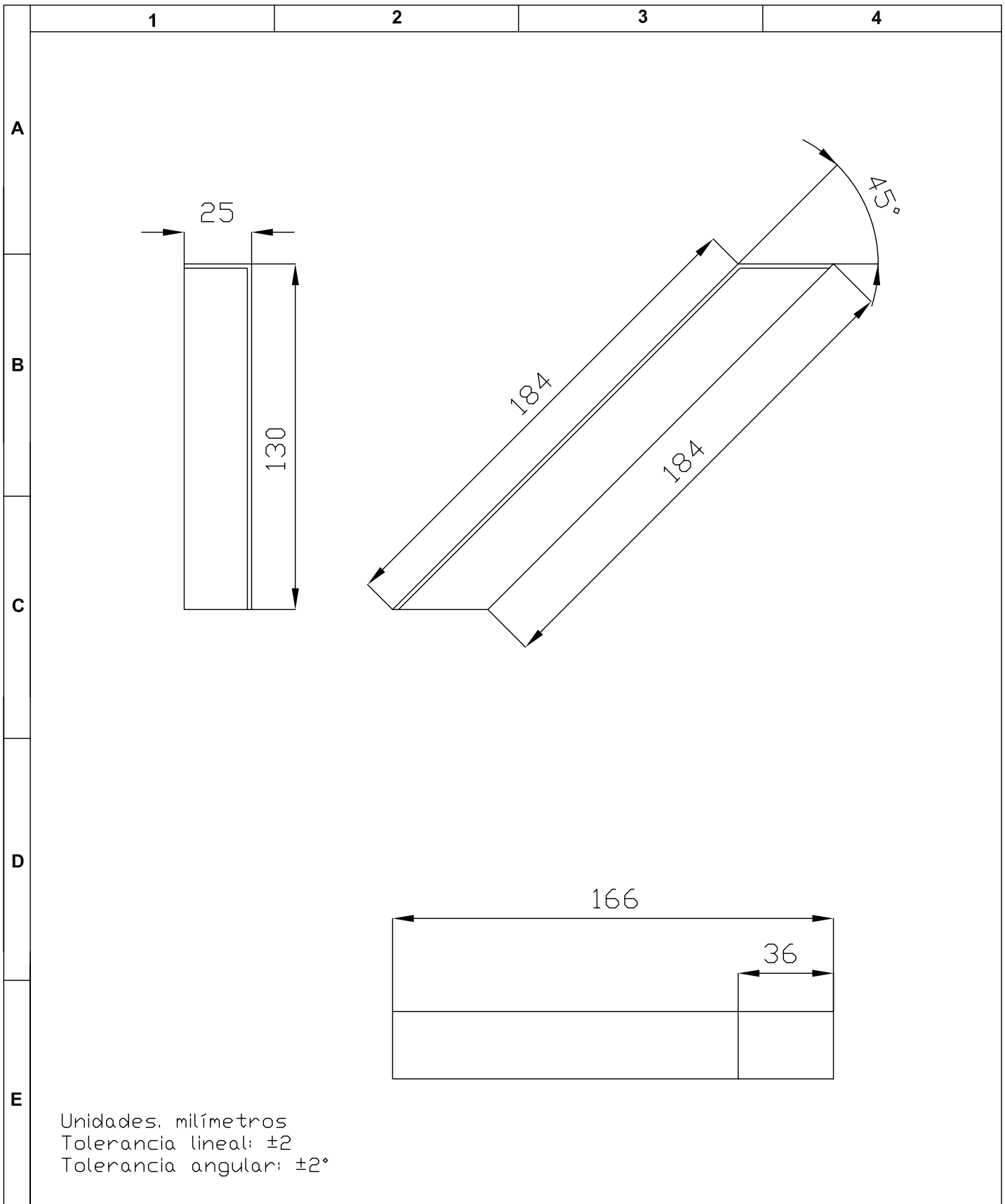
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material:	Cantidad:
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52	1
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez		Contiene:	Escala:
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez		Vistas de brazo A "derecho"	1:10
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código:	VFT-enbast-3-02
				Sustituye a:	
					Hoja: 7/30



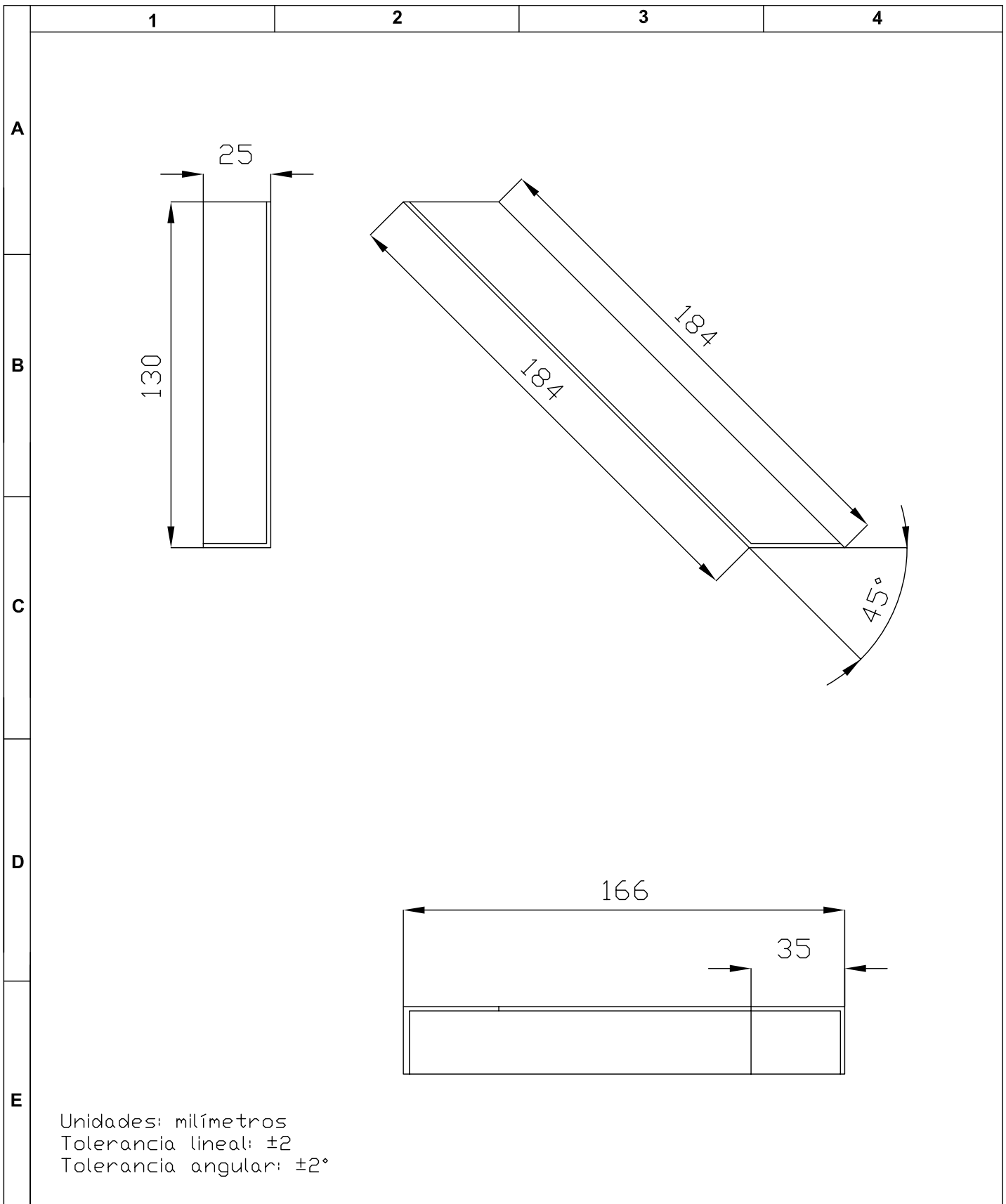
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material:	Cantidad:
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52	1
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez		Contiene:	Escala:
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez		Vistas de brazo B "izquierdo"	1:10
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código:	VFT-enbast-3-03
				Sustituye a:	
					Hoja: 8/30

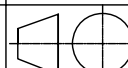


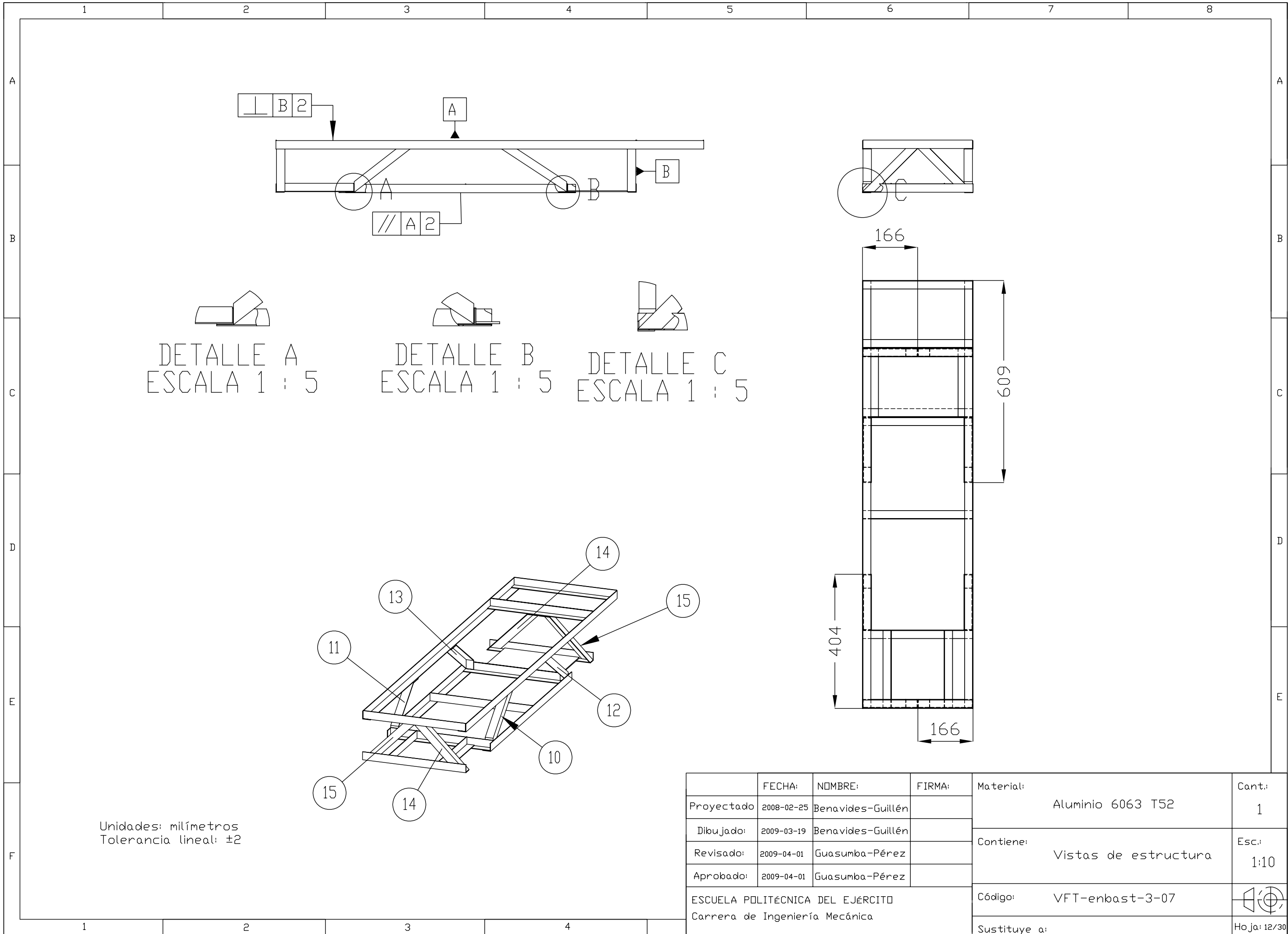
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material:	Cantidad:
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52	1
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de brazo B "derecho"	Escala: 1:10
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-3-04	
				Sustituye a:	



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Aluminio 6063 T52	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de brazo C tipo 1	Escala: 1:10
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-3-05	
				Sustituye a:	Hoja: 10/30



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Aluminio 6063 T52	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de brazo C tipo 2	Escala: 1:10
DIBUJADO	2009/03/18	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-3-06	
				Sustituye a:	Hoja: 11/30




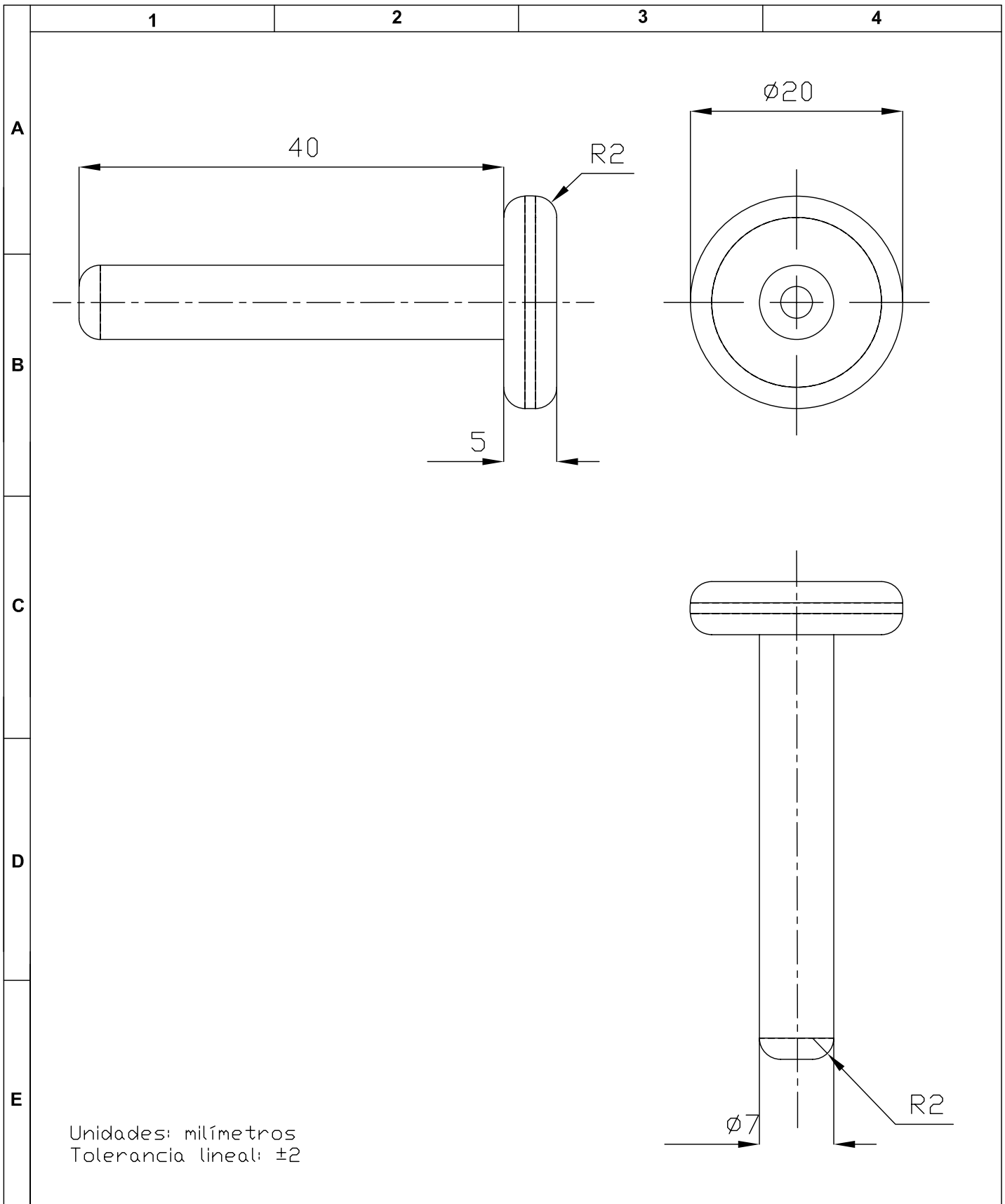
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

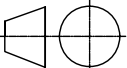
DETALLE B
ESCALA 1 : 5

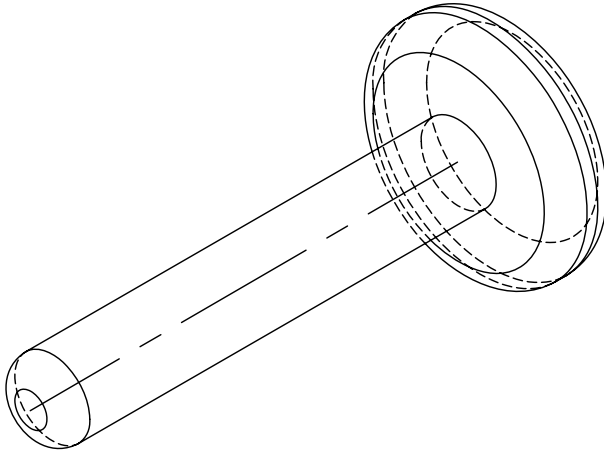
DETALLE C
ESCALA 1 : 5

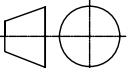
Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ±2

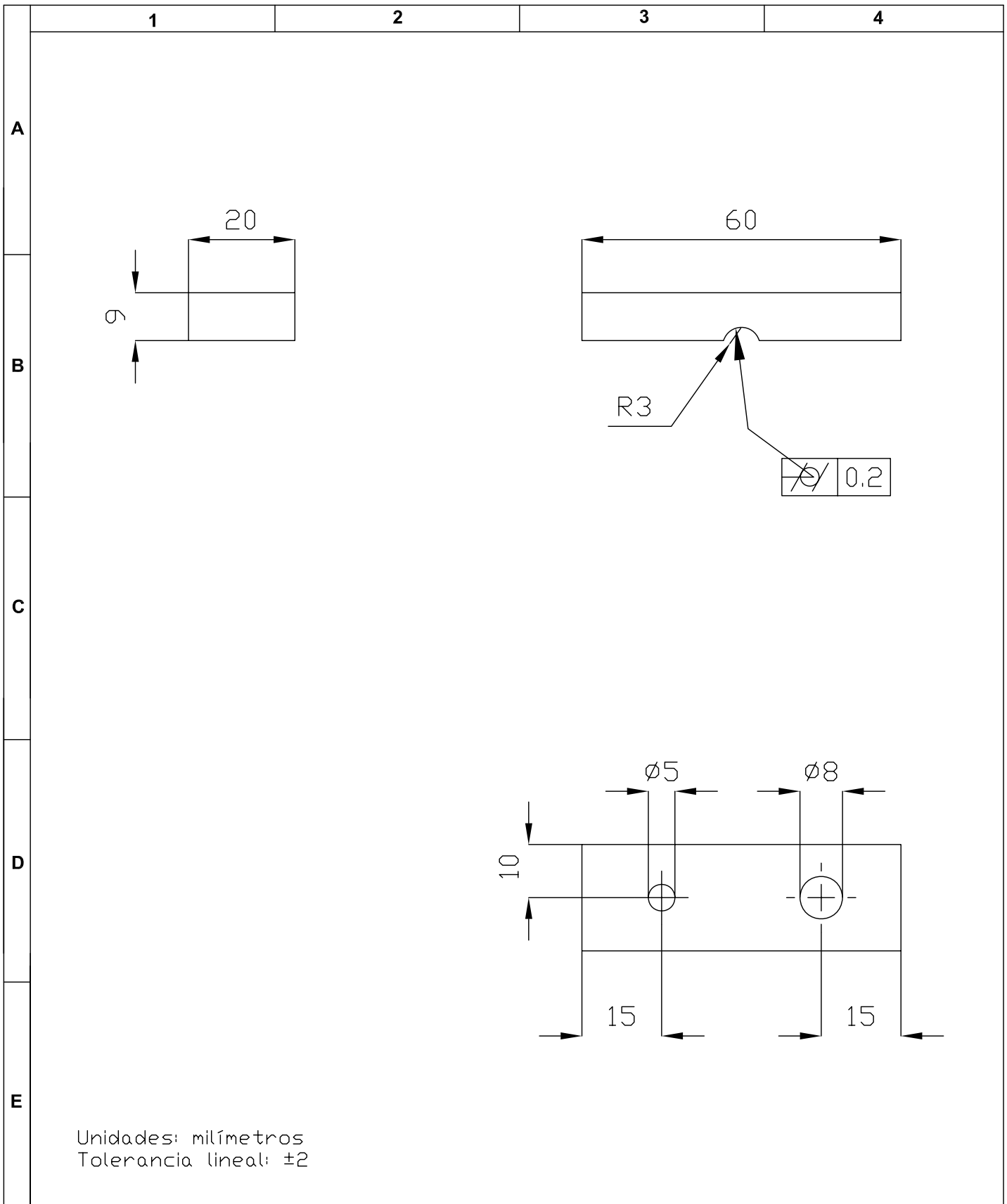
	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:
Proyectado	2008-02-25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52	1
Dibujado:	2009-03-19	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de estructura	Esc.: 1:10
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez			
Aprobado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enbast-3-07	 Hoja: 12/30
				Sustituye a:	



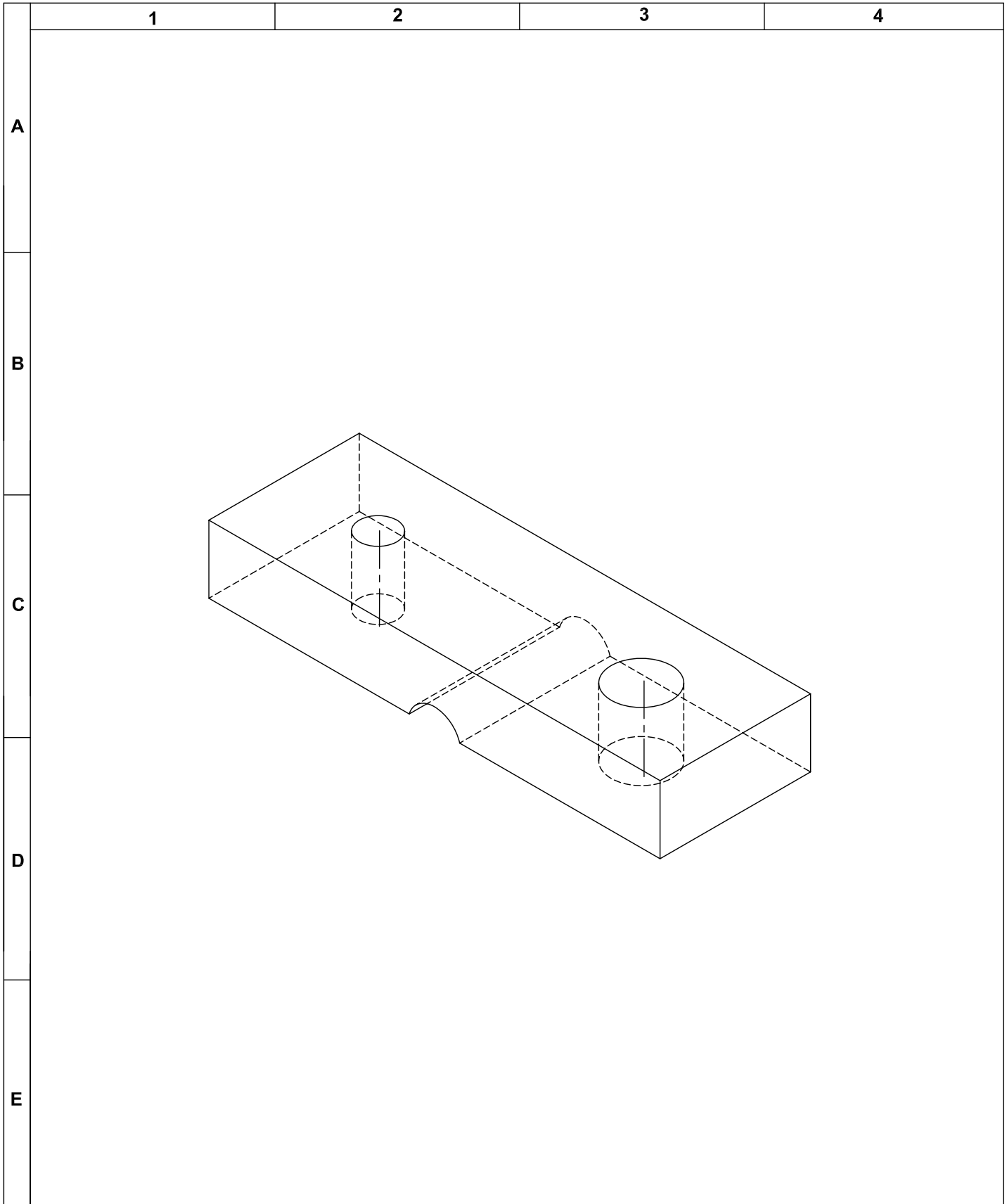
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material:	Cantidad:
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Acero SAE 1018	2
DIBUJADO	2009/03/19	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de eje delantero	Escala: 2:1
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-1-01	 Hoja: 13/30
				Sustituye a:	

	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

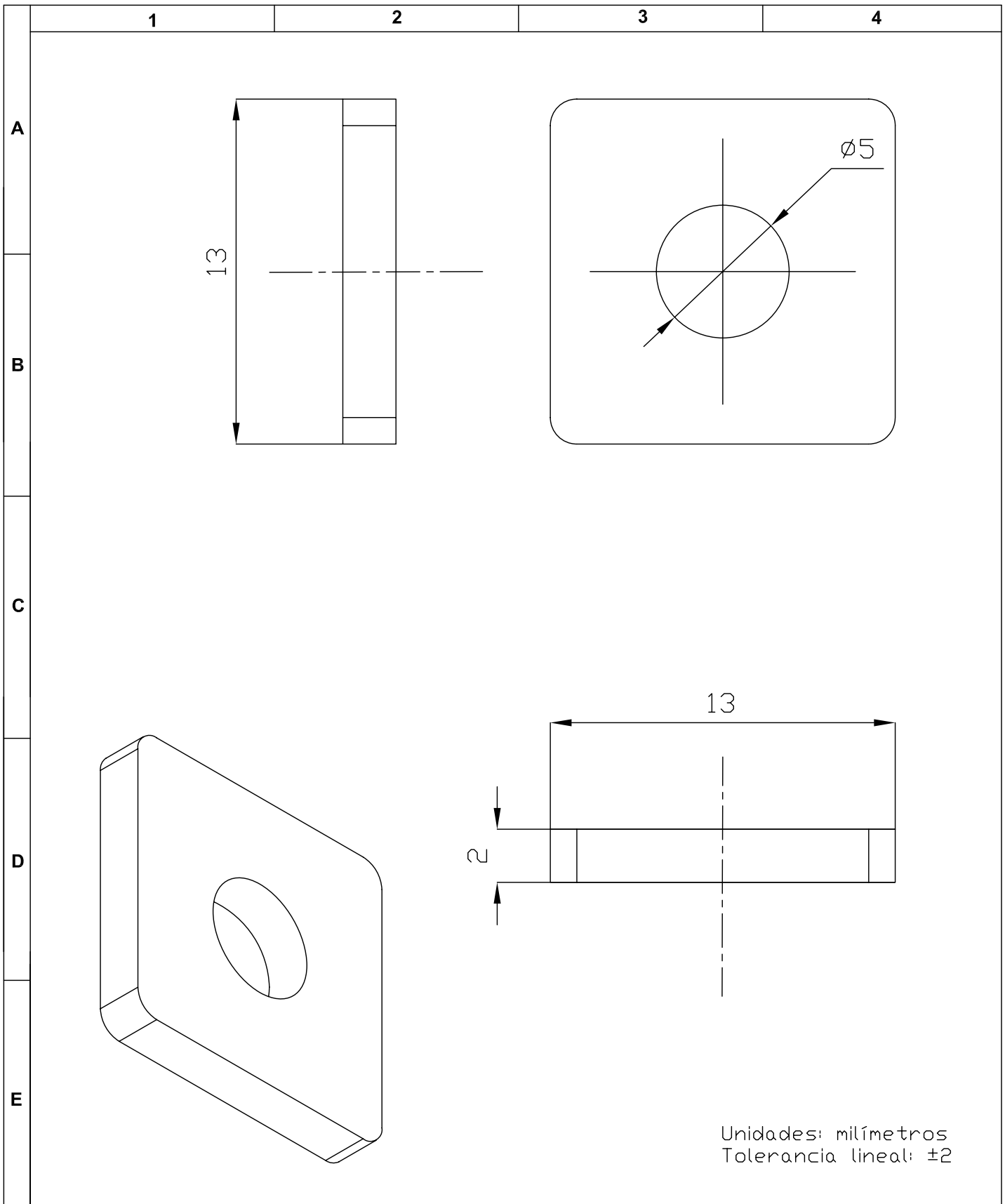
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero SAE 1018	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de eje delantero	Escala: 2:1
DIBUJADO	2009/03/19	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez		Código: VFT-eneje-1-02	
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Sustituye a:	Hoja: 14/30



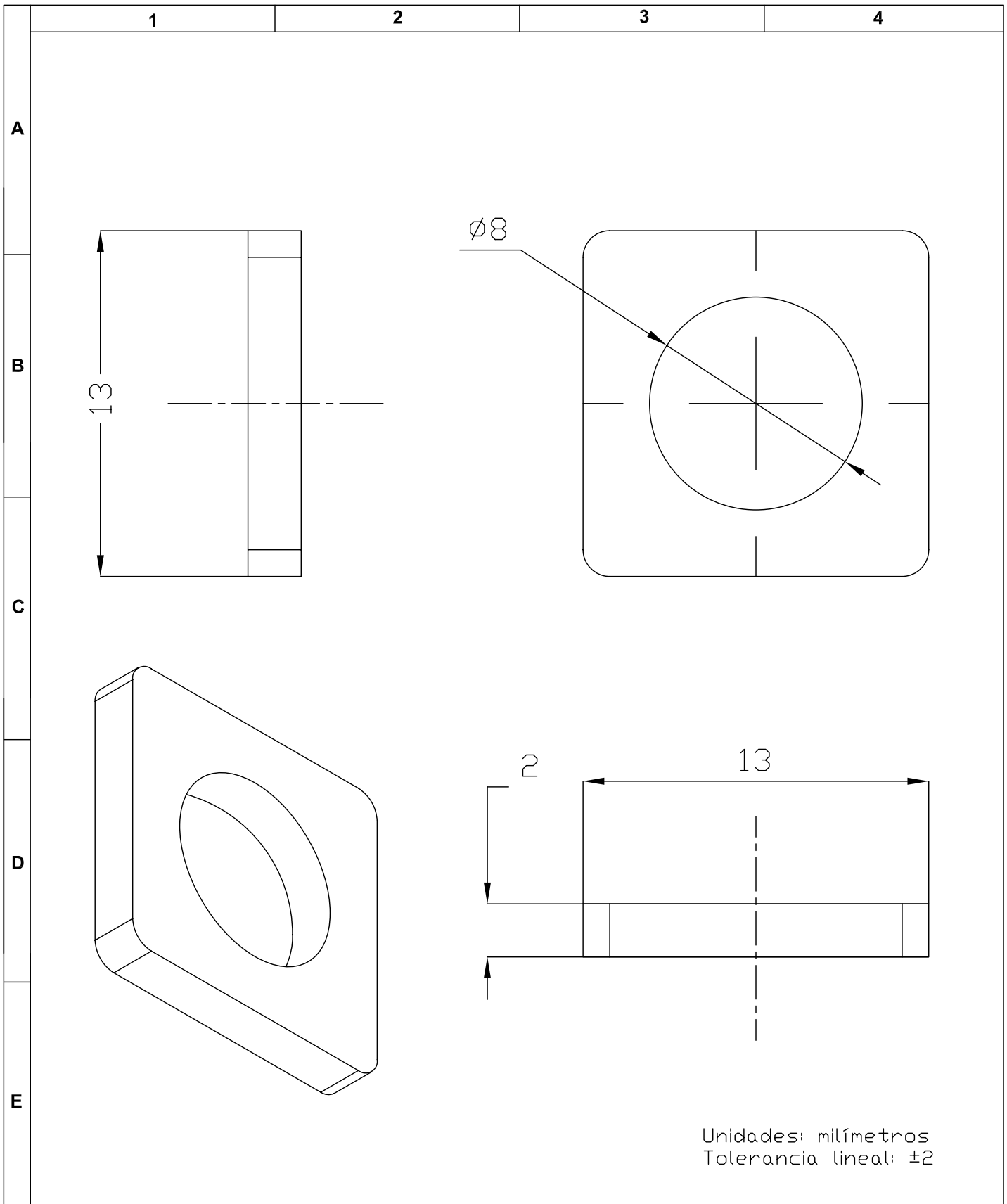
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero ASTM 1020	Cantidad: 4
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de mordaza rueda	Escala: 1:1
DIBUJADO	2009/03/19	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-2-01	
				Sustituye a:	Hoja: 15/30



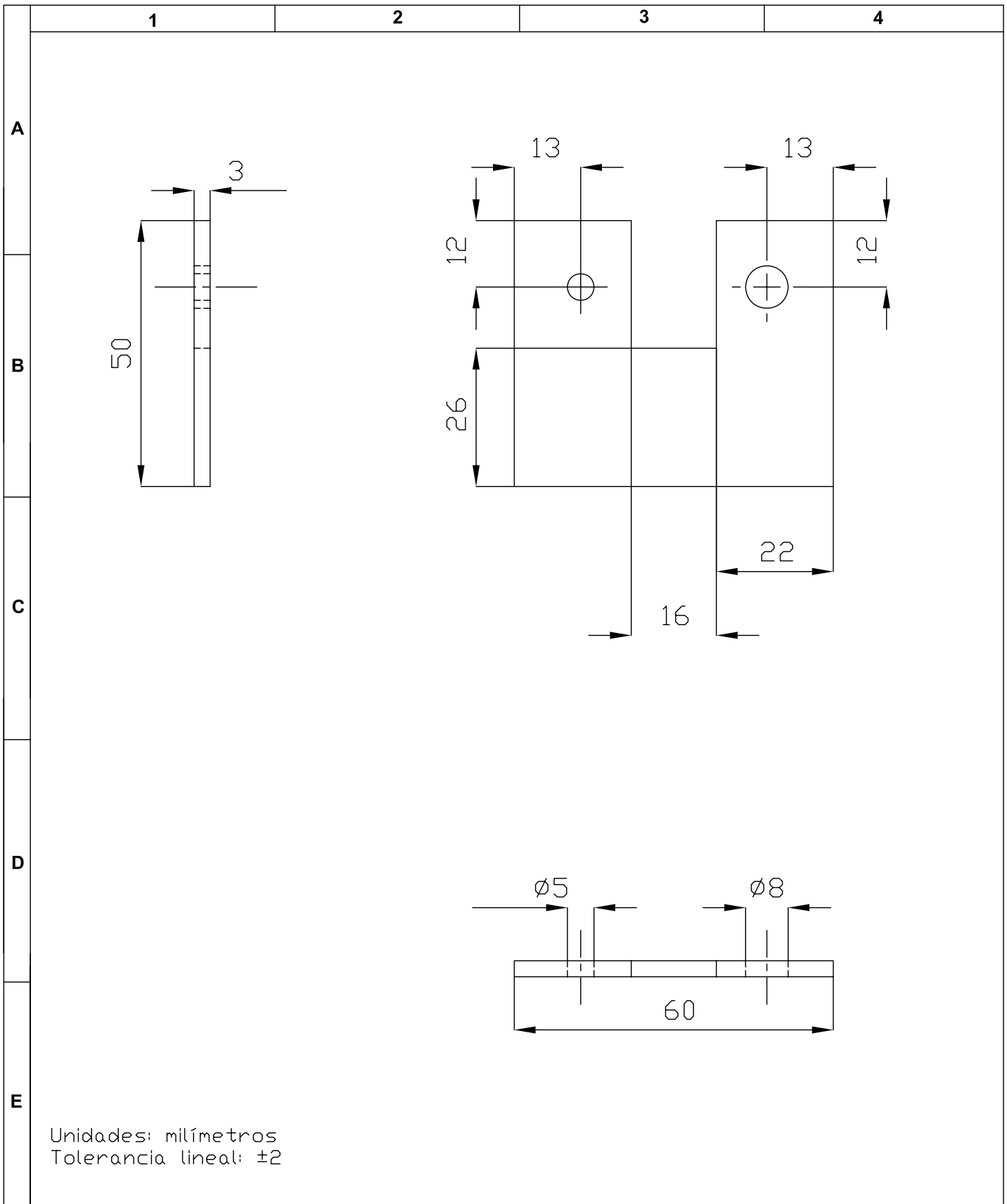
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero AISI 1020	Cantidad: 4
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de mordaza de rueda	Escala: 2:1
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-2-02	
				Sustituye a:	Hoja: 16/30



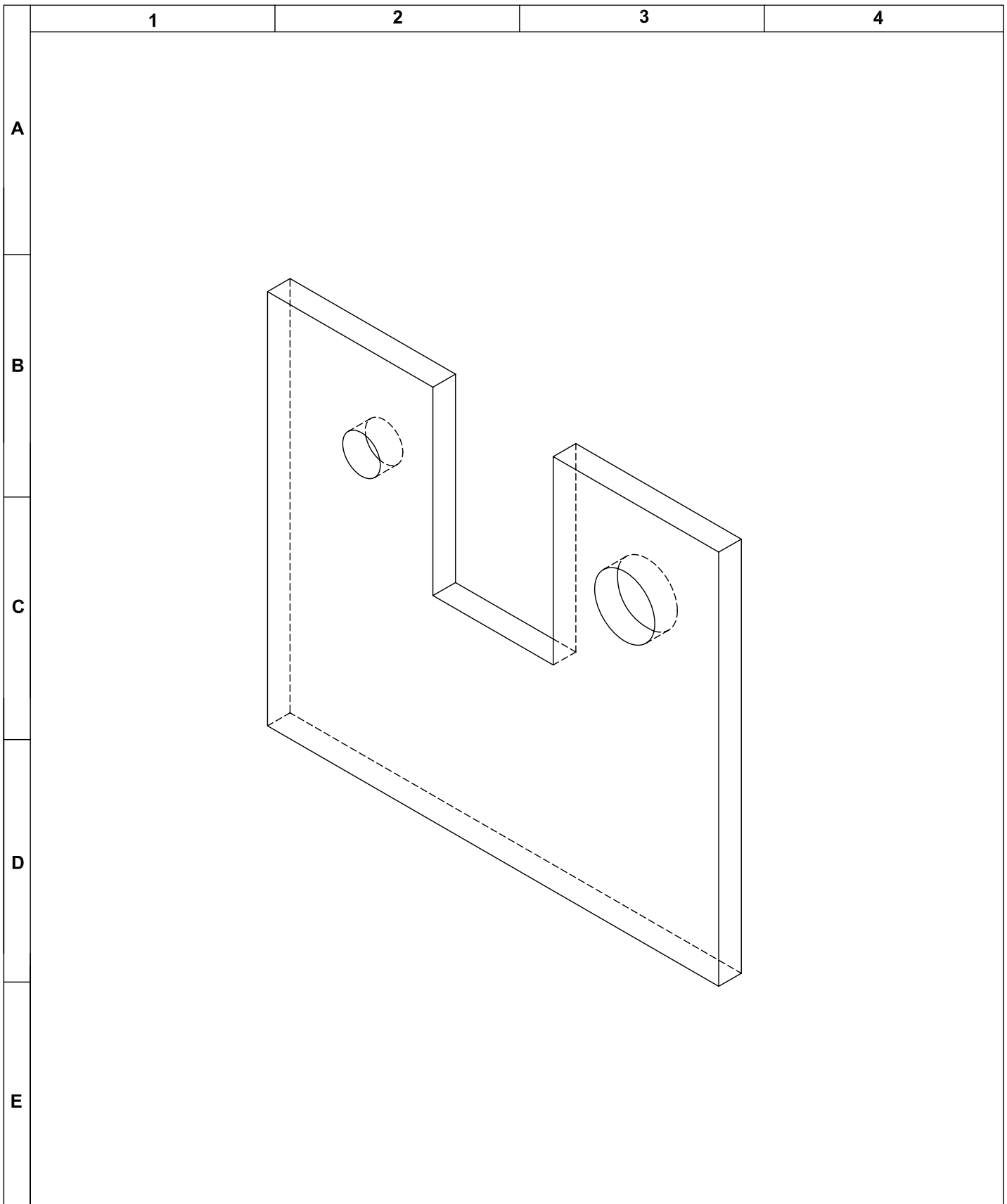
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero ASTM 1020	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas e isometría de alza tipo 1	Escala: 5:1
DIBUJADO	2009/03/19	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-3-01	
				Sustituye a:	



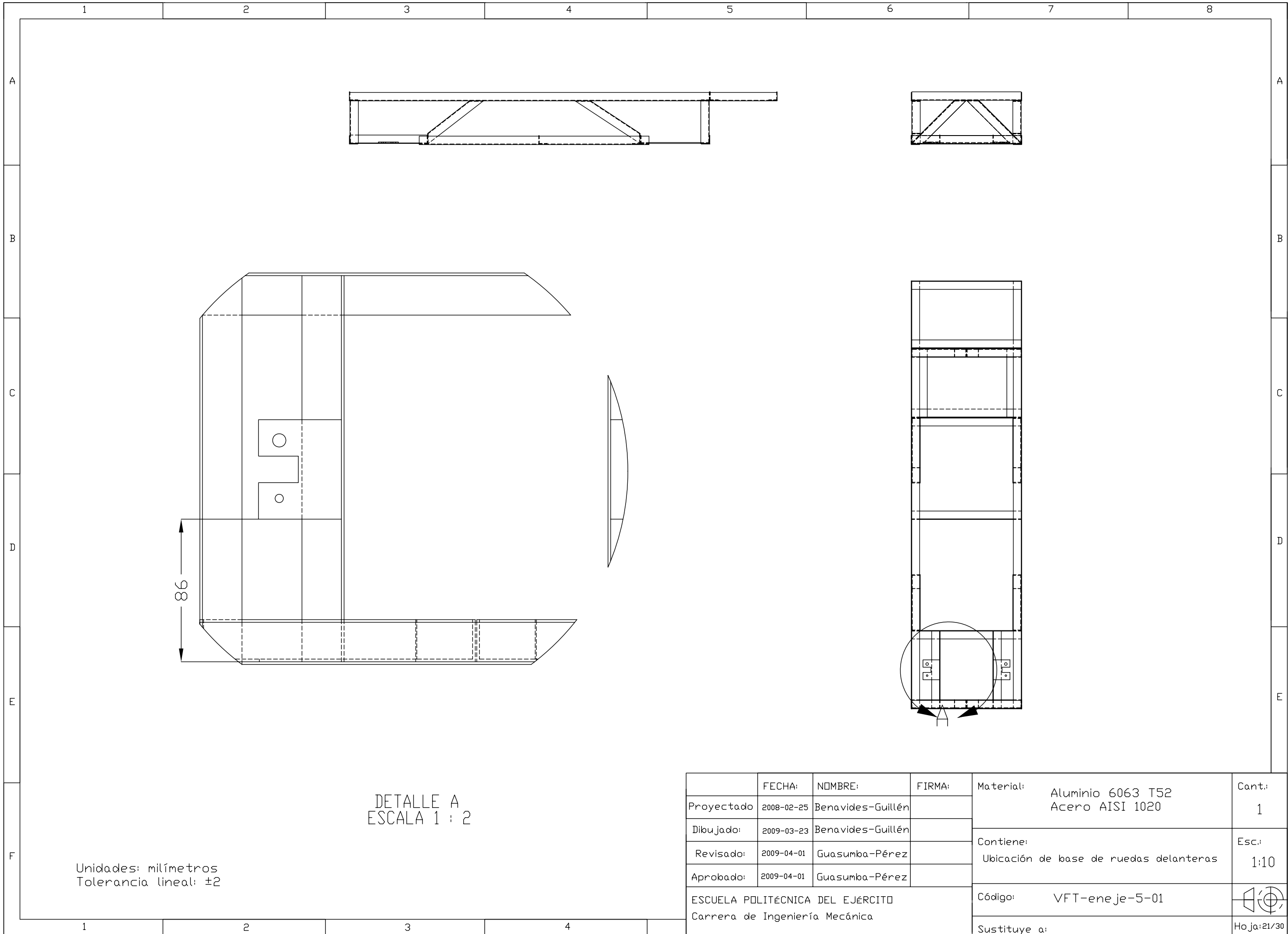
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero ASTM 1020	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas e isometría de alza tipo 2	Escala: 5:1
DIBUJADO	2009/03/19	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-3-02	
				Sustituye a:	Hoja: 18/30



	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero AISI 1020	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de base de ruedas delanteras	Escala: 1:1
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-4-01	
				Sustituye a:	

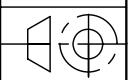


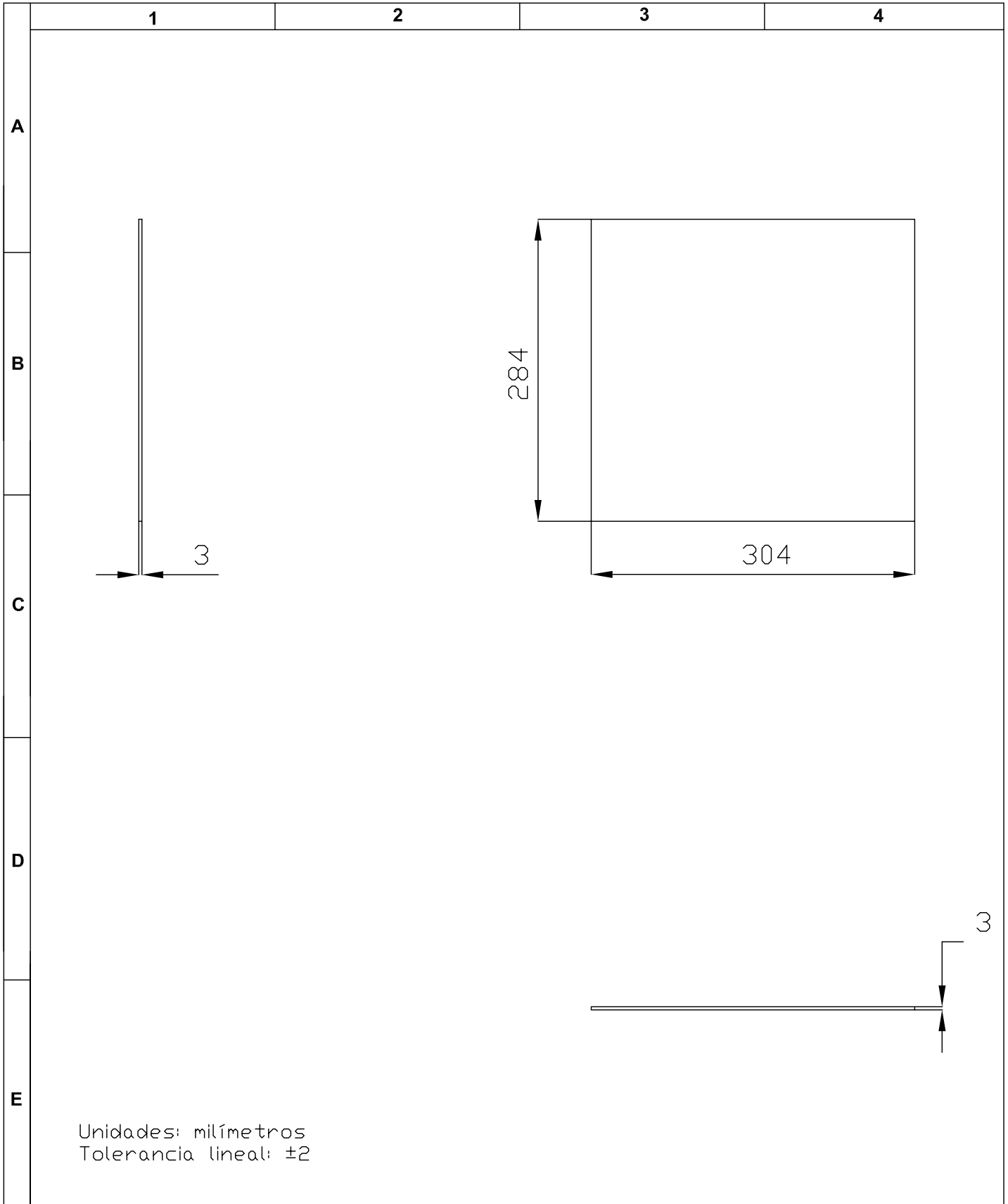
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acero AISI 1020	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de base de ruedas delanteras	Escala: 2:1
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-eneje-4-02	
				Sustituye a:	Hoja: 20/30



Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ±2

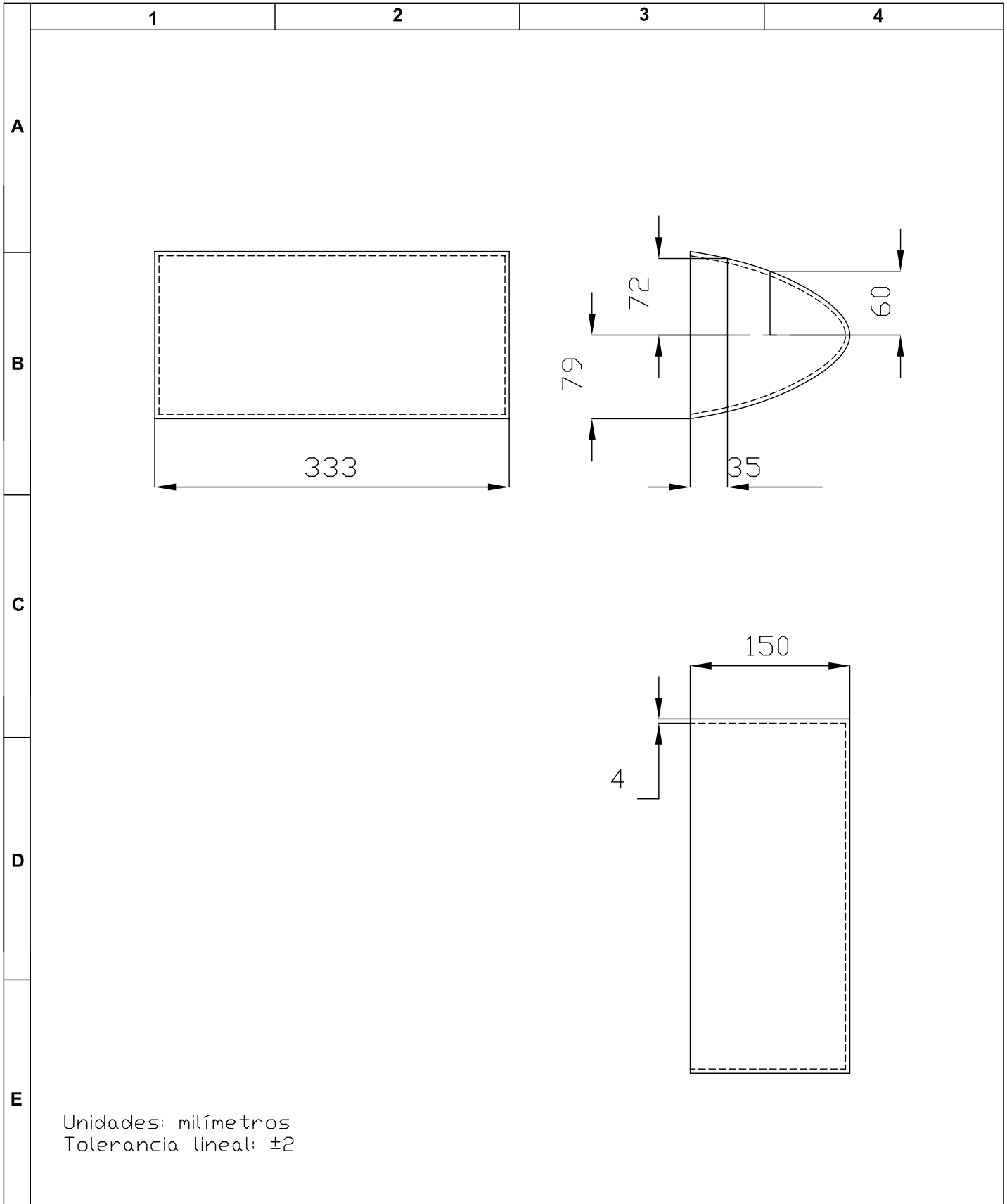
DETALLE A
ESCALA 1 : 2

	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:	
Proyectado	2008-02-25	Benavides-Guillén		Aluminio 6063 T52 Acero AISI 1020	1	
Dibujado:	2009-03-23	Benavides-Guillén		Contiene: Ubicación de base de ruedas delanteras	Esc.:	
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez				1:10
Aprobado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez				
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código:		
				Sustituye a:		
					 Hoja: 21/30	



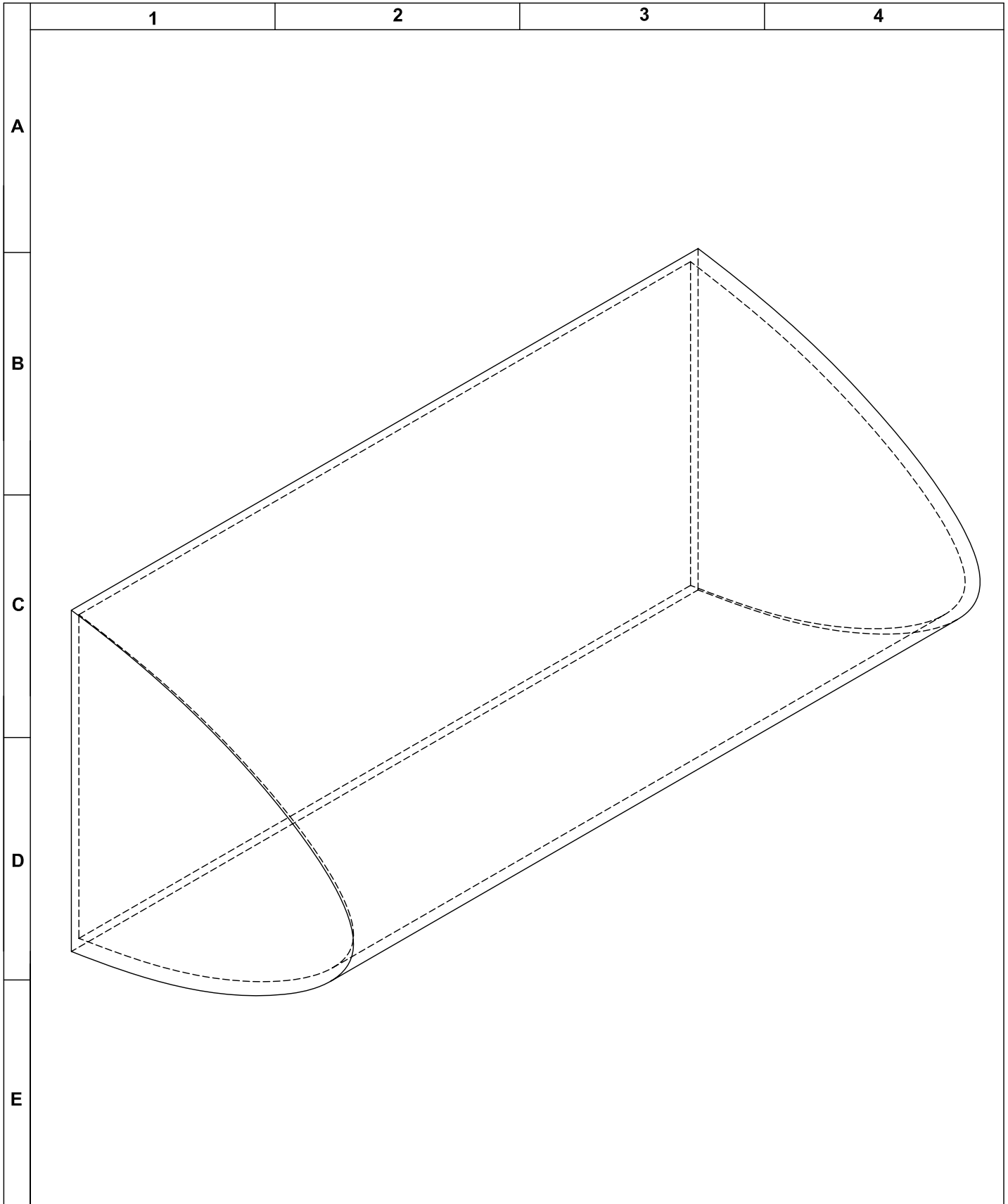
Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ± 2

	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Plástico	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de soporte de batería	Escala: 1:5
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-ensprt-1-01	
				Sustituye a:	

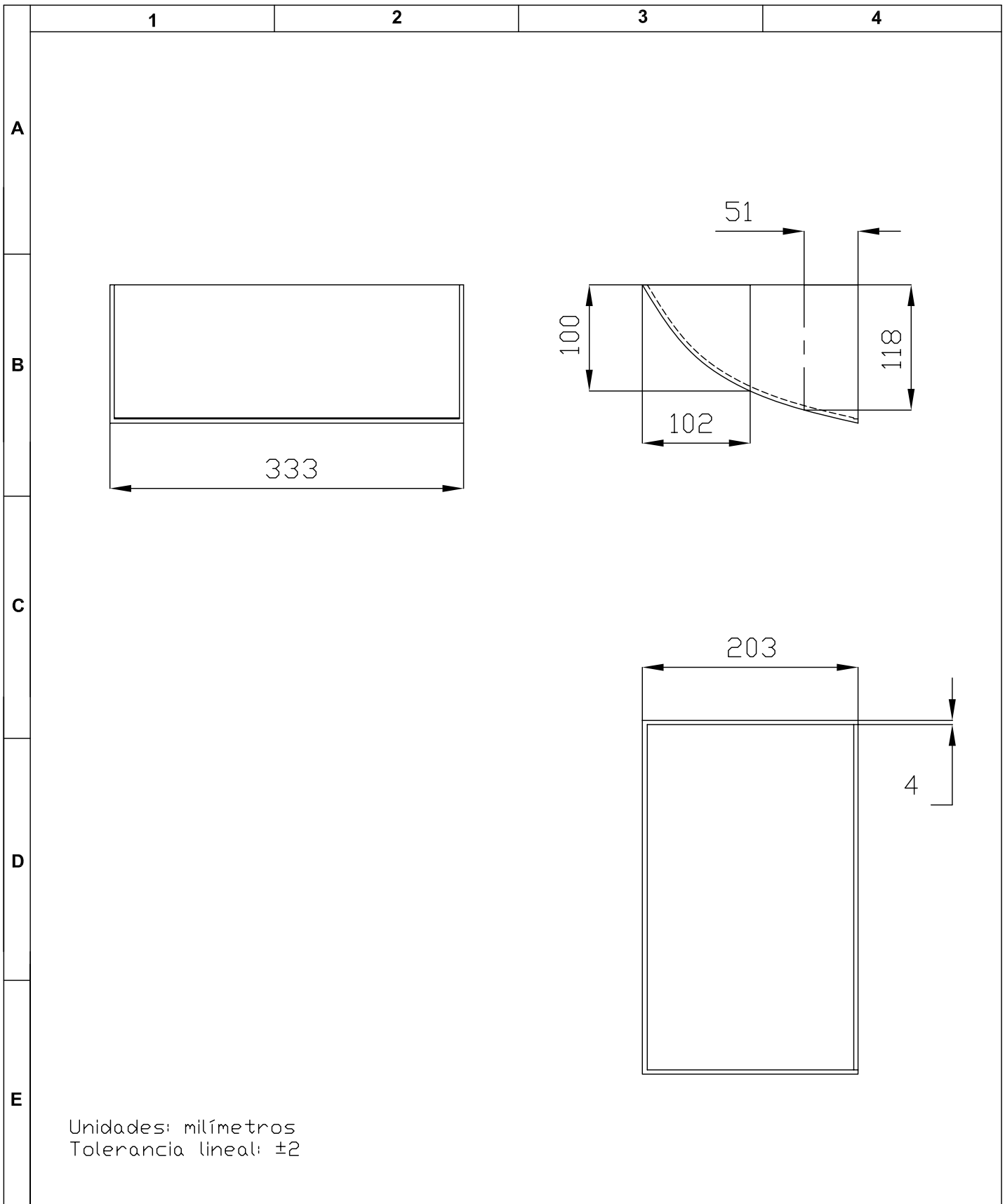


Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ± 2

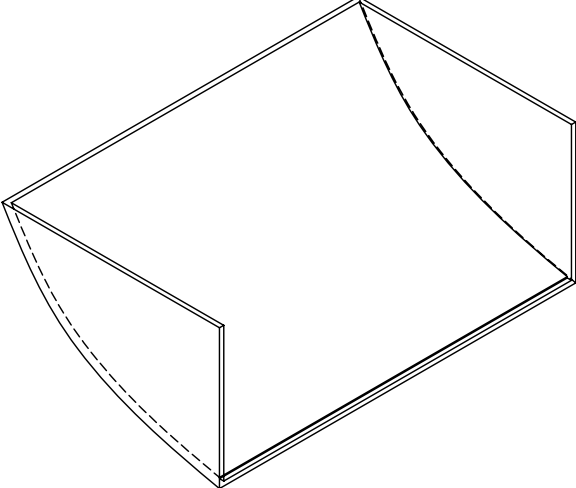
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acrílico obscurecido	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de carrocería delantera	Escala: 1:5
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-encar-1-01	
				Sustituye a:	

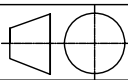


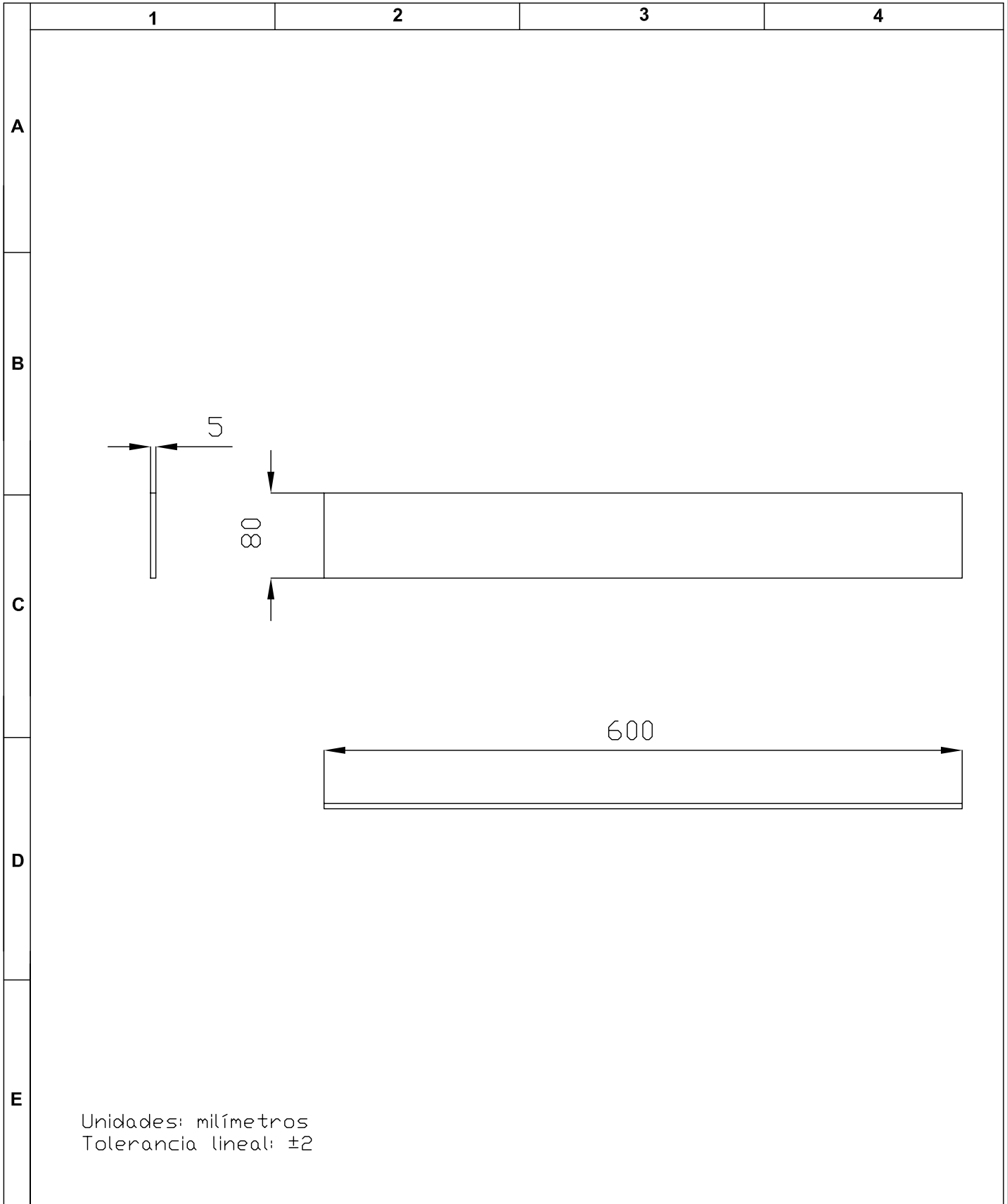
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acrílico obscurecido	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de carrocería delantera	Escala: 1:2
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-encar-1-02	
				Sustituye a:	Hoja: 24/30



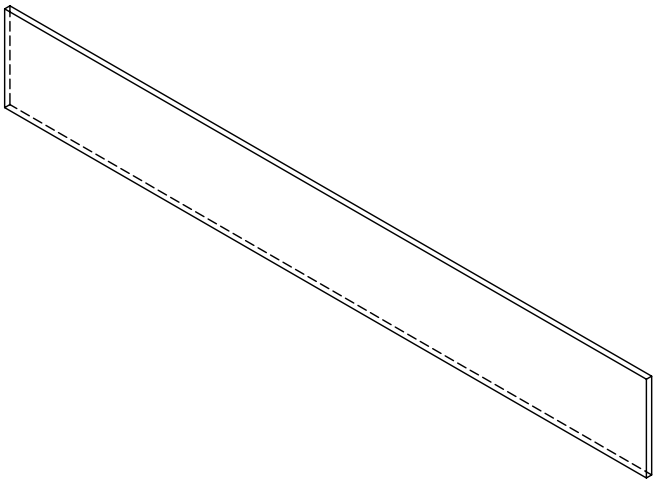
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acrílico obscurecido	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de carrocería posterior	Escala: 1:5
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-encar-2-01	
				Sustituye a:	Hoja: 25/30

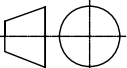
	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

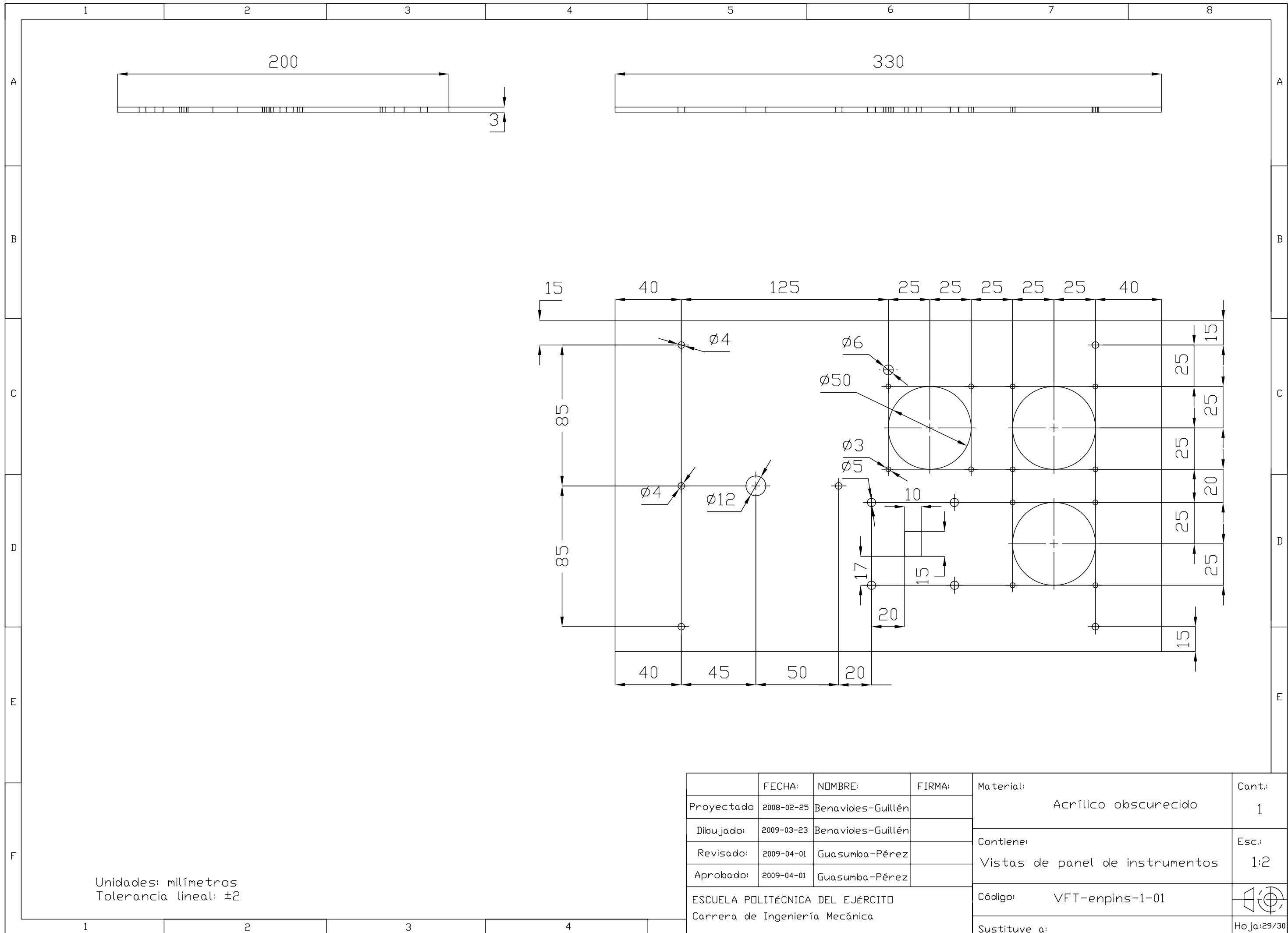
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Acrílico obscurecido	Cantidad: 1
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de carrocería posterior	Escala: 1:5
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-encar-2-02	
				Sustituye a:	




	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Madera de balsa	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de carrocería lateral	Escala: 1:5
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-encar-3-01	
				Sustituye a:	Hoja: 27/30

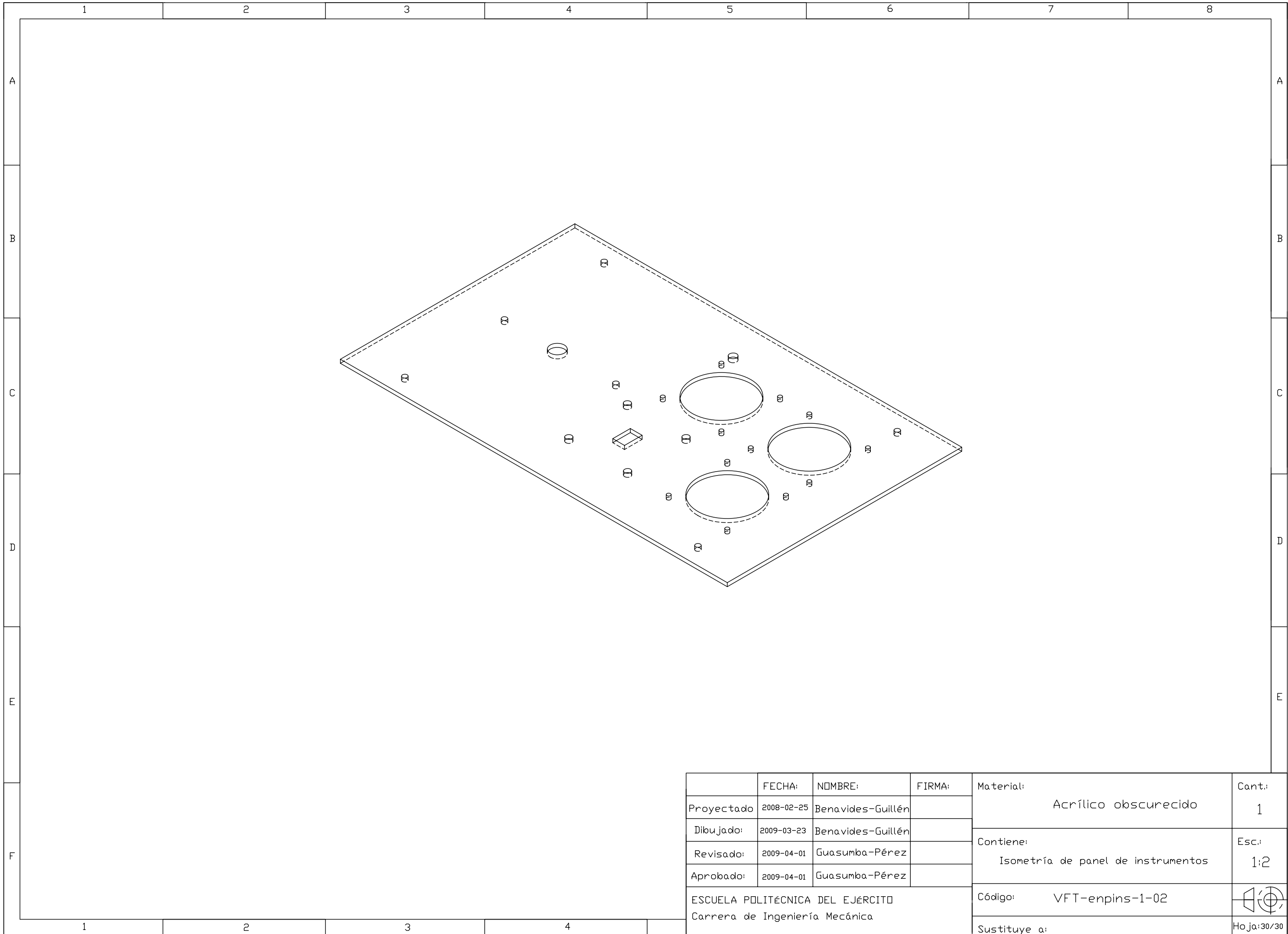
	1	2	3	4
A				
B				
C				
D				
E				

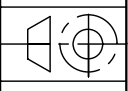
	FECHA	NOMBRE	FIRMA	Material: Madera de balsa	Cantidad: 2
PROYECTADO	2008/02/25	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de carrocería lateral	Escala: 1:5
DIBUJADO	2009/03/23	Benavides-Guillén			
REVISADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
APROBADO	2009/04/01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-encar-3-02	
				Sustituye a:	Hoja: 28/30



Unidades: milímetros
Tolerancia lineal: ±2

	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:
Proyectado	2008-02-25	Benavides-Guillén		Acrílico oscurecido	1
Dibujado:	2009-03-23	Benavides-Guillén		Contiene: Vistas de panel de instrumentos	Esc.:
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez			1:2
Aprobado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez			
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enspins-1-01	 Hoja: 29/30
				Sustituye a:	



	FECHA:	NOMBRE:	FIRMA:	Material:	Cant.:	
Proyectado	2008-02-25	Benavides-Guillén		Acrílico oscurecido	1	
Dibujado:	2009-03-23	Benavides-Guillén		Contiene: Isometría de panel de instrumentos	Esc.:	
Revisado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez				1:2
Aprobado:	2009-04-01	Guasumba-Pérez				
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO Carrera de Ingeniería Mecánica				Código: VFT-enspins-1-02	 Hoja: 30/30	
				Sustituye a:		

ANEXO D

Gráfica del método ROSSA para sistemas fotovoltaicos

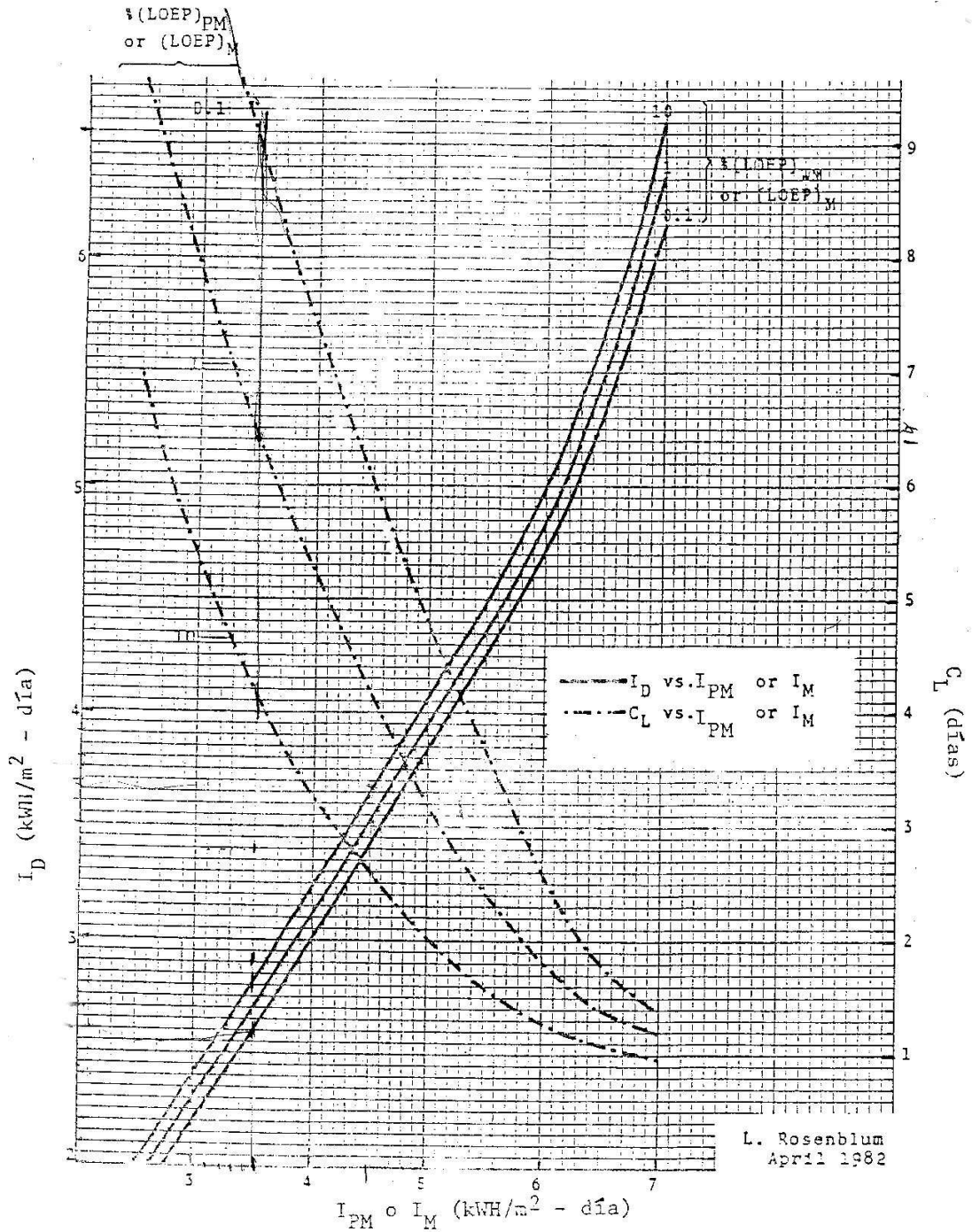
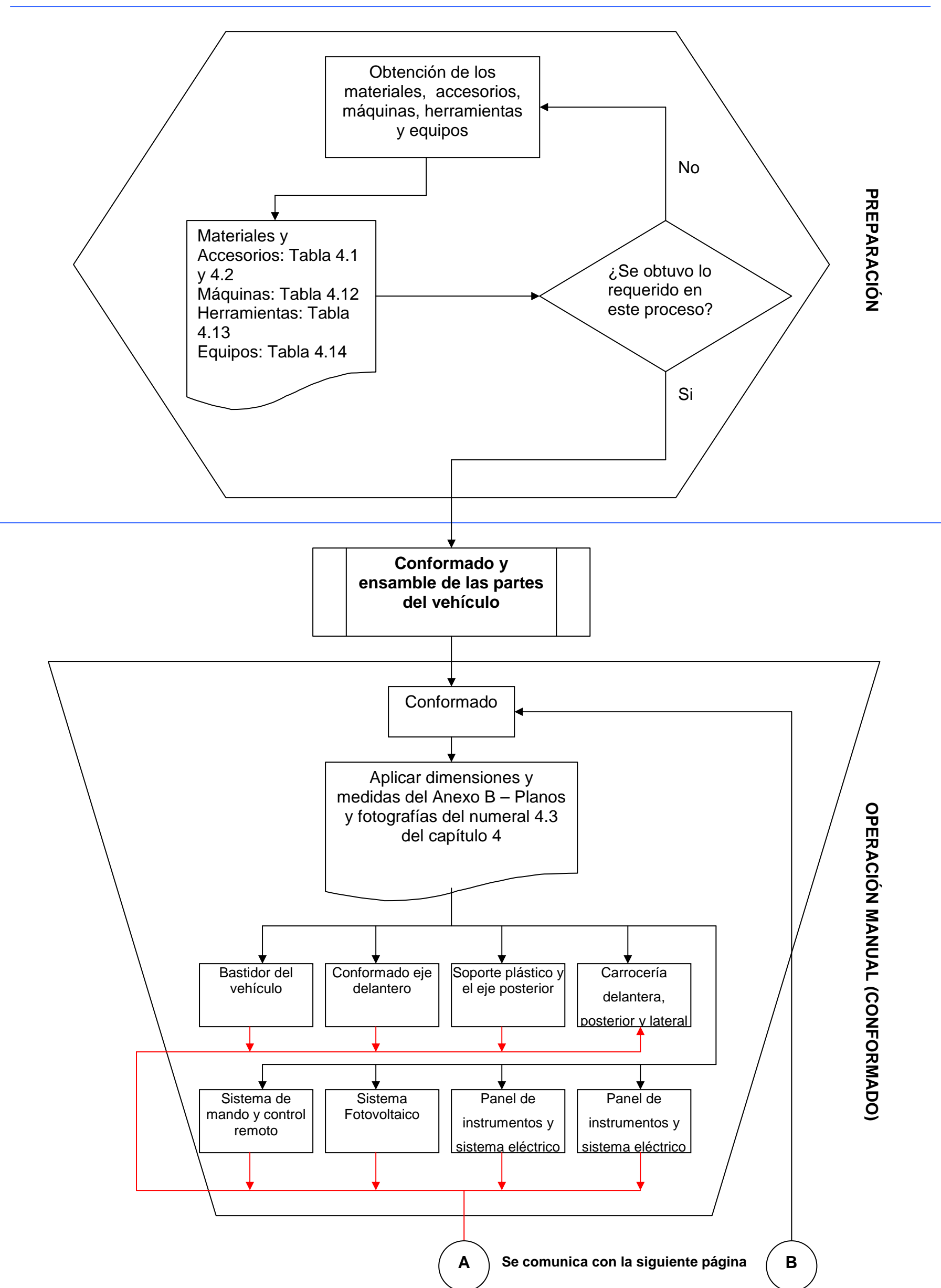
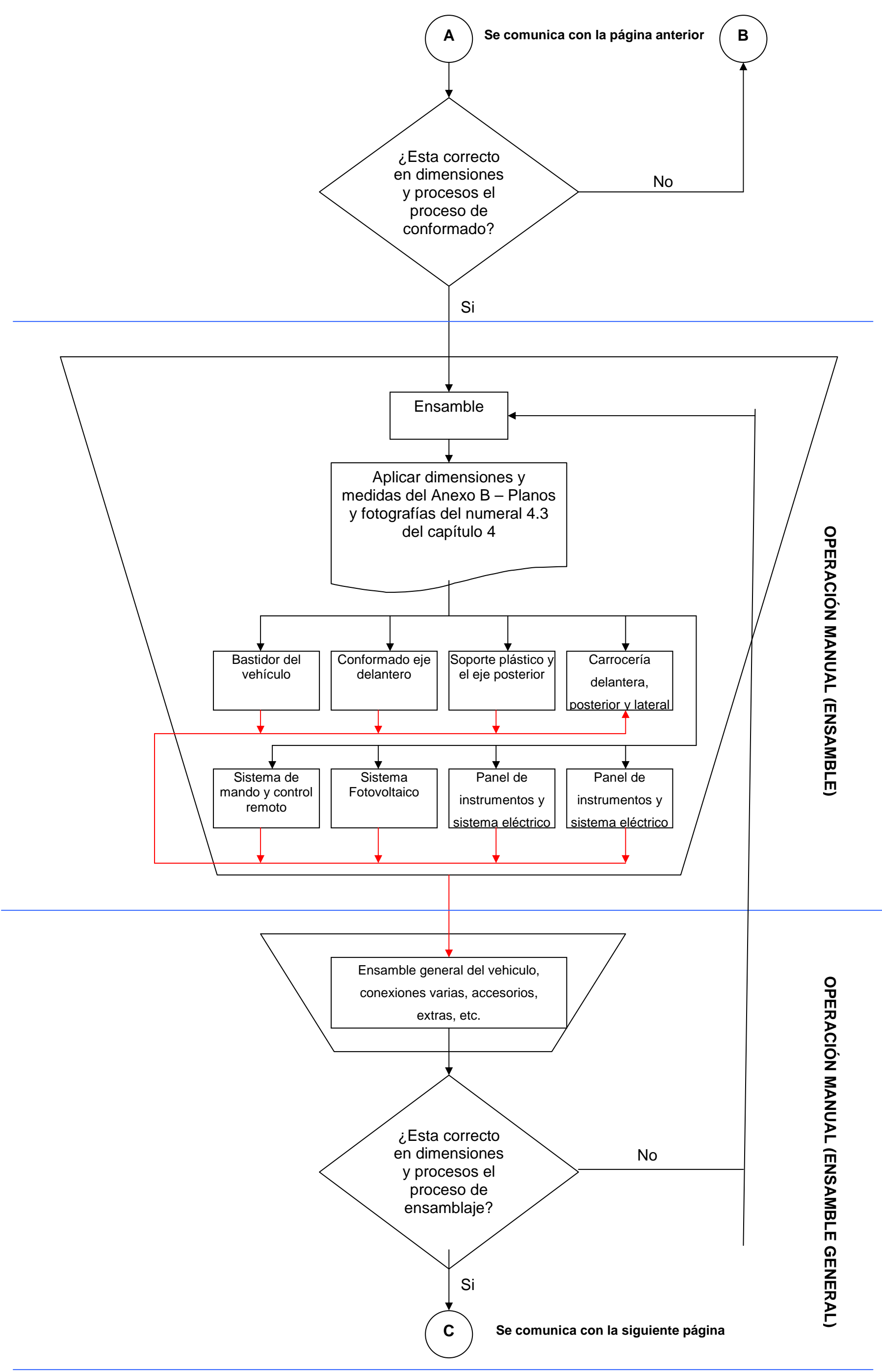


Ilustración 12.5-1 Rapid Optimum System Sizing Aid (ROSSA)
 (Medio Auxiliar para la Evaluación Rápida del
 Tamaño del Sistema)

ANEXO F

Organigrama de proceso de la construcción y montaje del modelo de vehículo experimental de 40 Wp. con energía solar fotovoltaica





A

Se comunica con la página anterior

B

¿Esta correcto en dimensiones y procesos el proceso de conformado?

No

Si

Ensamble

Aplicar dimensiones y medidas del Anexo B – Planos y fotografías del numeral 4.3 del capítulo 4

Bastidor del vehículo

Conformado eje delantero

Soporte plástico y el eje posterior

Carrocería delantera, posterior y lateral

Sistema de mando y control remoto

Sistema Fotovoltaico

Panel de instrumentos y sistema eléctrico

Panel de instrumentos y sistema eléctrico

Ensamble general del vehiculo, conexiones varias, accesorios, extras, etc.

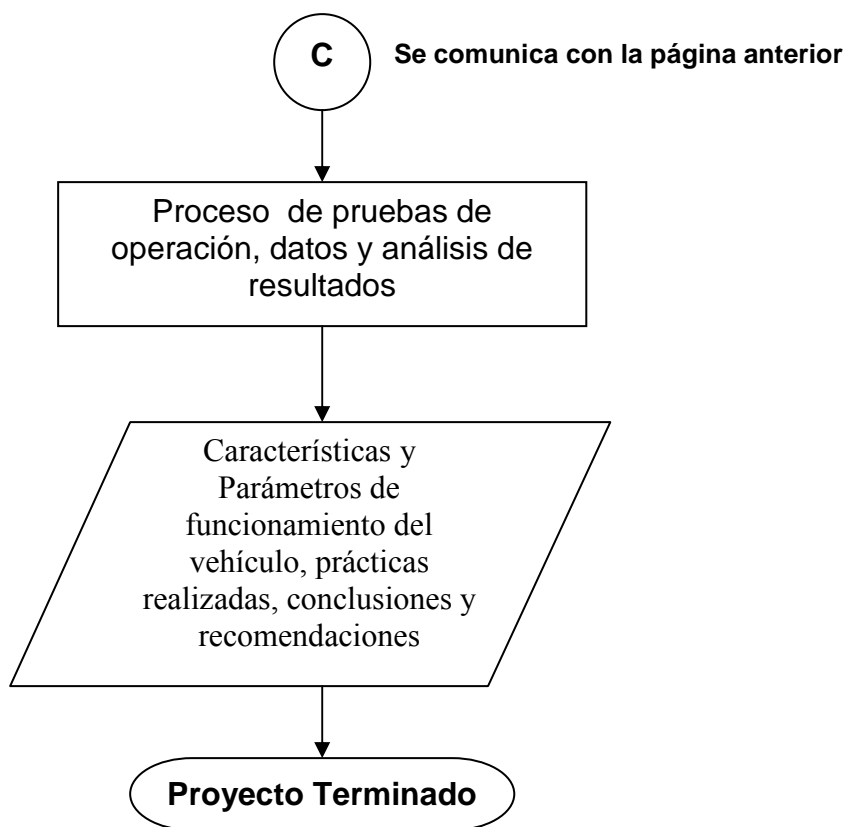
¿Esta correcto en dimensiones y procesos el proceso de ensamblaje?

No

Si

C

Se comunica con la siguiente página



TERMINADO, PRUEBAS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXO G

Práctica de Laboratorio de Energías Renovables

1. Aplicación de la energía solar fotovoltaica en vehículos de transporte.

2. Objetivos:

- Determinar la eficiencia del panel solar.
- Determinar el comportamiento del vehículo (velocidad y aceleración) en función de la radiación y la temperatura superficial del panel solar.
- Establecer las pérdidas de potencia desde el motor hacia las ruedas.

3. Equipo requerido:

- Vehículo solar fotovoltaico de 40 Wp (Sunride).
- Termómetro de ambiente.
- Termómetro láser (temperatura superficial de panel).
- Solarímetro.
- Cronómetro.
- Amperímetro.

4. Introducción:

Células fotovoltaicas y paneles solares

Estructura física de una célula fotovoltaica

Una célula solar es un sistema semiconductor que absorbe luz (energía solar) y la convierte en energía eléctrica. Para convertir la energía del Sol en energía eléctrica y poder utilizarla de la forma más eficiente y racional posible se diseñan los sistemas fotovoltaicos. La célula solar es el elemento que convierte los fotones que proceden del Sol en una corriente eléctrica que circula por un

elemento que denominamos carga. Hoy en día la célula solar más común es un dispositivo de estado sólido fabricado con materiales semiconductores.

El efecto fotovoltaico fue identificado por primera vez en 1839 por Becquerel, quien observó que la tensión que aparecía entre dos electrodos inmersos en electrolito dependía de la intensidad de luz que incidiese sobre ellos. El mismo efecto fue observado por Adams y Day, en 1879, pero esta vez utilizando un elemento sólido: el Selenio. Sin embargo la primera célula solar moderna tuvo que esperar a Chapin en 1954. Fue una célula de Silicio y no se dieron muchos detalles de su estructura, debido probablemente al temor a que fuese copiada. La motivación para el estudio y desarrollo de las células solares durante los primeros años de investigación fue su aplicación como fuente suministradora de energía a los satélites espaciales. Hoy se espera que las células solares y la energía solar fotovoltaica contribuyan de forma importante al suministro de energía limpia a la sociedad.

El sistema de suministro de potencia de un vehículo solar

El sistema de suministro de potencia de un vehículo solar consiste en un conjunto de células fotovoltaicas (panel solar), un grupo de baterías y, opcionalmente, algún tipo de convertidor para igualar la tensión del panel solar con la de las baterías (Figura 1).

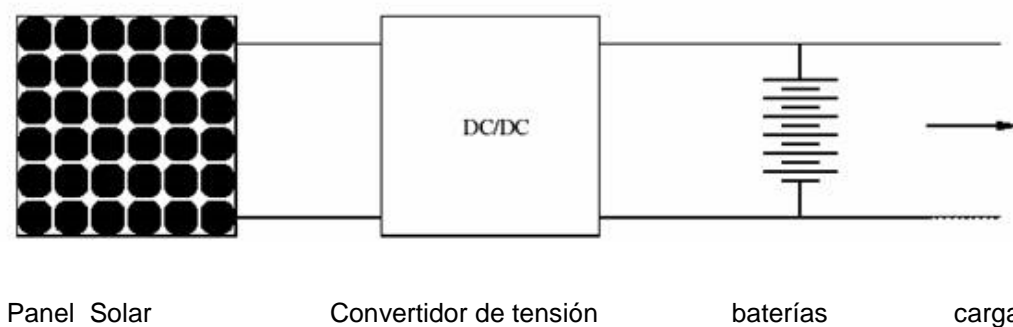


Figura 1: Esquema del sistema de potencia de un vehículo solar fotovoltaico.

5. Marco Teórico:

Eficiencia en la conversión de energía.

La eficiencia de una célula solar (η), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiancia (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c}$$

La STC especifica una temperatura de $25^\circ C$ y una irradiancia de $1000 W/m^2$ con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de $41,81^\circ$ sobre la horizontal.

Potencia eléctrica en corriente continua:

Cuando se trata de corriente continua (CC) la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante por un dispositivo de dos terminales es el producto de la diferencia de potencial entre dichos terminales y la intensidad de corriente que pasa a través del dispositivo. Esto es:

$$P = V \cdot I$$

Donde I es el valor instantáneo de la corriente y V es el valor instantáneo del voltaje. Si I se expresa en amperios y V en voltios, P estará expresada en watts (vatios). Igual definición se aplica cuando se consideran valores promedio para I , V y P .

Cuando el dispositivo es una resistencia de valor R o se puede calcular la resistencia equivalente del dispositivo, la potencia también puede calcularse como:

$$P = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R}$$

Potencia mecánica:

La potencia mecánica es la potencia transmitida mediante la acción de fuerzas físicas de contacto o elementos mecánicos asociados como palancas, engranajes, etc. El caso más simple es el de una partícula libre sobre la que actúa una fuerza variable. De acuerdo con la dinámica clásica esta potencia viene dada por la variación de su energía cinética o trabajo realizado por unidad de tiempo:

$$P_m = \frac{dW_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (m \mathbf{v} \cdot \mathbf{v}) = \frac{d}{dt} (m \mathbf{v}) \cdot \mathbf{v} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}$$

Donde:

E_c, m , son la energía cinética y la masa del partícula, respectivamente

\mathbf{F}, \mathbf{v} , son la fuerza resultante que actúa sobre la partícula y la velocidad de la partícula, respectivamente.

En sistemas mecánicos más complejos con elementos rotativos sobre un eje constante y donde el momento de inercia permanece constante, la potencia mecánica puede relacionarse con el par motor, la velocidad angular siendo la potencia la variación de la energía cinética de rotación por unidad de tiempo:

$$P_m = \frac{dW_{rot}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I_r \omega^2 \right) = \Gamma \omega$$

Donde:

I_r , es el momento de inercia según eje de giro.

ω , es la velocidad angular del eje.

Γ , es el par motor aplicado sobre dicho eje.

Si el movimiento rotativo puede darse según un eje variable o el momento de inercia es variable la expresión correcta es:

$$P_m = \frac{dW_{rot}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{I} \boldsymbol{\omega} \right) = \frac{1}{2} (\boldsymbol{\omega} \cdot \boldsymbol{\Gamma} + \boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{L})$$

Donde:

$\boldsymbol{\alpha}$, \mathbf{L} , son respectivamente la aceleración angular y el momento angular total del sistema.

6. Consideraciones iniciales:

- La medición de potencia nominal del motor se debe realizar con el vehículo suspendido para evitar accidentes con los instrumentos de medida.
- El valor de la fuerza a la salida de la rueda es de 2.584[N], lo que viene dado por la potencia nominal del motor y la relación de transmisión del reductor (3264/175).
- El vehículo experimenta aceleración durante los primeros 5 metros de recorrido.

7. Procedimiento:

- Antes de realizar la práctica se deberá verificar la carga de la batería con el fin de recargarla de ser necesario.
- Encender el vehículo: regulador de corriente en posición de funcionamiento (LED On/Off apagado al presionar el botón Display), botón de medición de intensidad de corriente en posición "0", y botón de encendido en la parte inferior del vehículo en posición ON (LED inferior encendido).
- Verificar que el interruptor selector de banda en el control remoto y en el vehículo se encuentren en la misma posición (A, B, C).
- Realizar medidas de tiempo de recorrido cada 5 minutos hasta completar 10 mediciones, y en cada una deben constar todas las

lecturas adicionales: hora, radiación, temperatura ambiente, temperatura superficial de panel y voltaje de panel.

- Medir la intensidad de corriente del motor con el vehículo suspendido. Se debe conectar el amperímetro en las terminales superiores del interruptor de medición de corriente, y este último en la posición "I".
- En las mismas condiciones anteriores conectar un voltímetro en las terminales inferiores del interruptor de medición de corriente.
- Una vez terminada la toma de datos, apagar el vehículo siguiendo la secuencia en orden invertido del segundo paso del procedimiento.

8. Informe de práctica.

- Teoría (Que respalda lo que se a hecho).
- Elementos utilizados (software, hardware y otros equipos).
- Procedimiento detallado con gráficos, listas, fotos, tablas, etc.
- Datos y resultados.

o Tabla de datos:

Ord.	Hora	Vp [V]	Radiación [W/m ²]	Tp [°C]	Ta [°C]	Tiempo de 0 a 5m [s]	Tiempo de 5 a 15m [s]	Im [A]	Vm [V]
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.